

IVAN BONOTTO

**TRATAMENTO DE SEMENTE DE MILHO COM SUSPENSÃO CONCENTRADA À
BASE DE ZINCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de
concentração em Solos, para a obtenção do título de
“Mestre”.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

IVAN BONOTTO

**TRATAMENTO DE SEMENTE DE MILHO COM SUSPENSÃO
CONCENTRADA À BASE DE ZINCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de
concentração em Solos, para a obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 14 de abril de 2008.

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges

UFU

Prof. Dr. Gaspar Henrique Körndorfer

UFU

Profª. Drª. Regina Maria Monteiro Castilho

UNESP

Profª. Drª. Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B719t Bonotto, Ivan, 1959-
Tratamento de semente de milho com suspensão concentrada à base de zinco / Ivan Bonotto. - 2008.

47 f. : il.

Orientador: Regina Maria Quintão Lana.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Milho - Nutrição - Teses. 2. Milho - Adubação - Teses. 3. Semente - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 633.15:631.811

*“Sim, oh Senhor! De todos os modos engrandeceste e tornaste glorioso o teu povo.
Nunca, em nenhum lugar, deixaste de olhar por ele e de o socorrer”
Sabedoria. 19,22*

*A minha esposa Cássia e minha filha Ana Livia, pelo amor, incentivo, apoio e
compreensão durante a minha jornada;*

*Ao pároco Joéds e a todos da Comunidade São Francisco de Assis, meus irmãos em
Cristo;*

Aos meus avós João e Maria que estão sempre em meu coração.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade e pelo suporte para realização do curso.

Agradeço à Prof^a Dr^a. Regina Maria Quintão Lana, minha orientadora, pela dedicação, paciência e profissionalismo.

Agradeço à Prof^a Dr^a Regina Maria Monteiro Castilho da UNESP / Ilha Solteira (SP) pelo apoio e exemplo de coragem, que sempre nos inspiram a todos.

À Adriane de Andrade Silva pela disponibilidade de me socorrer nas interpretações estatísticas do trabalho.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Agronomia da UFU pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Manoel, Eduardo, Marinho, Gilda e Andréia do LABAS pela ajuda e paciência durante a minha permanência no laboratório. E também a todos do LAMAS, LAFER, LASEM, o meu muito obrigado.

Ao Engenheiro Agrícola José Cláudio Rodrigues que contribuiu muito nas coletas de material e em laboratório. Ele foi muito importante, pois, além de me ajudar, contribuiu muito com sua experiência e idéias.

A todos que me ajudaram e contribuíram para minha formação, direta ou indiretamente.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Fatores que afetam a disponibilidade do zinco	5
2.1.2 pH	5
2.1.3 Interação de zinco com nutriente no solo	7
2.1.4 Quantidade e tipo de argila	8
2.1.5 Matéria orgânica	9
2.1.6 Compactação do solo	10
2.1.7 Zinco na planta: teores e funções	11
2.1.8 Requerimentos e exportação nutricionais	13
2.2 Métodos de aplicação de micronutrientes	14
2.2.1 Tratamento de semente	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Condução do experimento	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5 CONCLUSÃO.....	38
6 REFERÊNCIAS	39

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Descrição das doses, quantidades de zinco aplicadas nos tratamentos	19
2	Médias de massa seca (g) da parte aérea, raiz e total aos 15 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	24
3	Médias de massa seca (g) da parte aérea, raiz e total aos 30 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	25
4	Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea, raiz e total aos 15 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	26
5	Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea, raiz e total aos 30 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	30
6	Conteúdo de massa seca (g) da parte aérea, raiz e total aos 15 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	31
7	Conteúdo de massa seca (g) da parte aérea, raiz e total aos 30 dias após a emergência das plantas. Uberlândia – MG - 2007	32

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Massa seca de parte aérea de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência.....	33
2	Massa seca de raiz de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência.....	33
3	Massa seca total de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência.....	34
4	Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea de milho aos 30 dias após a emergência.....	35
5	Teores de zinco (mg kg^{-1}) da raiz de milho aos 30 dias após a emergência	35
6	Teores de zinco (mg kg^{-1}) total de milho aos 30 dias após a emergência	36

RESUMO

BONOTTO, I. **Tratamento de sementes de milho com suspensão concentrada a base de zinco.** 54f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG¹.

As perspectivas para a cultura do milho são muito animadoras, em vista das necessidades mundiais para a alimentação humana, animal, e mais recentemente, por energia limpa. O Brasil situa-se entre os três maiores produtores, junto dos EUA e China e embora em terceiro lugar na produção do cereal, possui alto potencial para o crescimento na produção, onde podemos citar as seguintes vantagens, como: Área agricultável, água disponível, possibilidade de produzir duas culturas anuais, institutos de pesquisa, etc. Contudo, estima-se que cerca de 170 milhões de ha de solos, sob vegetação de cerrado do Brasil central, sejam deficientes em zinco. Em trabalhos revisados para várias culturas, incluindo o milho, observa-se o grande número de informações com aplicações de micronutrientes via solo, foliar e em tratamento de sementes, utilizando várias fontes como: sais, óxidos, e etc, com resultados positivos em produtividades. Assim, o trabalho tem o objetivo de estudar o comportamento da cultura de milho à aplicação de zinco no tratamento de semente, com zinco com produto em suspensão concentrada a base de óxido de zinco. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia (MG). O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, sendo doses de zinco no tratamento de semente baseadas na exportação de zinco pela cultura do milho, de acordo com o valor médio de 27,6 g Zn por 1000 kg de grãos. Sendo assim, tendo como expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹ de grãos correspondendo a 248,40 g ha⁻¹ de Zn. Para comparação com o zinco em tratamento de semente usou-se a solução de Hoagland com fonte de sulfato de zinco. De acordo com os dados do material colhido aos 30 dias após a emergência, observa-se que para o teor de zinco na massa seca de planta total, o tratamento de semente, com o fertilizante suspensão concentrada obteve os melhores desempenhos, não diferindo estatisticamente do tratamento com a solução de Hoagland completa, a qual forneceu zinco na forma de sulfato. Sendo assim, conforme a curva de regressão, a melhor dose foi de 173,45% da exportação de zinco para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹, correspondendo a 430 g do elemento fornecido via semente para uma quantidade de 88.888 sementes.

Palavras-chave: Milho, tratamento de semente, suspensão concentrada, zinco.

¹ Orientadora: Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana – UFU.

ABSTRACT

BONOTTO, I. **Seed treatment of maize with concentrated suspension based on zinc.** 2008. 54f. Dissertation. (Máster Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, *Uberlândia*¹.

The perspective for maize are very encouraging, in view of the global needs for food, feed, and more recently, for clean energy. The Brazil is the third in this cereal production among the U.S.A and China and has high potential for growth in production, with the following advantages, such as production area, available water, potential to produce two annual crops, research institutes, etc. However, it is estimated that about 170 million ha of soils under savannah vegetation (brazilian cerrado) of Midwest of Brazil, are deficient in zinc. According to studies for various crops, including maize, there is the large number of information about applications micronutrient by foliar, soil, and seed treatment, using various sources such as salts, oxides, etc, with positive results in yields. Thus the present work aims to study the behavior of maize to zinc which was applied in seed treatment, with suspension concentrated product based on zinc oxide. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Uberlandia (MG). The experimental design was randomized, and doses of zinc in the seed treatment were based on exports of zinc by corn, according to the average value of 27.6 g Zn per 1000 kg of grain with the expectation from the yield of 9.0 t ha⁻¹ in grains, being equivalent to 248.40 g ha⁻¹ Zn. For the comparison to the seed treatment with zinc was used the Hoagland solution which has a soluble source of zinc as sulfate. According to results from the material collected 30 days after emergence, it was observed that for zinc contained in the dry mass of total plant, the seed treatment with fertilizer concentrated suspension obtained the best performance and did not differ statistically from treatment with complete Hoagland solution, which provided zinc as sulphate. Thus, according to the regression curve the best dosage of seed treatment with zinc was 173,45% of exports of the nutrient to an expected yield of 9,0 t ha⁻¹, corresponding to 430 g of zinc for a total of 88,888 seeds.

Keywords: Maize, seed treatment, concentrated suspension, zinc.

¹ Major Professor: Regina Maria Quintão Lana – UFU.

1 INTRODUÇÃO

As perspectivas para cultura do milho são animadoras, em vista das necessidades mundiais para a alimentação humana, animal, e recentemente, por constituir um dos componentes para a produção de energia limpa. Os EUA preveem um aumento de produção do cereal em virtude da aprovação de uma lei em 2003, que obriga, a partir de 2013, a mistura de 5% de etanol a toda gasolina utilizada em seu território, este quadro projeta um consumo de 23 bilhões de litros de álcool, ou seja, um acréscimo de mais de 50% em relação à produção de 2003 (FNP, 2007). Além disso, nos últimos anos, o milho teve seu emprego ampliado para vários outros produtos industrializados, como: amido, adoçante e óleos (FNP, 2007).

O Brasil é destaque mundial entre os três maiores produtores de milho, junto dos EUA e China (CONAB, 2007). No Brasil o crescimento das áreas de milho tem ligação direta com o aumento da produção de aves e suínos, em que o milho e a soja representam a base da alimentação destes animais.

Entre os nutrientes essenciais para a produção do milho, o zinco é um dos que se mostra deficiente em solos agricultados no cerrado brasileiro. Estima-se que cerca de 170 milhões de ha de solos, sob vegetação de cerrado do Brasil Central, sejam deficientes em zinco e, portanto, a carência deste micronutriente reflete no crescimento e na produção (LOPES, 1999). A evidência da importância do zinco para a agricultura brasileira tem como exemplo o levantamento efetuado na Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Revista Brasileira de Ciência do Solo, em que, no período de 1990 a 1996, 44% eram relacionados com zinco (FONTES, 1997).

O comportamento do Zn no solo é complexo, pois sua disponibilidade para as plantas envolve vários fatores, que interage simultaneamente, como: práticas culturais, calagem, variação de pH, adubação fosfatada e outros. Por se tratar de um micronutriente, a quantidade a ser fornecida e aplicada por área é pequena, podendo ser realizada por diversos manejos e formas de aplicação. Entre as opções mais frequentes para o fornecimento do Zn para as plantas encontram-se: Mistura em fertilizantes NPK, aplicação no solo, aplicação via foliar e tratamento de semente. Para esses fins, fontes variadas de alta e baixa solubilidade podem ser utilizadas e encontram-se disponíveis, na forma de sais, óxidos e quelatos; porém, quando se observam que os resultados

práticos em campo, não há uniformidade das respostas (BÜLL, 1993, LUCHESE et al., 2004; CONSOLINE; COUTINHO, 2004, BATISTA; BATISTA, 1981).

Entre os fatores que necessitam de estudos na viabilização da aplicação de zinco e outros micronutrientes no tratamento de sementes, implica o emprego de produtos altamente concentrados, com baixo índice de salinização e de fácil manuseio, permitindo que possa ser aplicado, sem riscos, por produtores de baixo, médio e alto nível tecnológico (LOPES, 1999).

Outro fator que necessita de pesquisa é a definição de dose a ser aplicada, pois diferente do que ocorre no tratamento de sementes da soja, para o uso das fontes de cobalto e molibdênio, há recomendação estabelecida pela EMBRAPA (2004), já para o zinco, especificamente para a cultura do milho, não há uma definição oficial de dose e nem fonte recomendada para o tratamento de semente. Em função dessa deficiência objetivou-se estudar o comportamento da cultura do milho, com a aplicação de zinco via tratamento de semente, com diferentes doses de um produto em suspensão concentrada, à base de óxido de zinco comparando com uma solução de Hoagland, com base de sulfato de zinco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os micronutrientes são requeridos em quantidades reduzidas pelas plantas, quando comparados com os chamados NPK, incluindo também o magnésio, o cálcio e o enxofre, e encontram-se na literatura, algumas definições errôneas para eles, como elementos menores, oligo-elementos, elementos-traços ou minerais-traço. Essas definições devem-se, em parte, às traduções que foram efetuadas de literaturas estrangeiras, que usam expressões como *minor elements*, por exemplo. (FERREIRA et al., 2001).

Contudo, as quantidades reduzidas requeridas pelas culturas em geral, não confere uma função secundária ou de menor importância para esses elementos, pois a deficiência, assim como o excesso, pode causar reduções na produção vegetal. (MEHGEL; KIRKBY, 1980; RÖMHELD; MARSCHNER, 1991; HOWELER et al., 1982; RÖMHELD, 2001).

Sendo assim, observa-se a sua importância e repostas que eles fornecem para as mais variadas culturas, não só na produção, como também na qualidade dos produtos (GUPTA, 1983, GUARIDO et al., 2006, GALRÃO, 1984.; GALRÃO et al., 1981).

No Brasil, o interesse pelos micronutrientes na agricultura, sob o ponto de vista de pesquisas, data da década de 50, quando o IAC e o Instituto de Pesquisa IRI-IBEC (apoiado pela Fundação Rockefeller) apontaram respostas das culturas aos micronutrientes (YAMADA, 1996).

Contudo, o grande impulso às pesquisas ocorreu na década de 70, com dois eventos que demonstraram a real importância desses elementos em nossos solos: a criação da EMBRAPA e a realização do primeiro levantamento completo sobre a fertilidade do solo da região do cerrado, conduzido por Alfredo Scheid Lopes, que coletou e analisou amostras da superfície do solo virgem sob vegetação de cerrado (YAMADA, 1996; FERREIRA et al., 2001).

Nas décadas posteriores, com a maior ocupação dos cerrados, cujos solos são originalmente pobres em micronutrientes, intemperizados e ácidos, houve também a intensificação das pesquisas conduzidas por órgãos oficiais e particulares, no objetivo de fornecer tecnologia para a obtenção de altas taxas de produtividade. A essa tecnologia foram incorporados fatores como emprego de cultivares de alta produtividade, utilização de calcário em frequência e quantidade, e a aplicação de fertilizantes mais concentrados (VASCONCELOS, 1989).

Todos esses fatores contribuíram para uma maior compreensão da importância dos micronutrientes, pois, com cultivares de alta produtividade, aumentou a exigência por nutrientes e, por consequência, a exportação dos mesmos; a correção da acidez pelo calcário, em alguns casos, pode induzir à indisponibilidade dos micronutrientes catiônicos; e o emprego de fertilizantes mais concentrados, como o MAP em detrimento do Super Fosfato Simples, por exemplo, reduziu a quantidade dos micronutrientes que estavam agregados como “impurezas” (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1997).

Pode-se citar, ainda, o aumento no número de laboratórios e, desta forma, a ocorrência de maior número de análises de folhas e solos realizados, orientando melhor os produtores quanto à diagnose de deficiências (FERREIRA et al., 2001). Contudo, de acordo com Barbosa Filho e colaboradores (2001), apesar de todos os avanços, quanto às pesquisas de solos e nutrição de plantas, os estudos relativos aos micronutrientes ainda são restritos, comparativamente, aos realizados com macronutrientes.

O zinco é encontrado no solo nas formas de óxidos, hidróxidos e sais, como carbonatos e sulfatos. Dependendo da solubilidade, reações de troca e das formas químicas, o Zn pode ser encontrado na solução do solo (disponível para as plantas), na forma trocável no complexo coloidal, na matéria orgânica e na rede cristalina dos minerais (não disponível para as plantas). Em geral, em solos arejados, a concentração do Zn solúvel e do adsorvido nos coloides em suspensão é baixa e raramente passa de 1 mg kg⁻¹ (FAGERIA, et al., 1994). Já Souza e Ferreira (1991), cita que, nos solos, os teores de Zn geralmente encontra-se na faixa de 10 a 300 mg kg⁻¹ de Zn total e estes teores não apresentam boa correlação com a sua disponibilidade para as plantas.

A fração trocável, também denominada de forma extraível, representa o Zn mais retido no complexo de troca. Geralmente, sua liberação para a solução do solo é feita pelos quelantes fortes ou pela troca com outros cátions através da lei das massas. Sendo assim, a quantidade de Zn encontrada nesta fração é significativamente mais elevada do que a encontrada na fração solúvel, como mostram muitos resultados de análise de disponibilidade de Zn em solos brasileiros, onde, mais especificamente para MG e GO, temos 0,3 a 0,7 mg kg⁻¹ e para DF, temos 0,2 a 2,15 mg kg⁻¹ (Mehlich 1) (FAGERIA, et al., 1994).

Lopes (1984) cita que encontrou, em 518 amostras de cerrado, valores que variam de 0,2 a 2,15 mg kg⁻¹, com uma média de 0,6 mg kg⁻¹ utilizando o método de análise Mehlich⁻¹.

Abreu e colaboradores (2007) indica que a avaliação no Brasil dos diferentes extratores tem levantado a dificuldade de avaliação, pois se observa uma gama muito grande de valores, em função do uso da solução extratora empregada, evidenciando que a escolha da solução extratora também influi na avaliação dos teores de Zn “disponível” no solo.

2.1. Fatores que afetam a disponibilidade do zinco

O comportamento do zinco, no que diz respeito à deficiência e consequências para as culturas são conhecidas não somente no Brasil, pois conforme cita Kochian (2000), em trabalhos realizados pela FAO, 30% dos solos cultivados no mundo são deficientes desse elemento, portanto o entendimento dos fatores que podem afetar a disponibilidade de zinco para as culturas é importante para a sua identificação e assim, como proceder à correção (DECARO, 1983; GALRÃO, 1994).

2.1.2. pH

A solubilidade do zinco é altamente dependente do pH, e, assim, a cada unidade de aumento nesse fator decresce 100 vezes a sua disponibilidade (LINDSAY, 1979), o que também é citado por Bradl (2004), que a adsorção de metais é pequena a valores baixos de pH, e em altos valores de pH, os íons metálicos são completamente retidos.

Lopes e Alleoni (2007), avaliando o efeito do pH na adsorção de metais, em solos de São Paulo, observaram para todos elementos, o aumento na adsorção com a elevação do pH.. Em solos ácidos, cuja acidez sempre é corrigida, a adsorção do Zn pode aumentar em função do aumento do pH influenciando na mobilidade e disponibilidade do elemento. De acordo com Sims e Kline (1991), o aumento do pH de um solo ácido de 4,8 para 7,1 contribuiu para a redução do Zn trocável de 42 para 2%, aumentando as formas complexadas, bem como as ligações com óxidos.

Machado e Pavan (1987) estudando a fixação de zinco no estado do Paraná, verificaram que a solubilidade do Zn diminuía de acordo com o aumento do pH, mas também aumentava a capacidade de fixação e a energia de ligação entre o íon e o solo. Esses autores citam que o aumento da fixação com relação à elevação do pH poderia estar relacionado à maior afinidade dos sítios de troca pelas formas hidrolisadas com

menor valência (ZnOH^+) e que, entre pH 4 e 5 ocorreu maior competição do alumínio com o zinco pelos sítios de troca, pois nesta faixa de pH, o alumínio é mais solúvel, ocorrendo o inverso, isto é, uma menor competição, na faixa de pH de 6 a 7.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silveira e colaboradores (1976) e Peralta e colaboradores, (1981), com solos com pH variando de 4,4 a 6,5. Neste caso, obtiveram correlação positiva entre os teores de Zn e faixa de pH, e que, segundo os resultados das pesquisas, em pH acima de 6, provavelmente, ocorre a precipitação do zinco como hidróxido.

A aplicação de zinco como sulfato e cloreto e a forma menos solúvel como óxido, mostraram-se eficazes na correção de deficiências de Zn em solos ácidos. Porém, observou-se que o mesmo não ocorreu em solos corrigidos (pH 6,5) com calcário, onde nem as aplicações das formas solúveis de Zn se mostram eficazes na correção, uma vez que, possivelmente, foram rapidamente convertidos em formas menos solúveis e, portanto, indisponíveis para as plantas (HOROWITZ et al., 1973).

Pereira e colaboradores (2007) cita que avaliou-se o efeito da calagem e da adição de Zn na disponibilidade desse nutriente para o milho. Concluíram que a adição de Zn não influenciou o rendimento de massa seca das plantas, independente do pH e do tipo de solo, mas verificou-se que o Zn extraído pelas soluções de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ou de Mehlich-3 aumentou linearmente com o aumento da quantidade de Zn adicionada, e sempre foi maior na ausência do que na presença de calcário, e que a absorção de Zn por plantas de milho diminui com a elevação do pH do solo.

Assim, Andreotti e colaboradores (2001) trabalhando com dois cultivos de milho, observou que em doses crescentes de calcário, há redução dos teores de zinco na massa seca do milho, devido ao aumento do pH. Verificou-se também que houve diminuição de absorção e acúmulo de zinco num segundo cultivo, resultado provável da elevação do pH devido ao efeito residual do calcário.

Para outras culturas, com o objetivo de avaliar a absorção de nutrientes pela soja e seus reflexos sobre a produção de grãos, em função de doses de calcário na superfície, no sistema de plantio direto, Caíres e colaboradores (2000) observou que ocorreu aumento na absorção de fósforo e de magnésio e redução de zinco e de manganês pela cultura da soja, com a calagem aplicada na superfície. A redução da absorção de zinco e de manganês relacionou-se ao aumento do pH do solo nas camadas superficiais, demonstrando que a calagem na superfície, em sistema de plantio direto, requer critérios adequados para estimativa da dose a ser aplicada.

Em arroz de terras altas avaliou-se o efeito do pH do solo sobre a produção, componentes e absorção de nutrientes por três cultivares em LVE, o experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação, na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (GO). Verificou-se que a produção de massa seca e de grãos, os componentes de produção e a absorção de nutrientes foram significativamente influenciados pelo pH do solo, sendo o arroz de terra alta tolerante à acidez, produzindo satisfatoriamente em pH na faixa de 5 a 5,5. Contudo, com a aplicação de calcário e elevação de pH acima de 5,5, ocorreu diminuição na acumulação de Fe, Mn e Zn. (FAGERIA, 2000).

Entretanto, com relação à calagem, Machado e Pavan (1987) atribuíram à diminuição da disponibilidade do zinco, não somente à variação de pH, com o que a aplicação de calcário está diretamente relacionada, mas também, à adsorção do íon zinco às superfícies dos carbonatos de cálcio e magnésio, sendo o segundo mais poderoso do ponto de vista da adsorção, em relação ao cálcio. Isso ocorre, provavelmente, porque os raios iônicos são semelhantes, ou seja, com 0,74 Å para o zinco e 0,65 Å para o magnésio. Essa semelhança dos raios iônicos permite o intercâmbio entre o Mg e o Zn. Segundo os autores, esse fenômeno pode explicar a baixa disponibilidade de zinco em solos calcários ou solos que receberam pesada aplicação de calcário.

2.1.3. Interação de zinco com nutrientes no solo

Há referências quanto à interação entre o zinco e outros nutrientes, como por exemplo, com boro (SWIETLIK, 1995), nitrogênio (MARSCHENER, 1995) e fósforo (GRANT e BAILE, 1993; SOUZA, 1998). Dentre as interações, a que ocorre com o fósforo tem importância, devido ao manejo dos solos tropicais, que exige altas doses do nutriente, podendo induzir à deficiência de zinco, atribuindo à formação do composto do tipo ZnNH_4PO_4 . Já, segundo Saeed e Fox, (1979) as aplicações de fósforo tende a aumentar a fixação de zinco, especialmente em solos ricos em óxidos de ferro e de alumínio hidratados.

Os sintomas de deficiência de zinco podem ocorrer com adubações pesadas de fosfatados, com doses acima de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . (FAGERIA et al., 1994; BARBOSA FILHO et al., 2001).

Conforme Silveira e colaboradores (1976), as quantidades de zinco fixadas foram diretamente correlacionadas com os teores de fosfato solúvel do solo, com pH variando de 4,4 a 6,5 e teores de fósforo de 2 a 50 mg dm⁻³.

De acordo com Igue e Bornemisza (1967), o antagonismo entre fósforo e zinco se processa também nas raízes. Essa observação vai ao encontro de Lindsay (1972), que relata que a causa da precipitação do zinco pelo fósforo no solo não é causa única da deficiência de zinco. Sugere que o fósforo afeta a absorção de zinco nas raízes das plantas com a formação de precipitados de baixa solubilidade. Marschner (1995) indica que alto teor de fósforo na parte aérea da planta pode diminuir o teor de zinco, devido à baixa solubilidade e mobilidade. Também é atribuída à diminuição da concentração de zinco na planta, devido ao efeito de diluição, pois com resposta em crescimento do vegetal, resultante da aplicação de fósforo, o teor de zinco tenderia a decrescer. (LONERAGAN et al., 1979).

Já para culturas que necessitam de adubações nitrogenadas, dependendo da fonte deste nutriente, o aproveitamento do zinco originário do solo ou do aplicado como fertilizante pode variar, devido às diferenças nos valores de pH do solo. Os fertilizantes que mais acidificam o solo, como a aplicação sistemática do sulfato de amônio, tenderiam a liberar mais zinco, em comparação com a uréia. Com relação ao sulfato de amônio, Lindsay (1979) cita que o íon sulfato, pode ser benéfico à solubilização e a mobilização do zinco no solo, devido à formação do complexo ZnSO₄, o que também foi observado por Domingues (2004), que trabalhando com sulfato de amônio, para adequar o fornecimento de enxofre para a cultura do milho, conduzida em área de pastagem degradada, obteve resposta positiva no aumento do elemento enxofre e zinco na folha da cultura do milho.

2.1.4. Quantidade e tipo de argila

Pela importância do fósforo na realidade tropical dos solos brasileiros, muitos trabalhos têm sido conduzidos para estudar a quantidade e tipo de argila na fixação do fósforo. Contudo, este mesmo interesse não tem sido despertado para com outros nutrientes (BARBOSA FILHO, 1994).

Porém, o comportamento do zinco no solo demonstra que este também pode tornar-se indisponível para as plantas, devido ao processo de fixação no solo (COUTO et al., 1992; CAMARGO et al., 2001).

Kalbasi e colaboradores (1978) estudando o comportamento do zinco na presença de óxidos de alumínio e de ferro, observaram que em valores equivalentes de pH, o óxido de ferro tem maior capacidade de fixação que o óxido de alumínio.

Contudo, à medida que ocorre aumento de pH do solo, a capacidade de fixação também aumenta para ambos os óxidos. A justificativa está no fato de os óxidos de ferro e óxidos e hidróxidos de alumínio ter cargas dependentes de pH. Portanto, com a elevação dos valores de pH, há aumento na densidade de cargas negativas e, por consequência, maior fixação do zinco.

Marinho e Igue (1973) também observaram que quanto maior o teor de R_2O_3 (sesquióxidos) menor a quantidade de zinco extraído. Segundo Shuman (1976), quanto maior a CTC dos solos, maior a fixação do zinco. Ainda, o mesmo autor observa que os óxidos de ferro fixam o zinco por dois mecanismos, envolvendo OH^- e HPO_4^{2-} , e que essa fixação é controlada pelo pH e pela CTC, quando no sistema se tem caulinita, óxidos hidratados de ferro e complexos argila-óxidos de ferro.

Com relação às argilas tipo 2:1, há uma maior capacidade de retenção de zinco quando comparada a outros cátions, obedecendo à seguinte ordem: $Al > Zn > Ca > Mg > K$. Explica-se essa fixação, devido à penetração do íon Zn na camada octaédrica dos argilo-minerais (BARBOSA FILHO, 1994).

2.1.5. Matéria orgânica

A matéria orgânica exerce duas funções básicas sobre o zinco no solo. Uma delas é o fato da CTC da matéria orgânica ser dependente do pH. Assim sendo, quando há uma elevação do pH do solo, há liberação das cargas negativas, oriundas dos radicais carboxílicos e fenólicos (RAIJ, 1991). Com isso, aumentando a densidade das cargas negativas, há uma maior retenção do íon zinco, podendo assim ser complexado com estabilidade. Ellis e Knezek (1972) observaram que na matéria orgânica do solo, a fração húmica retém 56% do zinco e a fúlvica 12%. Concluíram, também, que os grupos fenólicos são mais importantes na complexação do zinco, do que os carboxílicos, sendo esses complexos muito estáveis.

Nesta forma, o zinco não estaria totalmente disponível para as plantas, pois os complexos estáveis reteriam o zinco por maior período, ou seja, haveria a necessidade da decomposição da matéria orgânica para liberar o zinco, o que poderia ocorrer num período de menor exigência da cultura. Essa observação vai ao encontro da conclusão de Flores e colaboradores, (1979), os quais determinaram que, à medida que aumentava o teor de matéria orgânica no solo, decrescia a disponibilidade de zinco para as plantas.

Outra função da matéria orgânica seria a de ser o “estoque” de zinco no solo. Em estudos efetuados com amostras de solos em Pernambuco, Leite e Skogley (1977) concluíram que a retenção do zinco estava diretamente relacionada à matéria orgânica, havendo, portanto maior retenção do elemento na camada de 0 a 20 cm do que na camada de 20 a 40 cm. Com base nessas informações, a remoção dos horizontes superficiais é responsável por perdas de grandes quantidades de zinco, diminuindo suas reservas, porém, o teor de zinco total está relacionado à matéria orgânica do solo, mas não está relacionada com a disponibilidade do nutriente para as plantas (BARBOSA FILHO, 1994).

2.1.6. Compactação do solo

Como a principal forma de absorção do zinco é a difusão, a compactação tende a dificultar o processo, e, portanto, limita a disponibilidade de zinco para o sistema radicular das plantas, devido à menor mobilização do elemento (RAIJ, 1991). Como a compactação está relacionada com a menor exploração do solo pelo sistema radicular, a mobilidade do zinco no solo é alterada, permanecendo o íon por vários anos, na camada mais superficial do solo (ABREU et al. 2001).

Assim, estudo sobre a mobilidade do zinco no solo, com o uso de duas fontes distintas, uma solúvel (sulfato de zinco) e outra com baixa solubilidade em água (óxido de zinco), demonstrou que a maior parte do zinco, independente da forma aplicada (óxido ou sulfato), situou-se na camada superficial do solo (LOPES, 1977).

2.1.7. Zinco na planta: teores e funções

A absorção de nutrientes pela planta é um processo dinâmico e dependente de fatores relacionados entre si, como solo, clima e o próprio nutriente. Há três processos que suprem as plantas com nutrientes do solo: Interceptação radicular, fluxo de massa e difusão (MALAVOLTA, 1980).

A difusão é um processo fundamental para os nutrientes que ocorrem em baixas concentrações na solução do solo, como o fósforo e o zinco. De acordo com as pesquisas, na cultura do milho, o processo de interceptação radicular poderia ser suficiente para suprir as necessidades de cálcio, por exemplo. No entanto, o fluxo de massa tem real importância para a maioria dos nutrientes, com exceção para o fósforo, o qual é suprido pelo processo de difusão. (BARBOSA FILHO, 2001)

Segundo Malavolta (1997), estima-se que cerca de 60% do zinco absorvido pelo sistema radicular provém do processo de difusão, salientando a estratégia de adubação com zinco, assim, sugerindo a sua localização o mais próximo possível do sistema radicular.

Pois, sob condições de campo, o suprimento de micronutrientes catiônicos para as plantas, ocorre principalmente a partir da absorção da quantidade de nutrientes solúveis (chamado de pool) em água pela rizosfera, que é reabastecida por fluxos de nutrientes por meio de fluxo de massa e de difusão, sendo este último processo, o que traz a maior contribuição para a maioria dos micronutrientes. Como o teor de zinco na maior parte dos solos agricultáveis é baixo, o suprimento deste micronutriente a partir deste pool por fluxo de massa não é suficiente para satisfazer as necessidades da planta para seu desenvolvimento, conforme observado por Zhang, e Brown (1999).

Em consequência desta baixa concentração de Zn na solução do solo, em relação às necessidades das plantas, a difusão é o mecanismo principal para o transporte adequado até os sítios de absorção nas raízes (WILKINSON et al., 1968). Desta forma, há fatores que podem diminuir a eficiência no transporte do zinco, como baixo teor de água no solo, crescimento radicular inibido, compactação do solo, etc. Por outro lado, concentrações mais altas dos compostos orgânicos solúveis, como, por exemplo, MOS (matéria orgânica do solo) ou exsudatos de raiz que mobilizam Zn secretados sob deficiência deste micronutriente, denominados de fitosideróforos (ZHANG et al., 1989; CAKMAK et al., 1994), podem aumentar a aquisição de Zn em decorrência de uma maior taxa de difusão.

O zinco é absorvido pelas raízes na forma catiônica bivalente (Zn^{2+}), e também encontramos referências citando que a forma quelatada de zinco é absorvida, como citado por Raij (1991).

Já, Zhang (1989) trabalhando com trigo e fornecendo duas formas de zinco, quelatado e sulfato, em soluções nutritivas observou que o Zn quelatado, especialmente com alta estabilidade, resulta em absorção mais baixa, e que houve uma maior absorção de zinco quando este foi fornecido na forma de sulfato, em comparação com o zinco quelatado com EDTA.

Com respeito à mobilidade do zinco no floema, há opiniões divergentes, observados por Lohnecker e Robson (1993) Em algumas espécies de plantas que apresentavam deficiências de zinco, não foi encontrada evidência de translocação do nutriente aplicado às folhas para outros órgãos da planta. (ORPHANOS, 1975). A movimentação do zinco a partir das folhas velhas parece estar dependente do estado nutricional das plantas, uma vez que Ricemen e Jones (1958) mostraram que havia decréscimo do teor de zinco em folhas e pecíolos, enquanto o nutriente se acumulava nas inflorescências e frutos de trevo. Entretanto, o decréscimo foi maior em plantas bem supridas em Zinco do que em plantas deficientes.

Malavolta e colaboradores (1995) observaram redistribuição do zinco aplicado às folhas de cafeeiro, havendo, inclusive, alguma translocação até as raízes, especialmente quando o nutriente foi aplicado na forma quelatada.

De acordo com Loneragan e colaboradores (1979), ocorre transporte de zinco de zonas supridas do sistema radicular para as zonas sem suprimentos de zinco. Contudo, mesmo quando o zinco suprido a um compartimento radicular foi adequado para o máximo crescimento da copa, o movimento de zinco para o segundo compartimento (deficiente) não compensou a falta de suprimento externo. Weeb (1994) também concluiu que uma porção do sistema radicular deficiente em zinco não desenvolve suas funções de modo adequado, por não ser a taxa de translocação de zinco de partes da planta adequadamente supridas suficiente para manter o crescimento normal. Atribui-se a essa deficiente remobilização, à alta capacidade de ligação dos retidos das folhas com zinco (ZHANG; BROWN, 1999).

O teor de zinco na matéria seca dos vegetais situa-se na faixa dos 100 mg kg^{-1} , variando em função de espécie considerada, do tipo de manejo do solo, assim como com as condições de sanidade da planta e do tipo de tecido amostrado. (RAIJ, 1991). Já Büll (1993) observou que concentrações de zinco nas plantas variam entre 3 e 150 mg kg^{-1} .

kg⁻¹ de matéria seca. Porém, de modo geral, teores inferiores a 25 mg kg⁻¹ caracterizam deficiência do elemento nas folhas.

A essencialidade do zinco se deve ao fato de estar ligado à atividade de algumas enzimas, caso da enolase, da anidrase carbônica, desidrogenase de ácido glutâmico, desidrogenase do ácido láctico, desidrogenase alcoólica, algumas proteinases e peptidases. (MENGEL; KIRKBY, 1987).

A anidrase carbônica é uma enzima que se localiza no cloroplasto, parecendo exercer papel no controle do pH. Segundo Malavolta (1980), o zinco também está envolvido no metabolismo de proteínas, sendo que deficiências no teor deste elemento levam à diminuição na concentração de RNA e de proteínas. Sendo assim, ocorre drástico efeito na produção e atividades enzimáticas, desenvolvimento dos cloroplastos, conteúdo de proteínas e ácidos nucleicos. (BARBOSA FILHO, 2001). Desta forma, originando os sintomas de clorose em folhas novas, oriundos dos distúrbios na formação dos cloroplastos e degradação de clorofila em alta intensidade de luz, como consequência da grande formação e inibição da eliminação de radicais tóxicos de oxigênio. Os sintomas se desenvolvem logo na 2ª ou 3ª semanas após a germinação da cultura (MALAVOLTA, 1974).

Büll e Cantarella (1993) observaram que plantas de milho apresentavam enraizamento muito superficial, em áreas notadamente deficientes de zinco. Sendo assim, a aplicação de zinco via semente possibilita o posicionamento o mais próximo possível do sistema radicular (LOPES, 1999).

2.1.8. Requerimentos e exportação nutricionais.

Entende-se por acúmulo de nutrientes, a quantidade destes na matéria seca em cada parte da planta (Raiz, folhas, caule, palha, sabugo e grãos), e por absorção ou extração de nutrientes os totais dos acúmulos de nutrientes ocorridos na diferentes partes das plantas (YAMADA, 1996).

Diversas partes da planta durante seu ciclo podem agir como dreno ou fonte de nutrientes. As quantidades extraídas variam conforme produtividade obtida, que também depende de fatores como cultivar, manejo nutricional, condições climáticas, condução da cultura, e outros. O aumento de produtividade não significa,

necessariamente, que a exportação de nutrientes aumente na mesma proporção (BÜLL; CANTARELLA, 1993).

No caso da cultura do milho ter como finalidade a produção de grãos, a ciclagem de nutrientes é maior, em comparação à cultura destinada à silagem, que remove maiores partes da planta da área de cultivo.

De acordo com Muzilli e colaboradores (1989), a prática da incorporação de restos vegetais remanescentes da colheita, pode incorporar cerca de 40% do nitrogênio, 45% do fósforo e 80% do potássio. Já, Andrade (1975) cita que no caso específico do zinco, mais da metade do acumulado na parte aérea da planta encontra-se nos grãos, apontam acúmulos de zinco nos grãos em até 87% .

De acordo com Malavolta (1997), para uma produtividade de $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos, há extração total de zinco, isto é, somando as quantidades extraídas de grãos, palha, sabugo, colmo e folhas, em um total de 544 g ha^{-1} , sendo a exportação do nutriente presente nos grãos de 178 g ha^{-1} . Entretanto, Pauletti (2004) compilando dados de várias fontes obteve a média de extração de zinco em $44,4 \text{ g ha}^{-1}$ por tonelada produzida pela planta, com a exportação média de $27,6 \text{ g ha}^{-1}$ de Zn por tonelada produzida de grãos, sugerindo que a exportação média de zinco da área agricultável pelos grãos na cultura do milho pode chegar a 57%.

2.2 Métodos de aplicação de micronutrientes

A maneira de aplicar os micronutrientes tem sido objeto de estudos e considera-se um dos pontos mais complexos, pois a eficiência dos diversos métodos de aplicação está relacionada com os diversos fatores, como: pH, solubilidade, efeito residual, mobilidade do nutriente, cultura, dentre outros. Estes aspectos foram discutidos por Lopes (1999) e Volkweiss (1991) e são aplicáveis até hoje.

Destacam os métodos de aplicação: Adubação via solo (incluindo a via líquida e fertirrigação), adubação via foliar e o tratamento de sementes (incluindo o tratamento de mudas).

A variação das aplicações de micronutrientes via solo podem ser agrupadas em: A lanço com ou sem incorporação, em linhas, em covas ou sulcos de plantio. Independente da maneira de aplicação, um fator, sempre importante, é a uniformidade de distribuição dos micronutrientes.

Assim, como são utilizadas pequenas doses, maior será o problema da distribuição, quanto maior a concentração do elemento nas fontes utilizadas.

Há alternativas de manejo para aumentar a distribuição e a eficiência dos micronutrientes, aplicados ao solo, para as diversas culturas, como: Diluição intencional das fontes de micronutrientes com solo, calcário, fosfatos, etc.; misturas das fontes de micronutrientes, com fertilizantes simples, mistura de grânulos, misturas granuladas ou fertilizantes granulados, para aplicações a lanço ou em linha.

Contudo, ocorrem vantagens e desvantagens para cada método de aplicação, em misturas, por exemplo, com formulações NPK, tem-se o problema de segregação no momento da aplicação, pois há diferenças de densidade e tamanhos de partículas.

Na incorporação em misturas granuladas, fertilizantes granulados e fertilizantes simples, trata-se de um processo que incorpora os micronutrientes de forma uniforme nos grânulos, evitando, assim, os problemas com segregação e densidade (KORNDÖFER, et al., 1987; KORNDÖFER, et al., 1995). Mas, no processo industrial, quando utilizadas condições de alta temperatura e umidade, podem ocorrer reações químicas indesejáveis com alterações na eficiência agronômica dos micronutrientes. No Brasil, este tema tem sido pouco estudado, porém no exterior, há referência mostrando as alterações neste processo (LHER, 1972).

Para zinco, especificamente, há referência de fontes como zinco quelatado com EDTA e sulfato, sofrerem, por exemplo, reações com ácido fosfórico, superfosfatos e DAP, resultando, em menor eficiência do zinco, por decomposição do quelato, diminuição da solubilidade do zinco para as plantas, etc (MORTVEDT, 1991).

Por exemplo, nos EUA, Ásia e Egito, realiza-se a prática para a cultura do arroz irrigado por inundação, efetuando-se a imersão de mudas em solução de óxido de zinco a 1%, obtendo sucesso semelhante às formas solúveis de zinco (LOPES, 1999).

2.2.1. Tratamento de semente.

O tratamento de semente é uma alternativa para a aplicação de micronutrientes, levando-se em conta a uniformidade de distribuição de pequenas doses, que podem ser aplicadas com precisão. Para culturas como a soja, por exemplo, esta modalidade de aplicação é utilizada com sucesso, para o cobalto e molibdênio, visando a melhorar o desempenho da fixação biológica de nitrogênio em soja (RAIJ, 1991). Contudo, outros

micronutrientes estão sendo aplicados com resultado positivos (GONÇALVES JR et al., 2000). Com base na pequena quantidade de zinco exigida pelas plantas (FURLANI et al., 1977; FURLANI et al., 2005) o tratamento de sementes com micronutriente pode representar menores custos de aplicação, melhor uniformidade na distribuição, menores perdas e racionalização no uso de produtos destinados como fertilizantes (SANTOS, 1981; SANTOS et al., 1996; PARDUCCI et al., 1989 e RIBEIRO et al., 1994b).

De modo geral, há uma preferência pelas fontes mais solúveis de micronutrientes, porém, essas fontes possuem baixo teor do elemento na formulação. Em contrapartida, as fontes com alto teor de nutriente, como os óxidos, apresentam baixa solubilidade em água. De qualquer forma, essa modalidade de aplicação de micronutrientes tem demonstrado resultados positivos do ponto de vista nutricional (BARBOSA FILHO et al., 1982, BARBOSA FILHO et al., 1983).

No Brasil, existem algumas recomendações para esse método de aplicação de micronutrientes, em que, para o milho as doses variam de 100 a 800 g de Zn por 20 kg de sementes, aplicados, principalmente na forma de óxidos ou presentes nas formulações de defensivos destinados ao tratamento de semente.

Prado e colaboradores (2007) conduziram experimento em casa de vegetação e trabalhando com duas fontes de zinco (óxido e sulfato), verificaram que a utilização de doses de zinco em semente, influencia o teor de Zn na planta e o crescimento inicial do milho (cv. Fort). Além disso, observaram que o óxido de zinco aplicado em semente favorece o crescimento inicial do milho, em comparação à utilização do sulfato de zinco.

Ávila e colaboradores (2006) estudaram o efeito da aplicação do fertilizante formulado com vários micronutrientes. (20,0% de Zn; 3,0% de B; 1,0% de Mg e 1,0% de Mo), na dose de 200 g do produto por 100 kg de semente de milho, na produtividade cultura e na qualidade fisiológica das sementes de milho produzidas no período de safrinha. Os resultados observados com cinco híbridos comerciais demonstraram que não houve efeito significativo do tratamento com micronutrientes na produtividade e na massa de mil sementes de todos os híbridos testados. No entanto, houve aumento na germinação e no vigor das sementes produzidas.

Yagi e colaboradores (2006) trabalhando com duas cultivares de sorgo cujas sementes foram tratadas com zinco na forma sulfato e avaliaram a germinação, massa da matéria seca e os teores de Zn na parte aérea e nas raízes. De acordo com os resultados a aplicação de Zn, nas sementes de sorgo, não afetou o acúmulo de matéria

seca da parte aérea, entretanto, diminuiu a germinação e o acúmulo de matéria seca das raízes e da planta inteira

Jamami e colaboradores (2006) aplicaram sulfato de zinco e ácido bórico ao solo e observaram que não houve respostas nos teores foliares e na produção de grãos, mesmo na mais alta dose ($4,0 \text{ kg ha}^{-1}$). Concluíram, também, que não houve interação de zinco com o boro na produção de grãos e nos teores dos elementos na planta.

Luchese e colaboradores (2004) observaram que na aplicação de sulfato de cobre em tratamento de semente de milho, houve diminuição da capacidade de germinação das sementes e sem afetar a massa seca da parte aérea das plantas emergidas, independente das doses de cobre aplicadas. Observaram também que ocorreram sinais de toxidez nas doses a partir de 4 gramas de cobre por kg de semente.

Entretanto, Korndörfer e colaboradores (1995) estudando as formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho em solo de cerrado, observaram que o zinco incorporado ao adubo NPK não teve efeito sobre a produção de grãos de milho, nem tampouco sobre a produção de massa seca, independentemente da dose ou da fonte empregada. Estes autores verificaram que os teores de Zn na folha do milho aumentaram significativamente com as doses de Zn aplicada, sendo que o ZnO incorporado ao grânulo do formulado NPK foi o tratamento que apresentou os mais altos teores.

Há também trabalhos demonstrando respostas semelhantes entre a aplicação de Zn via semente ou via solo utilizando zinco na dose de $0,8 \text{ kg de Zn por } 20 \text{ kg de sementes}$ em comparação com doses crescentes de sulfato de zinco nas doses de $0,7$ a $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn aplicados a lanço, observou-se que houve desempenho semelhante entre o zinco aplicado nas sementes e a lanço no solo (GALRÃO, 1996).

Em ensaios com milho conduzidos em 10 regiões do estado de São Paulo, não foram observados resultados significativos à adição de zinco ao solo. Contudo, observa-se que, nos solos em questão, os valores de pH dos solos (CaCl_2) variavam de 4,5 a 5,7, tendo os níveis de zinco próximos ou acima dos níveis de suficiência (RAIJ et al., 1996).

Contudo, em situação semelhante, Assmann e Assmann (1995) observaram que em solo com valor inicial de pH 5,1 (CaCl_2) e bem provido de zinco, apresentou resposta à aplicação de sulfato de zinco ao solo na linha de plantio após correção de pH com calagem, onde o rendimento em grãos foi de 6,6 para $8,5 \text{ t ha}^{-1}$ no tratamento que recebeu a dose de $8,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn.

Com relação ao incremento de produtividade pela adição de zinco, encontram-se resultados positivos expressivos, em torno de 3 a 7 t ha⁻¹ de grãos, contudo, na maioria dos casos relatados na literatura brasileira, os aumentos de rendimento variam de 0,5 a 2,0 t ha⁻¹. Resultados estes, que segundo os pesquisadores, dependem principalmente do teor de zinco presente no solo (COUTINHO et al.,1997; GALRÃO, 1996.; DECARO et al.,1983).

Por outro lado, há referência que sugere que alto teor de zinco próximo ao sistema radicular pode causar toxidez e causar danos ao crescimento. Com relação a essas observações, a aplicação de zinco na forma de quelato (EDTA) e lignosulfonato reduziu a produção de matéria seca e provocou sintomas de toxidez. Também foram observados esses comportamentos, quando o zinco foi aplicado na forma de óxido e sulfato (ABREU et al., 2001).

Korndörfer e colaboradores (1987) testando o efeito de técnicas de adição do zinco a fertilizantes granulados na produção de massa seca do milho, em casa de vegetação, observou que a técnica de incorporação foi mais eficiente do que a do revestimento dos grânulos do adubo, e quanto à forma do zinco, seja como ZnO ou ZnSO₄, apresentaram o mesmo resultado agrônômico, quanto à disponibilidade de zinco para as plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, na Universidade Federal de Uberlândia-MG, sob as seguintes coordenadas geográficas: 19° 04' 06,39" latitude sul, 48° 33' 59,86" longitude oeste.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo composto de sete tratamentos, com três doses de zinco no tratamento de semente, uma testemunha com água destilada, um tratamento com solução de Hoagland completa e um tratamento com solução de Hoagland sem zinco.

O tratamento de semente proposto foi baseado na média da exportação de zinco obtida por Pauletti (2004) de 27,6 g de Zn por 1000 kg de grãos. Sendo que, neste experimento realizou-se o tratamento de semente correspondente à dose de 100%, visando à obtenção de produtividade de 9,0 t ha⁻¹ o que resulta na aplicação das quantidades descritas na tabela 1. Com a definição da dose do tratamento padrão foram aplicadas as doses de 200 e 300%.

TABELA 1. Descrição das doses, quantidades de zinco aplicadas nos tratamentos.

Tratamento	Dose (%)	Quantidade (g) de Zn aplicada	Dose (mL) da SC por ha	Fonte utilizada
1	0	0,00	0,00	Água destilada.
2	100	248,40	331,20	Suspensão Concentrada + Solução de Hoagland Completa sem Zinco
3	200	496,80	662,40	Suspensão Concentrada + Solução de Hoagland Completa sem Zinco
4	300	745,20	993,60	Suspensão Concentrada + Solução de Hoagland Completa sem Zinco
5	-	0,282**	-	Solução de Hoagland Completa*
6		0,00	0,00	Solução de Hoagland Completa sem Zinco

** Aporte do elemento zinco em 06 aplicações de solução de Hoagland completa e com água destilada

O delineamento constava de tratamentos quantitativos (0 a 300%), em que estavam sendo comparadas as quantidades aplicadas para o tratamento de semente (TS), e tratamentos qualitativos em que estavam sendo avaliadas as diferenças das fontes

aplicadas. Este delineamento possibilitou a comparação de tratamentos quantitativos e qualitativos.

Nos tratamentos quantitativos de TS foi utilizado o produto formulado em suspensão concentrada (SC) a base de óxido de zinco, a qual possui 750 g L^{-1} do elemento, nas dosagens descritas na tabela (1). Em função da ausência de padrões de comparação para cultura do milho, optou-se por utilizar a solução completa de Hoagland, como testemunha para o fornecimento do elemento zinco.

Para os tratamentos que receberam zinco via TS, também foi aplicada a solução de Hoagland com ausência do elemento zinco. Sendo que para possibilitar o efeito comparativo, foram utilizados os tratamentos com a solução de Hoagland completa e outro tratamento com a solução de Hoagland sem o elemento zinco e, um tratamento testemunha somente com água destilada.

O produto formulado em SC a base de óxido de zinco possuía as seguintes características: concentração de 419 g kg^{-1} de Zn, densidade de $1,79 \text{ g mL}^{-3}$ (20° C) índice salino (IS) de 1,17%, condutividade elétrica (EC) de $0,0163 \text{ dS m}^{-1}$ e $\text{pH} = 9,0$ (20° C).

O cálculo das doses para tratamento de semente foi baseado visando atender às exigências para cultura do milho com base em stand de 08 plantas por metro linear, tendo o espaçamento de 0,90 m de entre linhas, assim, necessitando da quantidade de 88.888 sementes por hectare.

Os cálculos, para a aplicação do produto suspensão concentrada, foram realizados com base na exportação de zinco pela cultura, tendo a expectativa de produtividade de $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos. Desta forma, a quantidade correspondente a 100% da exportação de zinco utilizada foi de $248,40 \text{ g ha}^{-1}$. Portanto, as quantidades aplicadas do produto suspensão concentrada, à base de zinco, correspondendo 100, 200 e 300%, foram: 331,2 mL, 662,40 mL e 993,60 mL, por hectare de semente tratada, conforme a tabela (1).

A unidade experimental foi uma bandeja de polietileno perfurado translúcido preenchido com 5,0 L de areia grossa, lavada previamente com solução ácida. Cada unidade experimental constava de 50 sementes por bandeja, híbridas Impacto, produzidas pela empresa Syngenta®.

O tratamento das sementes foi efetuado na parte da manhã, sendo condicionadas em sacos plásticos e o produto, nas respectivas doses, aplicado com seringa graduada, e os tratamentos efetuados por agitação das sementes, até a obtenção da uniformidade da

aderência do produto nas sementes de milho. A semeadura foi realizada no mesmo dia em que foram tratadas as sementes.

A solução de Hoagland foi escolhida para esse trabalho, por que contém todos os elementos minerais necessários ao rápido crescimento das plantas. As concentrações dos nutrientes objetivaram o maior nível possível, sem produzir sintomas de toxicidade ou estresse salino. Uma das propriedades importantes da formulação de Hoagland modificada é o nitrogênio ser suprido na forma nítrica e amoniacal. Este balanço das duas formas de nitrogênio tende a manter o equilíbrio do pH, observando-se um rápido aumento de pH da solução, quando predomina a forma nítrica de nitrogênio (TAIZ; ZEIGLER, 2006).

A solução de Hoagland empregada foi baseada na citação de Taiz e Zeigler (2004) para a cultura do milho, de acordo como proposta e modificada por Epstein (1972). A Solução foi composta de nitrato de potássio ($101,1 \text{ g L}^{-1}$), nitrato de cálcio ($236,16 \text{ g L}^{-1}$), fosfato mono amônico ($115,08 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($246,49 \text{ g L}^{-1}$), cloreto de potássio ($1,864 \text{ g L}^{-1}$), ácido bórico ($0,773 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de manganês mono hidratado ($0,169 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de zinco heptahidratado ($0,288 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de cobre pentahidratado ($0,062 \text{ g L}^{-1}$), molibdato de sódio ($0,040 \text{ g L}^{-1}$) e NaFerro-DTPA-10% Fe (30 g L^{-1}).

Para o preparo da solução de Hoagland, foram necessárias soluções individualizadas, ou seja, havia a necessidade dos nutrientes serem acondicionados separadamente, em recipientes de vidro envoltos em papel alumínio (solução estoque). Os macronutrientes compostos por nitrato de potássio, fosfato mono amônico, nitrato de cálcio e sulfato de magnésio foram armazenados em quatro recipientes independentes. As demais fontes foram armazenadas em recipientes de vidro, tal e qual para os macronutrientes, porém foram preparados três recipientes para os micronutrientes, sendo uma com solução mista sem zinco, e duas separadas, sendo uma para o zinco e outra para o ferro. Essa separação teve o objetivo de não fornecer o zinco nos tratamentos que receberam o nutriente via semente; e o ferro, devido ao problema de precipitação em forma de hidróxido.

Para o ferro, fornecido na forma de sal (sulfato ou nitrato), pode haver a reação com fosfato, formando fosfato de ferro, que tem baixíssima solubilidade em água. Neste caso, o ferro precipitado se torna indisponível para as plantas. Portanto, na solução de Hoagland, opta-se por utilizar o ferro na forma quelatada com DTPA ou EDTA, de modo a minimizar a reatividade do ferro na solução. De qualquer forma, o ferro

(DTPA) foi acondicionado separadamente e misturado à solução no ato da aplicação nos tratamentos.

Na solução aplicada aos tratamentos foram adicionados os seguintes volumes de cada solução estoque: Nitrato de potássio ($6,0 \text{ mL L}^{-1}$), nitrato de cálcio ($4,0 \text{ mL L}^{-1}$), fosfato mono amônico ($2,0 \text{ mL L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($1,0 \text{ mL L}^{-1}$): solução mista com micronutriente ($2,0 \text{ mL L}^{-1}$), sulfato de zinco heptahidratado ($2,0 \text{ mL L}^{-1}$), e NaFerro-DTPA-10% Fe ($1,0 \text{ mL L}^{-1}$).

3.1 Condução do experimento.

Na instalação do experimento, as sementes foram dispostas equidistantes nas bandejas sob a areia e recobertas com uma quantidade tal que conferia uma profundidade de 2,0 cm de cobertura, visando à uniformização das unidades experimentais.

Após a montagem das bandejas (parcelas experimentais) foram aplicados os tratamentos descritos na tabela 1.

Para todos os tratamentos, inclusive o que recebeu água deionizada, manteve-se na solução o valor de $\text{pH}=6,0$. A correção das faixas de pH foi realizada com solução de hidróxido de amônio, quando necessária. O cuidado em manter a faixa máxima de pH em 6,0, deu-se ao fato de que para pH acima de 6,5 há redução na disponibilidade de Mn, Cu, Zn, B, P e Fe, como cita Cometti et al, (2006), sendo importante o monitoramento do pH da solução para a obtenção da máxima absorção dos nutrientes.

Após o início do experimento, o acompanhamento da evapotranspiração foi realizado, ao longo do período experimental, através da diferença da capacidade de retenção da areia, que inicialmente era de 100%, sendo que pelo monitoramento, quando a quantidade de água ficava abaixo de 60% da capacidade de retenção da solução da areia, segundo as prescrições das Regras para Análise de Sementes- RAS (Brasil, 1992), efetuavam-se as reaplicações dos tratamentos com ou sem a solução de Hoagland. Para a determinação da capacidade da retenção da areia eram escolhidas aleatoriamente 05 bandejas.

As soluções de Hoagland (completa e sem zinco) foram aplicadas nos respectivos tratamentos aos 07, 14 e 21 dias após a emergência da cultura com 100% de sua concentração, mostrando uma condutividade elétrica de $2,88 \text{ dS m}^{-1}$, com o pH

ajustado para 6,0. Já, no tratamento que só recebeu a solução de Hoagland completa, para suplementação de zinco e, portanto, visando à maior disponibilidade do aporte do elemento para as plantas, optou-se por fornecer somente o sulfato de zinco e água destilada em pH = 6,0, por 6 aplicações, totalizando o aporte de 0,282 g do elemento, ou seja, a quantidade total fornecida de 0,282 g de zinco deve-se às 03 aplicações suplementares com a solução de Hoagland completa, aos 09, 12 e 16 dias após a emergência, somando-se às do sulfato de zinco nas 03 aplicações com água destilada.

Os cortes das plântulas realizaram-se aos 15 e 30 dias após a emergência, sendo que para cada corte foram coletadas 20 plantas. As plantas eram separadas nas frações de parte aérea e raízes, que foram devidamente lavadas com água destilada e, em seguida com HCl a 10 mmol L⁻¹ por 30 segundos, voltando-se a lavá-las com água destilada novamente, com o objetivo de retirar possíveis contaminações que pudessem ficar retidas na parte aérea e raízes do vegetal (FERRADON; CHAMEL, 1988). A parte aérea e as raízes foram secas em estufa de circulação forçada de ar (65°C), até atingirem massa constante. Assim, obteve-se a massa seca da parte aérea e da raiz.

A parte aérea e as raízes foram moídas e levadas para o laboratório para a determinação do teor de zinco por meio de digestão nitro-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme metodologia de Bataglia e colaboradores (1983).

Os resultados obtidos foram submetidos a teste estatísticos, sendo que as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey (5%) e os dados quantitativos foram submetidos à análise de regressão. Para execução da análise estatística foi utilizado o programa estatístico SISVAR 4.6 (FERREIRA, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as análises das médias de massa seca dos tratamentos descritos na tabela 2 do material colhido da parte aérea e raiz aos 15 dias após a germinação, observou-se que em relação à parte aérea, somente o tratamento testemunha diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais. A média de massa seca foi de 3,75 g, mesmo não observando diferença estatística nos tratamentos que receberam zinco via TS e na solução de Hoagland completa, ocorreu um acúmulo de matéria seca variando entre 145 a 219% superior à testemunha (água destilada).

TABELA 2. Médias de massa seca (g) da parte aérea, raiz e total aos 15 dias após a emergência das plantas. Uberlândia - MG - 2007.

Tratamentos	Parte aérea	Raiz	Total
TS - Zn 100%	4,12 a	5,78 b	9,90 b
TS - Zn 200%	3,68 a	5,62 b	9,30 b
TS - Zn 300%	4,28 a	7,85 a	12,13 a
Sol. Hoagland (Sem Zn)	4,79 a	8,12 a	12,91 a
Sol.Hagland (Completa)	4,12 a	6,88 b	11,41 a
Testemunha (Água destilada)	1,50 b	5,25 b	6,75 c
CV 12,5% DMS = 1,3 CV 15% DMS = 1,85 CV 21% DMS = 2,1			

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Observando a massa seca de raiz, os tratamentos com 300% de zinco e solução de Hoagland sem zinco, obtiveram as melhores médias, diferindo de todos os tratamentos.

O acúmulo de massa seca de raiz, para os tratamentos que receberam zinco via semente a 300% e solução de Hoagland sem zinco variou de 119,25 e 123,35% em relação à massa média de raiz que foi de 6,58 g.

Referente à massa seca total, as melhores médias encontram-se nos tratamentos que receberam 300% de zinco, solução de Hoagland sem zinco e a solução de Hoagland completa, tendo como acúmulo de matéria seca total variando de 116,63; 124,13 e 109,70 %, respectivamente, em relação à média total que foi de 10,40 g.

Com os resultados para massa seca com o material coletado aos 15 dias após a emergência das plantas, observou-se o bom desenvolvimento da cultura no tratamento com a solução de Hoagland sem zinco. Este resultado não era esperado devido à essencialidade desse elemento para a cultura do milho. O que pode ter ocorrido é que neste estágio de desenvolvimento, ainda, as reservas de zinco presentes na semente, possam suprir as plantas. Já, no tratamento testemunha, em virtude da ausência de todos os elementos, observou-se a redução na produtividade de matéria seca, o que era esperado.

Relacionado a esse comportamento da cultura do milho numa fase prematura, foi observado por Kerk e Feldman (1994), Kerk (1998) e Rosolem e Ferrari (1998), um maior desenvolvimento do sistema radicular devido à reação da planta à deficiência de zinco no meio, tendo, assim, que as plantas promoveram mais o desenvolvimento do sistema radicular, como uma reação compensatória à ausência do elemento, o que possibilitaria uma maior exploração do meio, na busca do zinco. Porém, o que pode ser observado neste experimento, foi que aos 15 dias a relação parte aérea / raiz foi

equiparada, com exceção no tratamento com água destilada, que foi o que apresentou o aumento na relação parte aérea e raiz, num ambiente não somente com a ausência do zinco, mas de todos os nutrientes, equiparando os valores de massa seca com os obtidos pelos tratamentos com zinco, quer no tratamento de sementes, quer na solução completa de Hoagland.

Sendo assim, pode-se afirmar que a partir do comportamento da cultura numa fase prematura, a partir dos 15 dias, que a planta já necessita do fornecimento de nutrientes, pois suas reservas contidas nas sementes passam a não ser suficientes para o seu pleno desenvolvimento, havendo claramente a reação da cultura na busca principalmente dos macronutrientes pela maior emissão do sistema radicular. E, observou-se que as plantas já respondem neste estágio à aplicação do zinco, apesar de não apresentarem, nesta fase, sinais externos de deficiência do elemento, e sim somente a redução de massa seca.

Já aos 30 dias (tabela 3), houve uma equiparação para os melhores desempenhos nos valores de massa seca para parte aérea, raiz e planta total, referentes aos tratamentos que receberam zinco via semente e solução de Hoagland completa, sendo que, diferiram dos tratamentos que não receberam zinco, tendo como pior resultado, o tratamento com água destilada, o que era o esperado.

Estas respostas aos 15 (tabela 2) e 30 dias (tabela 3) demonstram que a cultura do milho, responde à suplementação nutricional, havendo, neste caso, a necessidade do fornecimento de zinco à cultura, pois se observa que, quando este elemento não é fornecido, via semente ou na forma solúvel pela solução de Hoagland, há diminuição nos valores de massa seca.

TABELA 3. Média de massa seca (g) da parte aérea e raiz aos 30 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

Tratamentos	Parte Aérea	Raiz	Total
TS - Zn 100%	64,00 b	18,75 a	82,75 b
TS - Zn 200%	114,00 a	18,50 a	132,50 a
TS - Zn 300%	103,75 a	16,25 a	120,00 a
Sol. Hoagland (Sem Zn)	17,75 c	7,22 b	24,98 c
Sol. Hagland (Completa)	57,00 b	25,00 a	82,00 b
Testemunha (Água destilada)	17,00 c	6,98 b	23,98 c
CV 24% DMS = 23 CV 31% DMS = 8,72 CV 28% DMS =38			

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Quando analisadas as médias obtidas aos teores de zinco (mg kg^{-1}), de acordo com os tratamentos descritos na tabela 4 para o material colhido aos 15 dias após a emergência, observou-se que na parte aérea, nos tratamentos que não receberam zinco apresentaram os menores teores. Quando nos tratamentos via semente, a dose de 200% foi a que apresentou a maior absorção. Este comportamento não era esperado, pois no tratamento com 200% a absorção pela parte aérea foi em média 140% superior aos tratamentos com 100 e 300%, havendo a possibilidade de doses acima de 200% causarem fitotoxicidade, o que não ocorreu.

TABELA 4. Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea, raiz e total aos 15 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

Tratamentos	Parte Aérea	Raiz	Total
TS - Zn 100%	40,50 b	27,75 b	68,25 b
TS - Zn 200%	97,25 a	15,25 c	112,5 a
TS - Zn 300%	35,75 b	48,50 a	84,25 b
Sol. Hoagland (Sem Zn)	24,25 c	5,15 c	29,40 c
Sol. Hagland (Completa)	44,25 b	24,75 b	69,00 b
Testemunha (Água destilada)	13,75 c	8,50 c	22,25 c
CV 22% DMS = 12,5 CV 25% DMS = 8,2 CV 25% DMS = 17,3			
Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%			

Observando os teores de zinco na raiz (tabela 4), nos tratamentos com ausência do elemento, o sistema radicular mostrou o mesmo comportamento que a parte aérea, o que era esperado. Já, o sistema radicular não teve o mesmo comportamento em acúmulo de zinco no tratamento com 200%, que foi observado no tratamento de semente com 300%. Este comportamento entre os teores da parte aérea e raiz pode explicar os resultados de que uma presença maior de zinco presente no sistema radicular, não acompanha a sua absorção, e por consequência, a queda do teor do elemento na parte aérea.

Para os teores de zinco para a planta total, referente ao material colhido aos 15 dias após a emergência, observa-se (tabela 4) que o melhor desempenho está no tratamento via semente a 200%, resultado este, que confirma a tendência de ocorrer a diminuição na absorção do elemento, quando em dose superior a 200%. Os tratamentos que não receberam zinco, os resultados para planta total foram esperados, mostrando os mais baixos valores e, por consequência, não diferindo estatisticamente entre si.

Os teores de zinco para os 30 dias estão descritos na tabela 5, onde se observa que, na ausência do zinco, houve uma redução significativa deste elemento nas frações avaliadas. Já nos tratamentos onde foram aplicados zinco, tanto via semente como na solução de Hoagland, a absorção de zinco foi equivalente.

Conforme os resultados dos teores de zinco aos 15 (tabela 4) e 30 dias (tabela 5) nos materiais avaliados, observa-se que o tratamento via semente obteve desempenho equivalente à solução de Hoagland completa, onde houve o fornecimento do elemento na forma de óxido (TS) e solúvel na forma de sulfato presente na solução de Hoagland.

Sendo assim, independente à dose aplicada, o tratamento via semente foi tão eficiente quanto à aplicação da forma solúvel de zinco.

Observa-se que o desempenho do tratamento de semente, independente da dose aplicada, obteve desempenho equiparado ao fornecimento de zinco pela solução de Hoagland completa, o que demonstra a viabilidade dessa tecnologia para a nutrição de plantas.

Este desempenho do nutriente aplicado via semente vem ao encontro de uma opção viável tanto do ponto de vista de custo, como do tecnológico, pois está ao alcance dos produtores, independente do nível tecnológico dos mesmos, tendo como exemplo a aplicação de cobalto e molibdênio para soja, que é adotada como um manejo de rotina para a cultura.

Em geral, os métodos mais comuns para aplicações de micronutrientes são no solo (sulco, lanço), via foliar, mistura em fertilizantes granulados, incorporados aos fertilizantes no mesmo grânulo e tratamento de semente.

Um dos problemas que limita a aplicação de micronutrientes ao solo, tanto a lanço como no sulco de plantio é a pequena quantidade por área tratada, além de, devido às características do elemento zinco, há a necessidade de aplicá-lo próximo à semente, pois como seu comportamento no solo se compara ao fósforo, a difusão é um processo importante no sucesso do fornecimento deste nutriente. Sendo assim, a aplicação ao solo (lanço ou sulco) tem que ser efetuada com precisão, o que não é sempre possível, dependendo do nível tecnológico do produtor. Além disso, como para a aplicação ao solo, a forma solúvel mais comumente encontrada é o sulfato de zinco, o que dificulta a aplicação ao solo, pois essas formas são higroscópicas, e, portanto, a aplicação em pequenas quantidades pode ser inviável por seu posicionamento estar perto da semente, podendo causar fitotoxidez devido à salinidade próxima ao sistema radicular. No caso da forma em óxido de zinco aplicada ao solo, pode-se não ter o nutriente disponível na

fase que a cultura mais o necessita, porque a forma de óxido tem baixíssima solubilidade e, além disso, o zinco proveniente do óxido ser envolvido por reações no solo com o fósforo, por exemplo, podendo o zinco não estar disponível para cultura.

A aplicação via foliar é viável e utilizada pelos produtores, pois pode ser realizada por produtos industrializados, já formulados para esta finalidade, conhecidos como fertilizante foliar, ou pelo emprego direto de sais solúveis, geralmente na forma de sulfato, proveniente de várias procedências. A vantagem da aplicação via foliar está no fato do produtor poder optar por produtos já formulados de empresas idôneas, onde as doses e os meios para aplicá-los estão ao alcance no mercado; ou, se houver a possibilidade, da aplicação de sais solúveis em misturas de tanque. Contudo, a desvantagem deste método está que, nem sempre o produtor efetua a aplicação do fertilizante foliar de maneira isolada, ou seja, visando unicamente a nutrição vegetal, mas o produtor comumente “aproveita a oportunidade” da aplicação de defensivos para proceder à aplicação do fertilizante em mistura de tanque. Este comportamento independe se o produtor opta por fazer uso de fertilizantes já formulados, ou sais isolados na mistura de tanque com defensivos. Quando o produtor procede assim, “aproveitando a oportunidade”, visa-se à economia da aplicação e, portanto, o custo do tratamento com o fertilizante, pois o objetivo principal, quase sempre, é o controle da praga ou doença, o que no caso do milho, é comum haver misturas de tanque com defensivos para o controle da lagarta do cartucho.

Assim sendo, há o risco da haver reações entre o(s) fertilizante(s) e o(s) defensivo(s), pois como o produtor tem optado por pulverizar calda em baixo volume, devido às questões de economia (trânsito de máquinas, recarga com calda, combustível, mão-de-obra, etc.) a concentração do fertilizante foliar (formulados ou sais) na calda, torna-se muito alta e, podendo ocorrer o risco de reações, e por consequência a inativação ou queda acentuada na ação do defensivo. Quando o produtor prefere utilizar sais isolados, há outro agravante, principalmente quando há necessidade de fornecer mais de um elemento para a cultura. Este agravante se refere às reações que podem ocorrer entre os elementos dos próprios sais. Como o zinco está na forma de sulfato, dependendo de sua concentração na calda no tanque, se houver a mistura com produtos a base de cálcio, seja na forma de nitrato ou cloreto, pode ocorrer reações, formando sulfato de cálcio (gesso), o qual tem baixa solubilidade em água, e, portanto formar precipitados no tanque, entupimento de filtros, bicos, etc.

Além desses aspectos envolvendo os produtos propriamente ditos, temos como desvantagem da aplicação foliar, os fatores considerados “não previstos”, como: questões ambientais (impedimento de entrada na área para aplicação por chuvas em excesso, alta temperatura, ventos fortes, baixa umidade relativa do ar), quebra de máquinas, etc, os quais podem atrasar a aplicação e, assim o fornecimento do nutriente ser efetuado numa fase em que a cultura não responda, ou que a deficiência já causou quebra de produtividade.

Na mistura de micronutrientes em fertilizantes granulados NPK, para aplicação localizada ou a lanço, a vantagem está que a formulação NPK já vem da empresa produtora com a concentração determinada, não necessitando de misturas na propriedade, evitando riscos com a não uniformização da mistura, disponibilidade dos micronutrientes no mercado, etc. Porém, o maior problema está na segregação dos componentes da mistura, pois os fertilizantes NPK geralmente são granulados e os micronutrientes são em pó, principalmente os óxidos. No processo de aplicação, a segregação física ocorre, principalmente, por causa das partículas de tamanho inferior a 0,3 mm (RODELLA; ALCARDE, 1994), sendo o efeito da segregação acentuado em mistura de grânulos com micronutrientes (CARVALHO, 2001).

Sendo assim, quando da aplicação no campo, por diferença de densidade, pode ocorrer segregação, e por consequência o fornecimento do produto em doses diferentes por área tratada. A segregação na aplicação de fertilizantes formulados pode ocorrer não somente devido à diferença de densidades dos produtos, mas também relacionada à velocidade de deslocamento de máquinas (POPP; ULRRICH, 1985; MANTOVANI et al., 1992), e à falta de manutenção dos equipamentos de aplicação dos fertilizantes e ao tipo de distribuidor de fertilizante (SILVA et al., 1998).

As formas em sulfato de zinco podem causar problemas nas misturas com os NPK, pois há a possibilidade de incompatibilidade física devido à higroscopicidade dos micronutrientes (sulfatos) e do cloreto de potássio presente no NPK, principalmente em armazenamento em longo prazo. Na incorporação dos micronutrientes no mesmo grânulo, contorna-se a questão da segregação, possibilitando uniformidade de aplicação por área. Contudo, há referências de reações entre as fontes de micronutrientes e o NPK no processo industrial de incorporação, formando produtos de baixa eficiência agrônômica, como cita Lopes (1999) e Barbosa Filho (1999).

Há outras formas de aplicação de micronutrientes em formas solúveis presentes em fertilizantes encapsulados, fórmulas para fertirrigação e etc; contudo, estes produtos

estão relacionados para culturas de alto valor agregado, como por exemplo, na produção de mudas e plantas ornamentais, não sendo aplicadas para as condições econômicas da cultura do milho.

Sendo assim, a aplicação de micronutrientes no tratamento de semente, torna-se um método viável, pois, este método contorna as limitações das outras opções, evitando os problemas com segregação de nutrientes no campo, reações químicas e físicas entre produtos, perda do timing de aplicação, uso racional de máquinas e mão-de-obra para outras atividades na propriedade.

Como ocorreu neste experimento, a aplicação de zinco via semente demonstrou que o produto suspensão concentrada na forma de óxido, independente da dose, obteve o mesmo desempenho que forma solúvel (sulfato de zinco) presente na solução de Hoagland completa, além de, durante a condução do experimento, não foram observados sintomas de deficiência e/ou fitotoxidez nas plantas.

O presente experimento foi realizado em casa de vegetação, onde as condições de aplicação foram controladas, tendo como substrato o material inerte (areia lavada com solução ácida). Sendo assim, há necessidade de aprofundar os estudos, sugerindo futuros experimentos em casa de vegetação, utilizando solos como substrato, variando fatores como: pH, quantidade e tipo de fertilizantes fosfatos, texturas de solos, etc, para que, em se confirmando os resultados de desempenho obtidos da aplicação via semente do experimento em questão, passar a avaliar o comportamento em condições de campo.

No mais, há também a necessidade de avaliação da manutenção do vigor das sementes tratadas para diversos híbridos, com o objetivo de investigar se é possível as sementes serem tratadas e armazenadas em longo prazo.

TABELA 5. Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea, raiz e total aos 30 dias após a emergência das plantas. – Uberlândia – MG – 2007.

Tratamentos	Parte Aérea	Raiz	Total
TS - Zn 100%	21,43 a	30,50 a	51,93 a
TS - Zn 200%	17,64 a	24,58 a	42,22 a
TS - Zn 300%	18,49 a	21,45 a	39,93 a
Sol. Hoagland (Sem Zn)	12,31 b	13,27 b	25,58 b
Sol. Hagland (Completa)	22,43 a	36,47 a	58,90 a
Testemunha (Água destilada)	2,20 c	8,95 c	11,20 c

CV 24% DMS = 23 CV 31% DMS = 8,72 CV 28% DMS = 38

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Os resultados obtidos através do desempenho da cultura em massa seca aos 15 dias (tabela 2) e teor de zinco aos 15 dias (tabela 4) refletem os dados de conteúdo de zinco na planta, descritos na tabela 6, para o material colhido aos 15 dias após a emergência. Os dados do conteúdo de zinco foram obtidos pela razão entre os teores do elemento em relação à massa seca para parte aérea, raiz e planta total.

Quanto ao conteúdo de zinco total em relação à massa seca das plantas para os 15 dias, os melhores resultados são referentes aos tratamentos de semente com 200 e 300 %, os quais superaram o tratamento com solução de Hoagland completo em acúmulo de 28 e 50%, respectivamente. Já, o tratamento de semente com 200% apresentou acúmulo no conteúdo de zinco total em 701% em relação ao tratamento com água destilada.

TABELA 6. Conteúdo de zinco na massa seca (g) da parte aérea, raiz e total por planta aos 15 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

Tratamentos	Parte Aérea		Raiz		Total	
TS - Zn 100%	0,167	b	0,161	b	0,328	b
TS - Zn 200%	0,368	a	0,085	c	0,453	a
TS - Zn 300%	0,153	b	0,380	a	0,523	a
Sol. Hoagland (Sem Zn)	0,116	b	0,042	d	0,158	c
Sol. Hagland (Completa)	0,183	b	0,170	b	0,353	b
Testemunha (Água destilada)	0,021	c	0,045	d	0,066	d
	CV 28%	DMS 0,082	CV 27%	DMS 0,033	CV 28%	DMS 0,075

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Para as raízes, o melhor desempenho no conteúdo de zinco foi o tratamento de semente a 300%, com acúmulo de 44,74% em relação ao tratamento com solução de Hoagland completa. Contudo, esse maior acúmulo de zinco no tratamento de semente com 300%, não refletiu em um maior desenvolvimento do sistema radicular em massa seca (tabela 3) aos 15 dias, pois o desempenho em massa seca de raiz no tratamento de semente com 300% foi equiparado ao tratamento com a solução de Hoagland sem zinco, não diferindo estatisticamente entre si.

Já, para a parte aérea, o maior acúmulo no conteúdo de zinco foi observado no tratamento de semente a 200%, porém, não houve diferença no desempenho em ganho de massa seca, pois entre os tratamentos via semente, solução de Hoagland completa com e sem zinco, não diferiram estatisticamente entre si.

Com relação ao conteúdo de zinco em relação à massa seca de parte aérea, raiz e planta total aos 30 dias, pode ser observado na tabela 7.

TABELA 7. Conteúdo de zinco na massa seca (g) da parte aérea e raiz por planta aos 30 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

Tratamentos	Parte Aérea		Raiz		Total	
TS – Zn 100%	1,372	b	0,572	a	1,944	a
TS – Zn 200%	2,010	a	0,455	a	2,465	a
TS – Zn 300%	1,917	a	0,349	a	2,266	a
Sol. Hoagland (Sem Zn)	0,219	b	0,096	b	0,315	b
Sol. Hoagland (Completa)	1,279	b	0,911	a	2,190	a
Testemunha (Água destilada)	0,038	c	0,063	b	0,101	b
	CV	DMS	CV	DMS	CV	DMS

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%

Para a parte aérea aos 30 dias (tabela 7), observa-se que os melhores desempenhos para conteúdo de zinco, foram os tratamentos de semente com 200 e 300%, diferindo estatisticamente do tratamento com solução completa de Hoagland. Este desempenho acompanhou o ganho de massa seca, demonstrando que aos 30 dias para a parte aérea, o fornecimento de zinco via semente a 200 e 300% apresenta relação positiva entre o fornecimento de zinco via semente e ganho de massa seca.

Para o sistema radicular aos 30 dias, os melhores desempenhos estão relacionados aos tratamentos que receberam zinco via semente a 100, 200, 300% e para a solução de Hoagland completa com zinco, não diferindo estatisticamente entre si.

Para a planta total aos 30 dias (tabela 7), o melhor resultado para o conteúdo de zinco em relação à massa seca, observou-se que estão relacionados aos tratamentos que receberam zinco, tanto via semente (100, 200 e 300%) como via solução de Hoagland completa com zinco, não diferindo estatisticamente entre si.

Observa-se que aos 30 dias após a emergência, a cultura do milho foi sensível à presença do zinco, pois os tratamentos que não receberam o elemento, no tratamento com solução de Hoagland completa sem zinco e com água destilada, não diferiram estatisticamente entre si e tiveram os piores desempenhos.

Devido às respostas positivas da cultura do milho ao fornecimento de zinco via semente pelo produto suspensão concentrada, quanto ao acúmulo de massa seca, teor e conteúdo do elemento nas plantas aos 30 dias após a emergência, realizaram-se as análises de regressão para determinar a dose ideal do tratamento de semente quanto às variáveis de massa seca e teores do elemento.

Na figura 1 observa-se a curva de regressão para massa seca da parte aérea para o material colhido aos 30 dias, a qual forneceu a melhor dose de 259,50% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose máxima corresponde ao emprego de 644,60 g de zinco por hectare de semente para um total de 88.888 sementes.

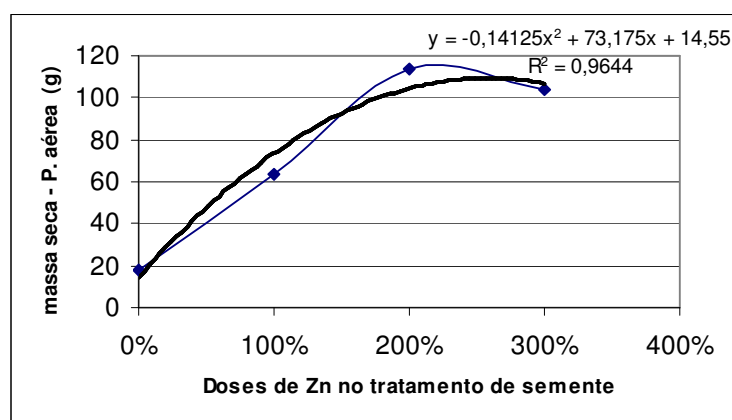


FIGURA 1. Massa seca de parte aérea de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência – Uberlândia – MG – 2007.

Na figura 2, observa-se que a curva de regressão, para massa seca de raiz para o material colhido aos 30 dias, forneceu a melhor dose no tratamento de semente para 188,95% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose máxima corresponde ao fornecimento de 469,35 g de zinco por hectare de semente para um total de 88.888 sementes.

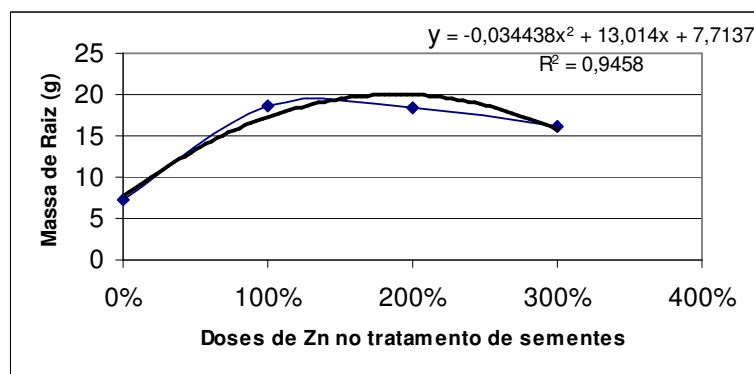


FIGURA 2. Massa seca de raiz de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência – Uberlândia – MG – 2007.

Na figura 3, observa-se que a curva de regressão, para massa seca planta total para o material colhido aos 30 dias, forneceu a melhor dose no tratamento de semente para 245,29% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose máxima corresponde ao fornecimento de 609,30 g de zinco por hectare de semente, que equivaleu a 88.888 sementes.

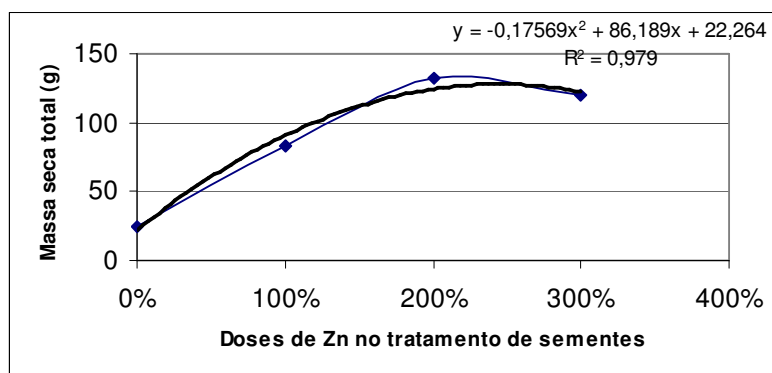


FIGURA 3. Massa seca total de milho, considerando os tratamentos via semente aos 30 dias após a emergência – Uberlândia – MG – 2007. .

De acordo com as figuras 1, 2 e 3 o valor máximo médio para promover o melhor acúmulo de massa seca foi de 231,25% do fornecimento do elemento via semente, para uma produtividade estimada de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose média máxima corresponde a 574,43 g de zinco contido no produto formulado em suspensão concentrada.

Na figura 4, observa-se que a curva de regressão, para teor de zinco da parte aérea para o material colhido aos 30 dias, forneceu a melhor dose no tratamento de semente para 185,62% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose máxima corresponde ao fornecimento de 461,08 g de zinco por hectare de semente, que equivaleu a 88.888 sementes.

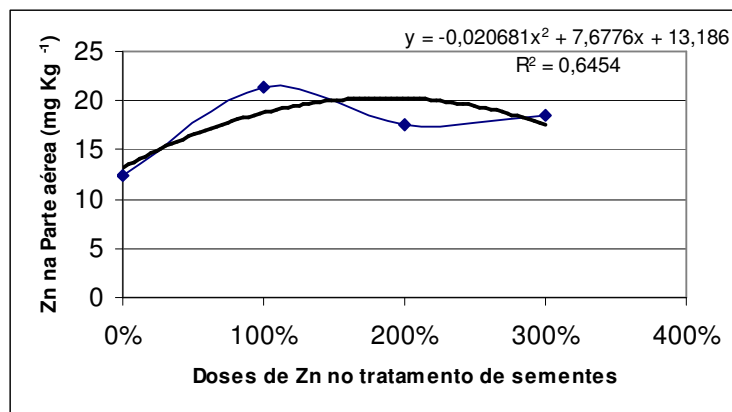


FIGURA 4. Teores de zinco (mg kg^{-1}) da parte aérea do milho aos 30 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

Na figura 5, observa-se que a curva de regressão, para teor de zinco para o material colhido aos 30 dias, forneceu a melhor dose no tratamento de semente para 163,33% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de $9,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Esta dose corresponde ao fornecimento de 405,71 g de zinco por hectare de semente, que equivaleu a 88.888 sementes

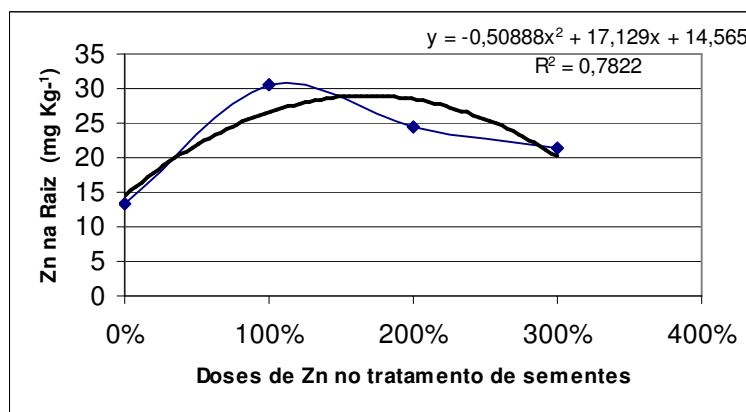


FIGURA 5. Teores de zinco (mg kg^{-1}) de raiz de milho aos 30 dias após a emergência das plantas.

Na figura 6, observa-se que a curva de regressão, para teor de zinco para planta total para o material colhido aos 30 dias, forneceu a melhor dose no tratamento de semente para 173,30% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de $9,0 \text{ t ha}^{-1}$. Esta dose corresponde ao fornecimento de 430,48 g de zinco por hectare de semente, que equivaleu a 88.888 sementes

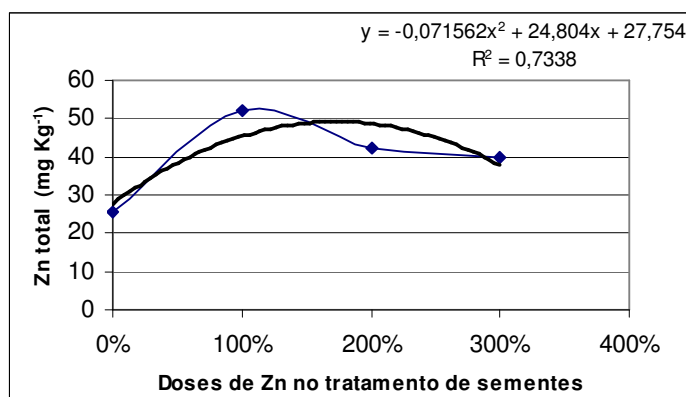


FIGURA 6. Teores de zinco (mg kg⁻¹) total de milho aos 30 dias após a emergência das plantas – Uberlândia – MG – 2007.

De acordo com as figuras 4, 5 e 6 o valor máximo médio para promover o melhor acúmulo de teor de zinco foi de 174,08% do fornecimento do elemento via semente, para uma produtividade estimada de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose média máxima corresponde a 432,41 g de zinco contido no produto formulado suspensão concentrada.

Sendo assim, pelos resultados obtidos através das curvas de regressão para massa seca do material colhido aos 30 dias, observa-se que os dados de melhor dose que variam de 188,95% a 254,50% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Já, para o teor de zinco, tem-se que, pelas curvas de regressão, os melhores resultados, referente ao material colhido aos 30 dias variam de 163,33 a 185,62% da exportação de zinco pela cultura do milho para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹.

Contudo, para o teor de zinco referente à planta total, a melhor dose situa-se a 173,30% da exportação de zinco. Ou seja, comparando os parâmetros avaliados, observa-se que há a maior amplitude nos valores de massa seca do que nos de teor do elemento. O valor da amplitude para massa seca no material colhido aos 30 dias é de 65,65%, já, para o teor de zinco o valor corresponde a 22,29%.

Como o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o aspecto nutricional da planta, quando se comparou o fornecimento de zinco via semente por um produto formulado em suspensão concentrada a uma fonte solúvel na forma de sulfato de zinco contida na solução de Hoagland completa, optou-se por tomar como base de melhor dose, o resultado obtido pelo teor de zinco na planta total. Pois, embora os dados fornecidos pelo acúmulo de massa seca sejam importantes para a avaliação do ganho de massa através do fornecimento do elemento zinco pelos tratamentos de semente, e

também, se houve algum sintoma de toxidez, o que se observou foi que, mesmo quando da ausência total de nutrientes, na fase mais prematura da cultura aos 15 dias, a planta promoveu mais o sistema radicular em detrimento à parte aérea, o que sugere uma compensação, na tentativa de busca de elementos para se desenvolver.

Quando se analisa a massa seca de raiz e em comparação ao seu teor de zinco no material colhido aos 15 dias, os valores referentes aos tratamentos que não forneciam o elemento mostraram-se os mais baixos, o que revela que o ganho de massa seca não é influenciado apenas por um fator, ou seja, no fornecimento ou não do zinco. Portanto, para a avaliação do estado nutricional da planta, visa-se ao teor de zinco na planta total, porque o elemento tem reconhecida atuação no sistema radicular e por consequência no desenvolvimento da parte aérea, onde, devido ao seu fornecimento, a planta mostra resposta positiva quando se compara os resultados de massa seca e teor de zinco numa fase posterior, ou seja, aos 30 dias após a emergência da cultura.

Para teor de zinco para planta total, de acordo com a curva de regressão para o material colhido aos 30 dias a melhor dose foi de 173,30% da exportação de zinco para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹. Esta dose corresponde ao fornecimento de 430,48 g do elemento fornecido via semente para uma quantidade de 88.888 sementes.

5 CONCLUSÃO

O tratamento de sementes via produto formulado em suspensão concentrada mostrou-se eficiente no fornecimento de zinco para a cultura do milho até os 30 dias.

O melhor tratamento refere-se à aplicação de zinco via tratamento de semente com produto formulado em suspensão concentrada na dose de 173,30% da exportação de zinco para uma expectativa de produtividade de 9,0 t ha⁻¹, correspondendo a 430 g do elemento fornecido via semente para uma quantidade de 88.888 sementes.

6 REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A. DE; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. P. da; VAN RAIJ, B; ABREU, C. A. de **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.125-141.
- ANDRADE, A. G. (1975). Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.).Piracicaba: ESALQ-USP. 78p. (Dissertação de mestrado)
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, C. E., CRUSCIOL, C. A. C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia Agricola**, Botucatu, v. 58, n. 2, p. 321-327, abr./jun. 2001.
- ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Interação calcário x zinco sobre a produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 78,n. 3, p. 331-345, dez., 2003.
- ASSMANN, A.L.; ASSMANN, T.S.; Efeito de doses crescentes de zinco sobre plantas de milho cultivadas em um latossolo roxo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, MG, 1995. **Resumos expandidos**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1181-1882.
- ÁVILA, M.R.; MARTORELLI, D.T.; ALBRECHT, L.P.; FACIOLLI, F.S. Qualidade fisiológica e produtividade das sementes de milho tratadas com micronutrientes e cultivadas no período de safrinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, Oct./Dec., 2006, p. 535-543.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGEIRA, N.K.; SILVA,O.F. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás. 2001. 8 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 49).
- BARBOSA FILHO, M. P.; DUNIA, J.F.; FAGERIA, N.K. **Zinco e ferro na cultura do arroz**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.71p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 49).
- BATISTA, L.F.; BATISTA, R.A.B. Efeito do cálcio e do pH do solo na absorção de manganês, ferro e fósforo e na produção do milho (*Zea mays* L.). **Agropecuária Técnica**, Areia, v.2. n.1, p.31-39, jan. 1981.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Método de análises química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BRADL, H.B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 217, p. 1-18, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993, p. 63-145.

CAKMAK, I.; GULUT, K.Y.; MARSCHNER, H.; GRAHAM, R.D. Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. **Journal. Plant Nutrition**, v. 17, p. 1-17, 1994.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, 59(2), v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/ FAPESP/ POTAFOS, 2001. p.89-124

CARVALHO, F. J. P. de C. **Segregação de fertilizantes ensacados em “Big Bag”**. 2001. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

COMETTI, N, N.; FURLANI, P.R.; RUIZ, H.A.; FERNANDES FILHO, I. Soluções Nutritivas. In: FERNANDES, M.S.ed. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.89-114.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (Brasil). **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2006/2007**: Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/7levsafra.pdf>.> Acesso em: 19 out 2007.

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E.L. M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum Agronomy** Maringá, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2004.

COUTINHO, E.L.M., CONSOLINI, F.; BARBOSA,J.C.; LÓPEZ-PÉREZ, A.; SANTOS, P.R.S. Respuestas Del maíz (Zea Maiz L.) a la fertilizacion com fósforo y zinc. In: CONGRESO VENEZOLANO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, 14., 1997 Trujillo, 8p. 1 CD ROM.

COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 1, p.79-87, jan./abr. 1992.

DECARO, S. T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (Zea mays L.). **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v.58, n.1/2, p. 25-36, 1983.

DOMINGUES, M. R.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SASSAKI, N. Doses de enxofre e de zinco na cultura do milho em dois sistemas de cultivo na recuperação de uma

pastagem degradada. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.147-151, 2004.

ELLIS, B.G.; KNEZEK, B.D. Adsorption reaction of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.59-78.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja**: Paraná 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 224p.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2303-2307, nov. 2000a.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, set.-dez., 2000b.

FERREIRA, D.F. **Sisvar 4.3**. 2003. Disponível em <http://www.dex.ufla.br/danieleff/sisvar>. Acessado em Jan. 2004.

FERREIRA, N. E.; M. C. P. CRUZ, B. RAIJ, B. van;. ABREU, C, A (Ed). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. CNPq/FAPESP/POTAFOS. Jaboticabal. 506 p.

FERRADON, M; CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic forms. **Journal Plant Nutrition**, v. 11. n. 2, p. 247-263, 1988.

FLORES, R.A.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. Influencia de las propiedades de suelos Del Pacifico Sur sobre su contenido de cationes menores. II. Cobre y zinc extraibles. **Turrialba**, San José, v. 29, p. 105-110, 1979.

FNP. Disponível em <http://www.fnp.com.br> > Acesso em 19 out 2007.

FONTES, R.L.F. Pesquisa com micronutrientes em solos e plantas. Difusão dos resultados no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997, p. 25.

FURLANI, A.M.C., FURLANI, P. R., MEDA, A. R.; DUARTE, A. P. Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, maio/jun., 2005.

FURLANI, P.R.; HIROCE, R; BATAGLIA, O.C. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, Campinas, v.36, p. 223-229, 1977.

GALRÃO, E. Z.Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.1, p. 111-116, jan. 1984

GALRÃO, E. Z., MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de micronutrientes na produção química do arroz (*Oryza sativa* L.) e do milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.72-75, jan. 1981.

GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20,n. 2, p. 283-289, maio/ago., 1996.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 229-233, mai.-ago., 1994

GONÇALVES JR., A. C.; PESSOA, A. C. S.; LUCHESE, E. B.; LUCHESE, A. V.; SELINGER, A. L.; MARCON, E.; FRANDOLOSO, J. F.; COTTICA, R. L. Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de milho em resposta ao tratamento com zinco via semente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 24., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p. 215.

GRANT, C. A.; BAILEY, L.D. Interaction of zinc with banded and broadcast phosphorus-fertilizer on the concentration and uptake of P, Zn,Ca and Mg in plant-tissue of oilseed flax. **Canadian Journal Plant Science**. v. 73, p. 17-29, 1993.

GUARIDO, R. C.; BRACCINI, A. L.; INOUE, T. T.; VIEIRA, A.C.; Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* l.) tratadas com quimifol seed-78 no armazenamento. **Campo Digital**, Campo Mourão, v.1, n.1, p.32-36, jul./dez. 2006.

GUPTA, V.K. Studies of the comparative response of some Kharif crops to zinc application. *Agri. Sci. Dig.*,n. 3, p. 79-80, 1983.

HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S.; LEITE, J.P. Zinco disponível nos solos da zona do agreste de Pernambuco. **Pesquisas Agropecuárias**, Recife, v.5, n.2, p.57-63, 1973.

IGUE, K.; BORNEMISZA, E. El problema del Zn en suelos y plantas de regions tropicales y de zonas templadas. **Fitotecnica Latinoamericana**, San Josè, v. 4, p. 29-44, 1967.

HOWELER, R. H., EDWARDS, D. G., AND ASHER, C. J. Micronutrient deficiencies and toxicities of cassava plants grown in nutrient solutions. 1. Critical tissue concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 5, p. 1059–1076, june, 1982.

JAMAMI, N.; BULL, L.T; CORRÊA, J.C.; DOMINGOS, J. Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 1, p. 99-105, Jan./March, 2006

KALBASI, M.; RACZ, G.J. Association of zinc oxides of iron and aluminium in some Manitoba soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, n. 58, p. 68-78, 1978.

KERK, N. The root meristem and its relationship to root system architecture. In: BOX, J.E., (Ed). **Root demographics and their efficiencies in sustainable agriculture**,

grassland and forest ecosystems. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998. p.509-521.

KERK, N.; FELDMAN, L. The quiescent center in roots of maize: initiation, maintenance and role in organization of the root apical meristem. **Protoplasma**, n. 183, p. 100-106, 1994.

KOCHIAN, L. U. **Molecular Physiology of mineral nutrient acquisition, transport and utilization.** In: **Biochemistry of molecular Biology of plants.** BUCHANAN, B. B. Ed. American society of plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA p. 1204-1049, 2000.

KORNDÖRFER, G. H., EIMORI I. E.; TELLECHEA M. C. R. Efeito da técnica de adição de zinco a fertilizantes granulados na produção de matéria seca do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 329-332, 1987.

KORNDÖRFER, G.H.; ALCANTARA, C.B.; HOROWITZ, N. & LANA, R.M.Q. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agricola**, v. 52, p. 555-560, 1995.

LEITE, J.P.; SKOGLEY, E.O. Retention and leaching of copper and zinc in "Tabuleiro" soil as influenced by nutrient carrier. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.1, v.227. p. 34, 1977.

LHER, J. Chemical reaction of micronutrients in fertilizers. In: **Micronutrients in agriculture.** Madison: Soil Science Society of America, p. 459-503, 1972.

LINDSAY, W, L. **Inorganic phase equilibria in soils.** New York: John Wiley & Sons, 1979. 449p.

LINDSAY, W, L. Inorganic phase equilibria in soils. In: MORTVEDT, J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., (Ed.) **Micronutrients in agriculture.** Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 209-246.

LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J; WEBB, M.J. Translocation and function of zinc in roots. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 1247-1254, 1987.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and transport of zinc. In: _____ **Zinc in soils and plants.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 79-91.

LOPES, A. S. Uso de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, Brasília. **Anais...** Brasília; EMBRAPA, 1984, p. 347-382.

LOPES, S.; **Solos sob Cerrado:** Características, propriedades e manejo. Associação Brasileira para Pesquisa do Potassa e do Fosfato. 2. ed. Piracicaba, 1984. 162 p.

LOPES, A. S. **Micronutrientes:** filosofia de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: Associação Nacional para difusão de adubos, 1999. 70 p.

LOPES, C. M.; ALLEONI, L. R. F. Efeito do pH na adsorção competitiva de metais em solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1. CD.

LUCHESI, A.V.; GONÇALVES, A.C.; LUCHESI, E.B.; BRACCINI, M.C.L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays* L) **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1949-1952, nov-dez, 2004

LONERAGAN, J.F.; GROVE, Y.S.; ROBSON, A.D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interaction in plants. Soil Science Society of **America Journal**, Madison, v. 43, p. 966-972, 1979.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and transport of zinc. In: _____ **Zinc in Soils and Plants..** Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 1993. p.79-91.

MACHADO, P.L.O.A.; PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p. 253-256, 1987.

MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. de C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1.579-1.586, 1992.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Pioneira, 1974, 752 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.L.; STEFANUTTI, R.; LIMA FILHO, O.F.; NASCIMENTO FILHO, V.; CABRAL, C.P. Estudos sobre nutrição mineral do cafeeiro 53. Absorção radicular de sais e quelato de zinco marcados com radiozinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRA, 21, Caxambu, 1995. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro, IBC, 1995. p.114-115.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MARINHO, M.L.; IGUE, K. Influência do fósforo e sesquióxidos livres na absorção de ⁶⁵Zn por milho em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Vitória, 1971. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1973. p.158-159.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v.33, p. 59-110, 1980.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987, 687p.

MORAES, M. F.; KLIEMANN, H. J.; FAGERIA, N. K.; SEVERIANO, E. C.; MIRANDA, G. J.; LIMA, D. V. Doses de fósforo de zinco na cultura do arroz de terras altas em uma Areia Quartzosa distrófica de Cerrado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, / REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 2002. Florianópolis 1., 2002, Florianópolis; Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2002. v. 1, p. 547-548.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizer technology. In: _____ **Micronutrients in Agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA E. L.; CALEGARI, A. **Adubação do milho**. Campinas: Fundação Cargill/IAPAR, 1989, 29p. (Fundação Cargill. Série Técnica, 4).

ORPHANOS, P. I. Spray application of zinc to young apple trees. **Horticulture Resume**. n. 15, p. 23-30, 1975.

PARDUCCI, S.; SANTOS, O. S.; CAMARGO, R. P.; LEÃO, R. M. A.; BATISTA, R. B. **Micronutrientes biocrop**. Campinas: Microquímica, 1989. 101p.

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e interpretações**. – 2 ed. – Castro, Fundação ABC, 2004. 86p.

PEREIRA, N. M. Z.; ERNANI, P. R., SANGOI, L. Disponibilidade de zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.3, p. 273-284, 2007.

POPP, T.; ULLRICH, K. H. La importancia de la calidad del fertilizante para la aplicación con fertilizadora. **BASF Reportes Agrícolas**, Ludwigshafen, v.2, p.3-13, 1985.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; MOURO, M.C. Fontes de zinco aplicado via semente na nutrição e crescimento inicial do milho cv. Fort. **Bioscience. Journal.**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 16-24, Apr./June 2007

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S; MENEZES, N.L. Tratamento de sementes de milho com fontes de zinco e boro. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília. v.16, n.2, p.116-120. 1994b.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991, 343 p.

RICEMAN, D.S.; JONES, G.B. Distribution of zinc in subterranean clover grown to maturity in a culture solution containing zinc labeled with the radioactive isotope ^{65}Zn . **Australian Journal Agriculture Research**, Collingwood, v.9, p. 730-744, 1958.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Variabilidade na composição de misturas de fertilizantes decorrente de segregação e estimativa do efeito sobre a produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.13, p.14-19, 1994.

RÖMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. de **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, p. 71-84.

RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Function of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 297-328.

ROSOLEM, C. A.; FERRARI, L. F. Crescimento inicial e absorção de zinco pelo milho em função do modo de aplicação e fonte do nutriente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 151-157, jan., 1998.

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.; SCHMIDT, D.; MARODIM, V. S. Teores de zinco em milho obtidos em função da sua aplicação nas sementes e na solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 21, 1996, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 207.

SAEED, M.; FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n.43. p. 683-686, 1979.

SHUMAN, L.M. Zinc adsorption isotherms for soils clays with and without iron oxides removed. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 40, p. 349-52, 1976

SILVA, G. A. de. **Estudo da segregação em fertilizantes**. 1995. 169f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVEIRA, R. I.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SARRUGE, J. R.. Influência do pH dos teores de fosfato solúvel, da matéria orgânica e das frações granulométricas sobre a fixação de zinco pelo solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas. 1976. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 113-117.

SIMS, J. T.; KLINE, J. S. Chemical fractionation and uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, n. 2, p. 387-395, 1991.

SWIETLIK, D. Interaction between zinc-deficiency and boron toxicity on growth and mineral nutrition of sour orange seedling. **Journal Plant Nutrition**, n.18, p.1191-1207, 1995.

SOUZA, E. C. A. et al. Resposta do milho a adubação com fósforo e Zn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p. 219-242.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 559p.

VASCONCELLOS, C. A. Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., 1989, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: FEIS, 1989, p. 1-20.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 391-412.

WEEB, M. J. Recent aspects of Mn and Zn absorption and translocation in cereals. In: MANTHEY, J. A; CROWLWY, D. E.; LUSTER, D, G.; (Ed). **Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere**. Boca Raton: Lewis Publisher, 1994. p. 183-198.

WILKINGSON, H. F. Movement of micronutrient to plant roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, p. 139-69, 1972.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar?** Piracicaba: POTAFOS, 1996, 5p. (Informações Agronômicas, 74).

ZHANG, Q.; BROWN, P. H.. Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio. **Journal American Society Horticulture Science**. v. 124, p. 433-436, 1999.

ZHANG, F. **Mobilisierung und Aufnahme von Zink bei verschiedenen Pflanzenarten in Abhängigkeit vom Zinkversorgungsgrad**. 1989. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart, 1989.