

JOSÉ GERALDO BAUMGARTNER
Engenheiro Agrônomo
Instituto Agronômico do Estado
Bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas

INFLUÊNCIA DA CALAGEM E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA, SOBRE A SOLUBILIDADE
E O APROVEITAMENTO DO ZINCO ADICIONADO AO SOLO

Dissertação de Mestrado, apresentada
a Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz" da Universidade
de São Paulo

ORIENTADOR Prof. Dr. Renato Amílcare Catani

PIRACICABA - ESTADO DE SÃO PAULO

- 1974 -

A
meus
pais,
minha esposa
e
meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Renato Amílcare Catani, pela orientação dada ao trabalho.

Ao Eng^o Agr^o Dr. Ondino Cleante Bataglia, pela inestimável colaboração nas análises químicas efetuadas.

Aos técnicos de laboratório Ferdinando Palermo e Maria Carmem de Luca Menezes, pela colaboração.

À Eng^a. Agr^a. Violeta Nagai, pela orientação na análise estatística.

Ao Eng^o Agr^o Heli Camargo Mendes, pela revisão do texto.

Ao Instituto Agronômico do Estado (Seção de Fertilidade do Solo), pelas facilidades concedidas na execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas, pela concessão de bolsa de Pesquisador Assistente Nível B (TC 13.577).

ÍNDICE

página

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	3
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 - Ensaio em casa de vegetação	16
3.1.1 - Análise do material vegetal	18
3.2 - Ensaio de laboratório	19
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 - Ensaio em casa de vegetação	21
4.1.1 - Efeito sobre a altura das plantas ..	21
4.1.2 - Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca e nos teores de Ca, Mg, P e Zn da parte aérea de plantas de milho	24
4.1.2.1 - Produção de matéria seca	25
4.1.2.2 - Concentração de cálcio na parte aérea	27
4.1.2.3 - Concentração de magnésio na parte aérea	28
4.1.2.4 - Concentração de fósforo na parte aérea	28
4.1.2.5 - Concentração de zinco na parte aérea	30
4.2 - Ensaio de laboratório	31
4.3 - Considerações gerais	33
5 - CONCLUSÕES	36
6 - RESUMO	38
7 - SUMMARY	40
8 - LITERATURA CITADA	42

1 - INTRODUÇÃO

É relativamente antiga a preocupação dos pesquisadores em esclarecer o efeito da reação do solo (pH) sobre a disponibilidade de zinco, bem como as interações entre fósforo e zinco na nutrição vegetal. Numerosos trabalhos publicados a respeito, permitem que se considerem o pH e os altos níveis de fósforo no solo como importantes fatores que controlam a disponibilidade daquele micronutriente aos vegetais (14).

A adição de altas doses de fósforo ou o acúmulo desse elemento em altos níveis no solo, provocaria um decréscimo na absorção de zinco pelas plantas, conforme indicam muitos trabalhos experimentais. Todavia esse efeito não é constante, já que não foi verificado em determinadas condições. Pesquisas recentes mostram que o efeito do fósforo sobre a solubilidade de zinco depende da natureza do solo, sendo bastante diferente para cada caso (16). Evidenciou-se também que nem sempre o teor solúvel do micronutriente no solo decresce com a adição de fósforo, podendo até aumentar, em função da natureza da fonte fosfatada (32).

Por outro lado, com respeito à influência da reação do solo, as observações e dados experimentais mostram que a deficiência de zinco ocorre mais comumente em pH superior a 6,0, além do que já se comprovou que a solubilidade do micronutriente no solo decresce com o aumento do pH (21). Também é muito

frequente a observação de efeito depressivo do uso de calcário sobre a absorção de zinco pelas plantas.

Embora não relatada com frequência, a deficiência de zinco pode ocorrer também em solos ácidos, principalmente naqueles, por origem, pobres no micronutriente e submetidos ao processo de lixiviação (8). Para esses casos, são necessárias, além da aplicação de zinco, a calagem e a adubação fosfatada, geralmente em altas doses. Tendo em vista os efeitos do pH do solo e do fósforo sobre o aproveitamento do zinco, existe certa dúvida sobre a eficiência da aplicação do micronutriente como é feita usualmente nesses casos, isto é, após a aplicação de calcário e em mistura com as fórmulas dos macronutrientes (N-P-K).

Considerando a predominância em nosso meio, de solos ácidos e de baixa fertilidade natural, e também a necessidade do uso do zinco em adubação (11, 15, 26), propõe-se com o presente trabalho, o estudo do efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a solubilidade e o aproveitamento do zinco previamente adicionado a um solo representativo das nossas condições.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

THORNE (34), fazendo uma revisão bibliográfica sobre zinco, cita diversos autores que estudaram a influência da reação do solo e do fósforo sobre o aproveitamento de zinco pelas plantas, dos quais destacam-se: LOTT (1938), demonstrou que a toxidez de zinco é eliminada pela adição de carbonato de cálcio ao solo de modo a elevar o pH a 6,0 ou mais; PEECH (1941), afirmou que o teor de zinco extraído do solo com solução normal de cloreto de sódio, aumenta com o decréscimo de pH; EPSTEIN e STOUT (1951), estudando uma série de solos encontraram aumento no teor de zinco solúvel com o aumento da concentração de íons hidrogênio. Observações similares da ocorrência de deficiência de zinco em solos na faixa de pH de 6,0 a 8,0, foram feitas por CHANDLER (1937), THORNE e WANN (1950), WOLTZ e outros (1953), SHAW e DEAN (1952) e GREENWOOD e HAYFRON (1951). LEGGETT (1952), adicionando zinco radioativo a três solos e estudando os efeitos da adição de várias quantidades de fosfato sobre o aproveitamento do micronutriente, concluiu que a absorção pelo feijoeiro foi reduzida de 20 - 30% e pelo milho de 30 - 50%. com a adição de 800 kg de P_2O_5 por hectare. Sintomas de deficiência de zinco não foram observados. MORRIL (1956) avaliou a absorção de zinco pelo milho cultivado em solução nutritiva, sob condições controladas de pH, e concluiu que na faixa de pH de 6,5 a 8,5 a absorção

foi significativamente menor na presença de fosfato. Outros pesquisadores que relataram que o fósforo pode diminuir a disponibilidade de zinco foram POWERS e PANG (1947), MILLIKAN (1947) e LONERAGEN (1951). Todavia, BOAWN e colaboradores (1957) não encontraram qualquer efeito do fósforo, até dosagens de 400 kg de P_2O_5 por hectare, na absorção de zinco pelo feijoeiro. JOHNSON (1944) relatou que a solubilidade de zinco em solução fosfatada pode aumentar quando o pH passa de 7,0 para 8,0. Acima de pH 8,0 e abaixo de 7,0 a solubilidade de zinco aumentou consideravelmente.

Além dessa revisão apresentada por THORNE, alguns outros trabalhos, a seguir descritos, tratam da relação zinco-cálcio-fósforo em solos e plantas e indicam a necessidade da continuação de estudos dessa natureza.

ROGERS e WU (27) estudaram a influência da calagem e da adubação fosfatada sobre a absorção de zinco pela cultura de aveia. Realizaram um experimento em vasos com capacidade para 18 kg e empregaram um solo arenoso em que combinaram as aplicações de doses de $CaCO_3$, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ e $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. Concluíram que as aplicações de calcário afetaram bastante o teor de zinco das plantas, mas que nenhuma correlação foi observada entre os efeitos de fósforo e zinco. Por outro lado, as aplicações de zinco não produziram aumento significativo no peso das plantas e também nenhum efeito visível foi observado durante o desenvolvimento vegetativo.

BOAWN e outros (3) efetuaram dois experimentos de campo e um em casa de vegetação, com a cultura de feijão, para o estudo do efeito dos fertilizantes fosfatados na utilização de zinco. Nos experimentos de campo o zinco foi aplicado em pulverizações e na casa de vegetação, misturado ao solo, na

presença e ausência de adubação fosfatada. Num dos experimentos de campo, o fosfato reduziu a produção do feijoeiro, mas, como não foi significativa a interação entre o fósforo e zinco, o resultado não foi interpretado como efeito do fósforo no aproveitamento do zinco pelo vegetal. No outro experimento o fosfato não prejudicou a produção. Os autores concluíram que as aplicações de fosfato não produziram nem acentuaram os sintomas de deficiência de zinco, nesses experimentos.

SEATZ e outros (28) realizaram dois experimentos para verificação da influência da calagem e da adubação fosfatada nas respostas das culturas de linho e sorgo à aplicação de zinco. O primeiro experimento envolvia doses de calcário e fosfato aplicados a determinado solo e o segundo, a composição química do material de calagem. Em ambos, as plantas se desenvolveram em vasos de polietileno, em câmaras com controle de luz e temperatura. Os autores demonstraram que, naquelas condições, a produção decrescia pela metade quando a dose de calcário aumentava de duas para oito toneladas em cerca de 900.000kg de solo. A fertilização com zinco resultou em substancial aumento de produção para cada nível de calcário. A adubação fosfatada acima de 450 kg de P_2O_5 por 900.000 kg de solo resultou em significativo aumento de produção, mas não influiu na resposta à aplicação de zinco.

Alterando a razão molar $CaCO_3/MgCO_3$ do material de calagem verificou-se que a relação ótima era de 2/1, para a produção de ambas as culturas.

Em geral, a fertilização com zinco resultou em redução no conteúdo das plantas em fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

BINGHAM e GARBER (2) estudaram a disponibilidade de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn em relação ao excesso de Ca $(H_2PO_4)_2$, utili-

zando seedlings de laranjeira como indicadores, para 19 diferentes tipos de solos.

Realizaram experimentos em casa de vegetação, utilizando potes de barro com 13 kg de solo cada um, onde aplicaram fósforo de diversas fontes numa faixa de 0 a 900 kg por hectare. Os micronutrientes não foram aplicados como fertilizantes e estudou-se o efeito do fósforo sobre a disponibilidade dos micronutrientes nativos do solo.

Os autores concluíram que a fertilização fosfatada pode produzir importantes interações com micronutrientes. O efeito antagônico do fósforo sobre a disponibilidade de cobre é pronunciado. Admitem que o antagonismo P-Zn não pode ser explicado com base na precipitação do zinco no solo.

BURLESON e outros (5) realizaram experimento em casa de vegetação, utilizando um solo com pH 8,15 em que anteriormente se havia constatado deficiência de zinco em cultivo de milho, em condições de campo. A finalidade do experimento foi verificar a indução da deficiência de zinco pela adubação fosfatada na cultura do feijoeiro. Foram incorporadas ao solo doses crescentes de superfosfato triplo, e para dois níveis de fósforo foram adicionadas doses constantes de sulfato de zinco. Sintomas de deficiência de zinco foram observados em todos os níveis de fósforo, três semanas após o plantio. As plantas que receberam zinco tiveram os sintomas atenuados. Os autores concluíram que a fertilização fosfatada pode induzir a deficiência de zinco para algumas culturas sob determinadas condições de clima e solo, mas que o mecanismo da indução da deficiência não está ainda completamente entendido.

LANGIN e outros (13) estudaram os efeitos da calagem e da forma de aplicação de fósforo sobre o aproveitamento de zinco pelas culturas de milho e sorgo. Realizaram um experimento

em vasos, onde o calcário foi misturado uniformemente ao solo e o fósforo aplicado também em mistura ou em faixas localizadas. O zinco foi adicionado como $ZnCl_2$, contendo o radioisótopo Zn^{65} . Concluíram que a deficiência de zinco pode ser induzida ou agravada pela aplicação localizada do adubo fosfatado a baixas doses, ou pelas aplicações pesadas em mistura com o solo, sendo o efeito mais severo em solo calcário. Consideram que o efeito depressivo do fósforo sobre a utilização do zinco é provavelmente mais um problema de absorção pelas raízes do que uma precipitação de fosfato de zinco no solo. Reconhecem também que as raízes proliferam mais em torno da faixa de adubo aplicado, o que resulta em exploração inadequada de volume de solo onde o zinco necessário pode estar disponível.

BOAWN e LEGGETT (4) conduziram dois experimentos para estudo da deficiência de zinco provocada pela adição de fósforo à cultura da batata, sendo um em casa de vegetação, com emprego da solução nutritiva de Hoagland (nº1), e outro no campo.

Os níveis de zinco e fósforo foram escolhidos para que as plantas se desenvolvessem em condições desde normais até de severa deficiência de zinco. Esses níveis foram: 0,025, 0,0125 e 0,00625 ppm de Zn, e 15 e 90 ppm de P. Após 18 dias em solução nutritiva, segundo a aparência as plantas puderam ser classificadas em normais ou com sintomas moderados, avançados e severos de deficiência de zinco.

No experimento de campo foram combinados seis níveis de zinco dentro de seis níveis de fósforo. Sem a aplicação de zinco, a dose de 40 kg de P por hectare já induziu deficiência do micronutriente. Os sintomas, todavia, puderam ser eliminados com o emprego de 2 kg/ha de zinco.

A fertilização com fósforo afetou o teor de zinco nas folhas de batata mas os autores consideram que o nível de zinco

no tecido vegetal não foi causa direta do mau desenvolvimento vegetativo. Atribuem esse mau desenvolvimento, principalmente à desproporção entre fósforo e zinco na nutrição mineral.

ELLIS e outros (9) desenvolveram experimentos em casa de vegetação e no campo em dois tipos de solos, utilizando o feijoeiro como planta teste, para estudar a influência de níveis de fósforo e da temperatura sobre a disponibilidade de zinco em solos calcários.

Na casa de vegetação foram utilizados vasos de polietileno com capacidade para 4 kg de solo. O fósforo e o potássio foram misturados uniformemente ao solo ao passo que o nitrogênio e o zinco foram colocados em uma camada a 5 cm abaixo da superfície do solo. Foram empregadas duas doses de fósforo na presença e ausência de zinco, a duas diferentes temperaturas.

No experimento em condições de campo foram estudadas duas fontes de zinco, em tres níveis, face a uma adubação em alto nível de fósforo.

Os dados desses experimentos mostraram uma severa redução na produção do feijoeiro, que foi provocada pela adição da alta dose de fósforo. Essa redução foi devida principalmente a uma deficiência de zinco induzida pelo fósforo.

A observação comum de que a deficiência de zinco prevalece em solos úmidos e frios foi confirmada pelos dados do experimento com controle de temperatura.

STUKENHOLTZ e outros (33) procuraram estudar o mecanismo da interação P-Zn, na nutrição de milho. Desenvolveram um experimento em vasos com diferentes tipos de solos, variando a forma de aplicação e as doses de Zn e P. Concluíram que a ação depressiva do fósforo na absorção de zinco muito provavelmente seja de natureza fisiológica, manifestando-se na superfí-

cie de raiz ou nas células da raiz, e não causada por uma inativação do zinco no solo.

BURLESON e PAGE (6) utilizaram a técnica da dupla zona radicular descrita por NORMAN em 1959, para estudar as interações entre zinco e fósforo na planta de linho.

Foram realizados dois experimentos fatoriais completos 3 x 3, tendo zinco e fósforo como variáveis. No primeiro experimento o fósforo foi fornecido às plantas antes do zinco, e no segundo inverteu-se essa ordem. Quando o fósforo foi fornecido primeiro, a adição posterior de zinco provocou um aumento no teor de fósforo nas zonas inferior e superior das raízes, e um decréscimo na parte aérea das plantas. Quando o zinco foi adicionado em primeiro lugar a adição posterior de fósforo produziu aumento no teor de zinco das raízes e diminuição na parte aérea.

Os autores concluíram que o fósforo e o zinco reagem no interior das raízes de tal maneira que ficam reduzidas a mobilidade e a solubilidade de cada um.

HALIM e outros (12), estudando o efeito da aplicação de altas doses de fósforo sobre a absorção de zinco, trabalharam com diversas linhagens e cruzamentos de milho, com culturas em areia, em câmara de vegetação. Houve uma variação no comportamento entre as linhagens e cruzamentos e de um modo geral aconteceram os três tipos de comportamento: diminuição na absorção de zinco em altas doses de fósforo; aumento na absorção de zinco com aumento das doses de fósforo; nenhuma influência do nível de fósforo na absorção do zinco. Os autores concluíram que a resistência à deficiência de zinco, parece estar sob controle genético.

PAULSEN e ROTIMI (23) estudaram as interações Zn-P em duas variedades de soja, diferentes quanto à susceptibilidade a fósforo. As plantas se desenvolveram em solução nutritiva, com tratamentos que compreendiam vários níveis de fósforo e zinco. Ficou demonstrado que o alto nível de fósforo provocou redução na concentração de zinco nas duas variedades. A deficiência induzida pelo fósforo foi reduzida pela adição de zinco na variedade tolerante, mas não na variedade sensível. A diminuição na concentração de zinco provocada pelo alto nível de fósforo foi maior nas folhas que nas raízes.

PAULI e outros (22) utilizaram cultura em areia com incorporação dos radioisótopos P^{32} e Zn^{65} e carbonato de cálcio, no estudo da influência do carbonato e do fósforo sobre a absorção de zinco pelo feijoeiro. Mostraram que a adição do carbonato de cálcio promoveu um decréscimo no peso da matéria seca, na relação parte aérea-raiz e na concentração de zinco em todas as partes das plantas. Admitem que o excesso de carbonato afeta a relação P-Zn na planta, bem como a solubilidade dos compostos de Zn e P. No final do experimento, determinaram os níveis de Zn e P extraídos em água e mostraram que a adição de carbonato promoveu decréscimo nos níveis de ambos. Por outro lado, o tratamento com alta dose de fósforo provocou aumento no teor de zinco extraído em água, o que evidencia que a interação P-Zn não deve ocorrer no solo.

SHARMA e outros (30) estudaram as interações Zn-P para as culturas de milho e tomate, em solos com elevados índices pH (7,7 e 7,8). Realizaram os cultivos em vasos, e os tratamentos foram com adubações N-K constantes, com os níveis de 0, 25, 100 e 400 ppm de P e 0, 1 e 25 ppm de Zn. Relatam que sintomas de deficiência de zinco apareceram em ambas as culturas e que as concentrações de zinco nas partes aéreas foram reduzidas pe-

la aplicação de fósforo, sendo que a redução maior foi devida à dose de 25 ppm de P. As concentrações de zinco nas raízes foram muito menos influenciadas pela adição de fósforo. Na presença de fósforo, o zinco adicionado aumentou mais a concentração de zinco nas raízes do que nas partes aéreas. Os autores sugerem que a aplicação de fósforo tem pouco ou nenhum efeito na absorção de zinco pelas raízes, e que o principal efeito seria uma inibição na translocação para as partes aéreas.

SHARMA e outros (29) aplicaram fósforo e zinco em doses crescentes, a um solo de pH 7,7 contido em vasos com capacidade de 1.600 g para o estudo das interações P-Zn, utilizando duas variedades de trigo como plantas indicadoras. Concluíram que a concentração de zinco na parte aérea das plantas decresceu pela aplicação de fósforo, e que os sintomas de deficiência do micronutriente observados foram diferentes para cada variedade.

MELTON e outros (17) conduziram um experimento em casa de vegetação utilizando vinte diferentes solos, com a finalidade de determinar os efeitos do fósforo e do calcário na utilização de Zn pelo feijoeiro. O zinco foi adicionado aos solos em faixas circulares, a 3,8 cm da superfície do solo, em três níveis, enquanto a adubação N-P-K foi misturada uniformemente aos solos. Três cultivos sucessivos foram realizados nos vasos, com renovação dos adubos no segundo, com altas doses de fósforo, e sem adubação no terceiro cultivo. Os autores concluíram que as produções nos solos ácidos estudados geralmente decresceram pela aplicação do zinco, mas que a calagem nesses mesmos solos pode induzir a deficiência do micronutriente. Mostraram ainda que níveis altos de fósforo tendem a induzir ou aumentar a deficiência de zinco em solos com pH acima de 7,0 que contenham carbonato de cálcio livre.

WARNOCK (35) procurou verificar a absorção de micronutrientes e a mobilidade destes, em plantas de milho, relacionadas com a deficiência de zinco induzidas pelo fósforo. Realizou um experimento em vasos, utilizando solos calcários de baixo teor de zinco. Adicionou a esses solos doses de fósforo de 0 a 520 ppm, e ao mesmo tempo doses decrescentes de zinco, de 40 a 0 ppm, em concentrações inversas. Ocorreu deficiência de zinco em nível alto de P e baixo do micronutriente. A distribuição de zinco, ferro e manganês nas folhas, colmos e raízes, indicou que a fertilização com P e Zn alterou a mobilidade daqueles micronutrientes dentro da planta. A adição de fósforo provocou uma redução na concentração de Zn nos tecidos mas não a absorção pela planta. As plantas deficientes em zinco acumularam excesso de ferro que deve ter contribuído no desequilíbrio fisiológico.

ADRIANO e outros (1) estudaram os efeitos da nutrição mineral sobre as interações P-Zn e P - Fe e o desenvolvimento de "seedlings" de milho, em solução nutritiva. Mostraram que para níveis altos de fósforo as plantas responderam favoravelmente mais à aplicação de zinco do que qualquer outro nutriente e, similarmente, a falta de zinco foi a causa do maior atraso no desenvolvimento das plantas a altos níveis de fósforo. Evidenciaram também que o zinco e o ferro são mutuamente antagônicos e que o excesso de um promove a deficiência do outro. Constataram ainda depressão nas concentrações de fósforo e zinco na parte aérea das plantas, mas não nas raízes a altos níveis de cálcio, e admitem que este elemento imobiliza Fe e Zn nas raízes.

SHUKLA (31) realizou a incubação por cinco semanas, de 12 amostras de solos que receberam adições de carbonato de cálcio (0 e 4.480 kg/ha), KH_2PO_4 (0 e 280 kg/ha) e $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0 e 10 ppm). Foram empregadas 15 gramas de solo em cada tratamento,

sendo o calcário misturado uniformemente e o zinco e fósforo adicionados em solução aquosa. Posteriormente, fez a extração de zinco com solução EDTA a 2% em solução neutra normal de acetato de amônio em 10 partes para uma de solo, com agitação por uma hora. Os resultados variaram com a natureza dos solos. A ação do carbonato foi, no geral, depressiva sobre a disponibilidade de zinco, mais houve casos de uma alta depressão (34%) como também depressões muito baixas, e até um solo em que não houve nenhum efeito.

O fósforo não teve efeito depressivo, pelo contrário, provocou ligeiro aumento no teor de zinco, em muitos casos. Demonstrou-se que os tratamentos com fósforo acidificavam ligeiramente o solo, sendo essa uma provável causa do aumento no teor de zinco.

SHUKLA (32) desenvolveu experimentos em casa de vegetação e laboratório, com a finalidade de investigar o efeito de diferentes fertilizantes fosfatados sobre a disponibilidade do zinco nativo ou aplicado a solos. Nos experimentos em casa de vegetação plantou-se milho em vasos de polietileno, em tratamentos sem e com zinco combinados com dois níveis de fósforo das diversas fontes em estudo, utilizando um solo de textura média. No laboratório fez incubação por cinco semanas, de tratamentos com e sem zinco e de um nível de fósforo de diferentes fontes, utilizando solos representativos de 10 séries de solos do Sul dos Estados Unidos. Realizou a extração do zinco solúvel com solução de EDTA a 2%.

O autor concluiu desses experimentos, que o efeito dos fertilizantes fosfatados sobre a disponibilidade de zinco depende do tipo de solo, da quantidade e natureza das fontes de fósforo e do critério usado para a avaliação.

MOTSARA (19) desenvolveu ensaio em vasos, além de testes de Neubauer e de incubação, para estudar o efeito do fósforo sobre a disponibilidade de zinco, em quatro solos com diferentes níveis de fósforo nativo. Utilizaram-se em todos esses experimentos os radioisótopos Zn^{65} e P^{32} , e como planta teste a cevada.

Os dados dos experimentos mostraram claramente uma diminuição na absorção de zinco provocada pela adição de fósforo e foi observada uma interação negativa entre zinco e fósforo. No experimento de incubação, a extração posterior do zinco com solução de HCl 0,1N não indicou uma diminuição na disponibilidade do zinco pelo efeito da adição de fósforo, nas sucessivas épocas de amostragem. Como a absorção de zinco pelas plantas no ensaio em vasos foi afetada pelos níveis de fósforo, concluiu o autor que a extração com solução de HCl 0,1N não indica o teor disponível de zinco para os solos estudados.

O teste de Neubauer não demonstrou o efeito negativo do fósforo sobre a absorção de zinco.

MEURER e LUDWIK (18) estudaram o efeito da aplicação de calcário e fósforo na absorção de zinco por milho, utilizando dois solos do Rio Grande do Sul (um de textura franco arenosa e outro argila pesada). O calcário foi aplicado um mês antes do plantio, em doses equivalentes a 0, 1/2, 1 e 2 vezes a quantidade necessária para elevar o pH do solo a 6,5 (método SMP). O fósforo foi fornecido como $Na H_2PO_4 \cdot H_2O$, no plantio, junto aos demais fertilizantes, em doses de 0,100, 200 e 400 ppm. Os autores concluíram que o calcário provocou forte decréscimo na absorção de zinco para a maioria dos tratamentos em ambos os solos sendo o efeito maior no solo arenoso. A aplicação de fósforo reduziu a concentração de zinco no tecido mas não a absorção total. Isto foi devido à maior produção de matéria seca para os tratamentos que receberam fósforo.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental constou de dois ensaios.

O primeiro foi realizado em casa de vegetação, onde o milho (Zea mays L.), como planta-teste, foi cultivado em vasos contendo 10 kg de solo. O esquema fatorial de tratamentos compreendeu três níveis de zinco, três de calcário e dois de fósforo.

O segundo ensaio, de laboratório, consistiu na incubação, por períodos de 15, 30, 45 e 60 dias, de dois gramas de solo contidos em frascos Erlenmeyer de 125 ml, com a adição dos tratamentos de zinco, cálcio e fósforo nos mesmos níveis do ensaio anterior, com exceção dos níveis intermediários de zinco e cálcio. Ao término de cada período de incubação foram realizadas extrações do zinco solúvel, empregando-se dois extratores convencionais, com a finalidade de verificar o efeito dos tratamentos sobre a solubilidade do zinco, em função do tempo de incubação.

O solo escolhido para este estudo foi o Latosol Vermelho-Escuro orto, unidade Limeira (20), de baixa fertilidade natural, com acidez elevada, coletado na Estação Experimental de Limeira, do Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, numa área de pastagem há muito tempo sem cultivo. Esse solo apresentou o teor total de zinco nativo de 63 ppm, determinado pelo método de PRINCE (25), e o teor de 2 ppm de zinco solúvel em solução de HCl 0,1N, além das seguintes características, na camada superficial de 0-15 cm de profundidade.

Composição granulométrica:

argila = 58%; limo = 14,5%; areia fina = 20%; areia grossa = 7,5%.

Características químicas:

pH = 5,20; C% = 2,60; PO_4^{3-} = 0,01 e.mg/100 ml solo; K^+ = 0,09 e.mg/100 ml; $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ = 0,79 e.mg/100 ml e Al^{3+} = 1,30 e.mg/100 ml de solo.

Como corretivo da acidez foi utilizado um calcário dolomítico, finamente moído, apresentando 29,0% de CaO e 13,5% de MgO.

A fonte de fósforo foi o superfosfato triplo (46% P_2O_5); a de nitrogênio, o sulfato de amônio (20% de N); e a de potássio, o cloreto de potássio (60% de K_2O). O zinco foi fornecido como sulfato de zinco ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), droga para análise, com 22,3% de Zn.

3.1 - Ensaio em casa de vegetação

O ensaio em vasos em casa de vegetação foi conduzido segundo o esquema fatorial:

Nº	Tratamento	Nº	Tratamento	Nº	Tratamento
1	Zn ₀ Ca ₀ N ₁ P ₁ K ₁	7	Zn ₁ Ca ₀ N ₁ P ₁ K ₁	13	Zn ₂ Ca ₀ N ₁ P ₁ K ₁
2	Zn ₀ Ca ₁ N ₁ P ₁ K ₁	8	Zn ₁ Ca ₁ N ₁ P ₁ K ₁	14	Zn ₂ Ca ₁ N ₁ P ₁ K ₁
3	Zn ₀ Ca ₂ N ₁ P ₁ K ₁	9	Zn ₁ Ca ₂ N ₁ P ₁ K ₁	15	Zn ₂ Ca ₂ N ₁ P ₁ K ₁
4	Zn ₀ Ca ₀ N ₁ P ₂ K ₁	10	Zn ₁ Ca ₀ N ₁ P ₂ K ₁	16	Zn ₂ Ca ₀ N ₁ P ₂ K ₁
5	Zn ₀ Ca ₁ N ₁ P ₂ K ₁	11	Zn ₁ Ca ₁ N ₁ P ₂ K ₁	17	Zn ₂ Ca ₁ N ₁ P ₂ K ₁
6	Zn ₀ Ca ₂ N ₁ P ₂ K ₁	12	Zn ₁ Ca ₂ N ₁ P ₂ K ₁	18	Zn ₂ Ca ₂ N ₁ P ₂ K ₁

Foram colocados 10 kg de terra em vasos de barro, vitrificados internamente. Em seguida adicionou-se zinco por meio de solução aquosa de sulfato de zinco e misturou-se inteiramente ao volume de solo. Além do teor original de 63 ppm de Zn (Zn_0) adicionaram-se mais dois níveis do elemento, 18 ppm (Zn_1) e 36 ppm (Zn_2), equivalentes, respectivamente, às aplicações de 40 kg/ha e 80 kg/ha de sulfato de zinco. Após a aplicação do micronutriente, seguiu-se um período de incubação de 30 dias e, findo esse período, foi feita a calagem. Uma parte do experimento não recebeu calcário (Ca_0). Numa outra parte a calagem foi calculada para neutralização do alumínio trocável e aproximada para três toneladas de calcário por hectare (Ca_1). O terceiro nível (Ca_2) foi estabelecido em seis toneladas por hectare de calcário, para elevação do pH a 6,5, através do método da determinação de $H^+ + Al^{3+}$ trocáveis, pela extração com acetato de cálcio normal a pH 7,0 (7).

Durante o período de incubação com os tratamentos de zinco e por trinta dias após a calagem, o solo foi mantido molhado, sendo a irrigação feita com água desmineralizada, tendo-se verificado que cada vaso comportava cerca de 30% de seu peso, em água, sem que houvesse percolação para fora do vaso.

Trinta dias após a calagem, foram adicionados o superfosfato triplo, em dois níveis equivalentes a 100 e 200 kg/ha de P_2O_5 , o cloreto de potássio ao nível de 90 kg/ha de K_2O e um terço da quantidade do nitrogênio, sendo todos os fertilizantes misturados uniformemente ao solo. O restante do nitrogênio (sulfato de amônio), completando o total equivalente a 100 kg/ha de N, foi adicionado em duas coberturas aos 15 e 30 dias após a germinação.

Logo em seguida à adubação (10/1/72), foi semeado milho (Híbrido Hmd 6999B), utilizando-se sete sementes por vaso. A

cada três dias após a germinação foi feito um desbaste, deixando-se respectivamente cinco, três e uma planta por vaso.

Após o último desbaste, em períodos de 10 dias, foram tomadas as alturas das plantas, a partir da superfície do solo até o último nó do colmo, usando-se para tanto uma régua comum, graduada em milímetros. Foram feitas cinco medidas de altura e em seguida à última, as plantas foram cortadas rente ao solo. Do material colhido foram separadas as folhas dos colmos, que foram lavados, secos em estufa a 60°C até peso constante e em seguida pesados, moídos (moinho tipo Wiley) e preparados para a análise química.

Durante todo o desenvolvimento do ensaio as plantas foram irrigadas com água desmineralizada.

3.1.1 - Análise do material vegetal

As determinações analíticas de zinco, cálcio e magnésio em folhas e colmos das plantas de milho foram feitas pela técnica da espectrofotometria de absorção atômica, empregando-se o aparelho Perkin Elmer; modelo 303. Para a análise de fósforo empregou-se o método colorimétrico com uso da solução mista de molibdato e vanadato de amônio. Nessas análises adotou-se o seguinte procedimento:

Incineraram-se 2,000 g de material vegetal seco e finamente moído, a 500-550°C, por duas horas. Após esfriar, adicionaram-se 5 ml de solução de HCl 6N destilado e levou-se ao banho-maria até à evaporação total do ácido. Retomou-se com 3x5 ml de solução de HCl 2N, filtrando-se através do papel

de filtro Whatman nº 40, para balões volumétricos de 100 ml, completando-se o volume com água desmineralizada (10).

As leituras para zinco foram feitas diretamente neste extrato. Para a análise do fósforo este extrato foi diluído 10 vezes com água desmineralizada. O extrato utilizado para a análise de fósforo foi novamente diluído mais 20 vezes, com solução de lantânio a 0,1%, para a análise de cálcio e magnésio.

3.2 - Ensaio de laboratório

As combinações de dois níveis de zinco ($Zn_0 = 0$ e $Zn_2 = 36$ ppm), dois de fósforo ($P_0 = 0$ e $P_2 = 200$ kg/ha de P_2O_5), e dois de cálcio ($Ca_0 = 0$ e $Ca_2 = 6$ ton/ha) adicionados a dois gramas de solo, foram incubadas por períodos de 15, 30, 45 e 60 dias, considerados após a adição do último tratamento. Ao solo contido em frascos tipo Erlenmeyer de 125 ml, adicionou-se em primeiro lugar o zinco, por meio de solução aquosa de sulfato de zinco ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$). Um mililitro de uma solução-estoque (320 mg de sulfato de Zn/100 ml) foi adicionado a dois gramas de solo. Após o período de 30 dias em que se forneceu, a cada três dias, 0,5 ml de água desmineralizada por frasco, aplicou-se o calcário. Uma quantidade de 0,0064 g de pó calcário foi adicionada a cada 2 g de solo. Dez dias após a adição de calcário, foi fornecido o fósforo, também em solução aquosa, utilizando-se 1 ml de uma solução-estoque (1,72 g de superfosfato triplo por litro) para dois gramas de solo.

Após a adição de fósforo passou-se a considerar os períodos de incubação de 15, 30, 45 e 60 dias, e ao término de cada um, fizeram-se extrações do zinco solúvel com os extratores: so-

lução de HCl - 0,1N e solução de EDTA dissódico a 1%. A proporção entre solo e extrator foi de 1:10, com tempo de agitação de uma hora. Os extratos assim obtidos foram filtrados primeiramente através de papel de filtro Whatman nº 40 e em seguida através do Whatman nº 42, e após uma diluição de 1 + 1 com água desmineralizada foram submetidos ao espectrofotômetro.

Durante todo o transcorrer deste ensaio o solo foi molhado com água desmineralizada, empregando-se sempre 0,5 ml de água para 2 g de solo, de três em três dias.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Ensaio em casa de vegetação

4.1.1 - Efeito sobre a altura das plantas

O efeito da aplicação de zinco no desenvolvimento das plantas de milho, nas condições deste ensaio, foi depressivo, como demonstram os dados do quadro 1.

O teste de significância empregado foi o teste F. Considerando-se o ensaio como um todo, não houve efeito, em média, da aplicação de zinco sobre o crescimento das plantas. Todavia, como a partir do trigésimo dia após a germinação passou a haver uma interação significativa entre os tratamentos de zinco e de calcário, o desdobramento da análise indicou uma diferença significativa entre os efeitos das doses do micronutriente dentro de uma mesma dose do corretivo. Verificou-se que o efeito depressivo do zinco apareceu apenas dentro do nível um de calcário e não foi constatado nos níveis zero e dois do corretivo. Como o milho cultivado no solo em questão apresentou grande resposta à aplicação de calcário, pode-se inferir que para o nível zero do corretivo (sem calcário) o efeito tóxico do zinco tenha sido mascarado pelos efeitos depressivos da própria acidez do solo. Interessante notar que o nível um

QUADRO 1 - Alturas (cm) de plantas de milho cultivadas em vasos com 10 kg de solo, sendo as medidas tomadas aos 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a germinação, para o estudo da influência da calagem e adubação fosfatada sobre a disponibilidade de zinco em Latosol Vermelho-Escuro orto de baixa fertilidade

Doses de Calcário	Doses de Fertilizantes	Altura das plantas (cm) em dif. épocas após ger.				
		20 dias	30 dias	40 dias	50 dias	60 dias
Ca ₀	P ₁ Zn ₀	12,4	17,1	31,1	41,0	59,2
	P ₁ Zn ₁	12,9	18,2	30,9	42,0	67,7
	P ₁ Zn ₂	14,1	19,0	32,1	44,9	66,6
	P ₂ Zn ₀	14,3	20,3	37,6	55,9	83,6
	P ₂ Zn ₁	15,2	21,9	37,8	54,9	82,0
	P ₂ Zn ₂	15,0	21,4	37,1	53,2	79,9
Ca ₁	P ₁ Zn ₀	16,1	23,7	40,8	61,3	87,6
	P ₁ Zn ₁	13,8	20,6	35,2	51,3	78,4
	P ₁ Zn ₂	15,2	23,4	39,4	53,9	80,4
	P ₂ Zn ₀	17,9	27,6	49,4	70,4	94,6
	P ₂ Zn ₁	17,1	25,1	45,3	65,4	88,7
	P ₂ Zn ₂	15,8	23,5	39,0	56,0	78,0
Ca ₂	P ₁ Zn ₀	15,1	22,5	38,2	54,5	80,4
	P ₁ Zn ₁	16,4	24,6	42,2	60,1	85,0
	P ₁ Zn ₂	15,5	23,4	39,2	58,1	85,0
	P ₂ Zn ₀	18,3	27,6	46,0	65,7	84,7
	P ₂ Zn ₁	17,8	26,3	46,2	67,6	90,7
	P ₂ Zn ₂	18,3	25,9	44,6	66,8	92,0
d.m.s. (Tukey) 5%		1,50	2,02	3,11	4,98	6,75

de calcário propiciou o aparecimento do efeito depressivo do zinco, e que este efeito foi suprimido pela dosagem maior do corretivo. Esses dados evidenciam a influência da reação do solo sobre o aproveitamento de zinco pelas plantas e o reflexo direto da aplicação de calcário sobre a disponibilidade do micronutriente no solo.

Quanto ao efeito do fósforo sobre o aproveitamento de zinco pelas plantas, ele só pode ser analisado dentro do nível um de calcário, onde efetivamente os níveis de zinco afetaram o crescimento das plantas.

Verificou-se, pela análise estatística, que aos 40 dias após a germinação houve uma interação significativa entre zinco e fósforo. Os dados de altura das plantas mostraram uma depressão de crescimento provocada pelo uso de zinco e que foi acentuada pelo aumento da dose do micronutriente, dentro do nível dois de fósforo. Esse efeito depressivo do zinco não ocorreu dentro do nível um de fósforo, nessa mesma época.

Todavia, nas medidas de altura das épocas seguintes (aos 50 e 60 dias), a interação entre zinco e fósforo não mais foi significativa (teste F). Os dados mostraram a ocorrência de efeito depressivo do zinco tanto dentro do nível um como do nível dois de adubação fosfatada, nessas duas épocas. Mas, apesar disso, houve ainda um efeito diferente do zinco em função do nível de fósforo, porque dentro do nível um de fósforo não houve diferença entre os efeitos das doses um e dois do micronutriente, enquanto que no nível dois de fósforo a depressão do crescimento das plantas foi acentuada com o aumento da dose do micronutriente.

Esses dados indicam que o efeito depressivo do zinco foi diferente em função do grau de desenvolvimento das plantas. Assim é que aos 40 dias após a germinação, as plantas que rece-

beram o nível um de fósforo tinham menor desenvolvimento do que as plantas que receberam o nível dois. Nessa época não havia aparecido ainda o efeito depressivo do zinco nos tratamentos com menor nível de adubação fosfatada, e este efeito já estava bem caracterizado nas plantas que receberam o maior nível da adubação. Nas épocas seguintes (aos 50 e 60 dias), já num maior estágio de desenvolvimento das plantas, o efeito depressivo do zinco apareceu também no menor nível de adubação fosfatada, não havendo, todavia, diferença de efeito entre as doses um e dois do micronutriente.

Os dados parecem indicar que o nível dois de fósforo promoveu uma ação depressiva mais acentuada do zinco, em relação ao nível um, o que poderia ser interpretado como uma ação favorável do aumento do nível de fósforo no aproveitamento de zinco pelas plantas ou sobre uma disponibilidade no solo. Todavia, esse efeito não pode ser separado do efeito favorável do aumento da adubação fosfatada sobre o desenvolvimento das plantas, que parece influir no efeito do zinco.

Ainda com relação aos dados de altura de plantas, outra observação permitida é que até o vigésimo dia após a germinação houve uma independência entre os efeitos de zinco, calcário e adubação fosfatada sobre o desenvolvimento das plantas. Até essa época, a aplicação de zinco não produziu qualquer efeito sobre o desenvolvimento das plantas.

4.1.2 - Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca e nos teores de Ca, Mg, P e Zn da parte aérea de plantas de milho.

A produção de matéria seca e a concentração dos nutrientes Ca, Mg, P e Zn em folhas e colmos de milho deste experimento são apresentadas no quadro 2.

4.1.2.1 - Produção de matéria seca

As partes aéreas das plantas de milho (folhas + colmos) foram colhidas logo após a última tomada de altura das plantas (aos 60 dias após a germinação). As considerações feitas sobre os efeitos dos tratamentos na altura das plantas poderiam ser repetidas agora, expressando-se o desenvolvimento das plantas em produção de matéria seca. Como é natural, a produção de matéria seca acompanhou bem proximamente o desenvolvimento em altura das plantas. Deste modo, o efeito depressivo do zinco apareceu também apenas nos tratamentos que receberam o nível um de calcário, e de maneira diferente em cada nível de adubação fosfatada. No nível um de fósforo não houve diferença entre os efeitos das doses um e dois do micronutriente, ao passo que no nível dois de fósforo a ação do zinco foi acentuada com o aumento de sua dosagem.

Os dados mostraram também que as plantas que receberam o maior nível de adubação fosfatada, mesmo recebendo a maior dose de zinco, apresentaram ainda um maior peso seco em relação às plantas que receberam o menor nível de fósforo e qualquer das doses de zinco.

Esse efeito benéfico do fósforo (altamente significativo) no desenvolvimento das plantas, dificulta bastante a interpretação da influência da adubação fosfatada sobre o apro-

QUADRO 2 - Produção de matéria seca e concentrações de Ca, Mg, P e Zn das plantas de milho colhidas 60 dias após a germinação em Latosol Vermelho-Escuro orto de baixa fertilidade

Níveis de calcário	Níveis de fertilizantes	Peso de matéria seca (g)			Concentração de nutrientes na parte aérea							
		Folhas	Colmos	Folhas + Colmos	% Ca		% Mg		% P		ppm Zn	
					Folhas	Colmos	Folhas	Colmos	Folhas	Colmos	Folhas	Colmos
Ca ₀	P ₁ Zn ₀	14,3	10,4	28,7	0,35	0,36	0,13	0,19	0,176	0,164	43	72
	P ₁ Zn ₁	14,8	9,6	24,4	0,36	0,26	0,13	0,18	0,176	0,169	92	287
	P ₁ Zn ₂	15,2	9,3	24,5	0,37	0,38	0,11	0,18	0,194	0,174	155	585
	P ₂ Zn ₀	22,9	16,2	39,1	0,42	0,35	0,13	0,16	0,229	0,150	45	45
	P ₂ Zn ₁	20,4	14,1	34,5	0,42	0,42	0,12	0,15	0,179	0,157	77	263
	P ₂ Zn ₂	21,1	13,8	34,9	0,44	0,55	0,11	0,18	0,216	0,175	155	547
	P ₁ Zn ₀	23,9	19,2	43,1	0,52	0,50	0,26	0,37	0,172	0,123	38	39
	F ₁ Zn ₁	17,6	12,4	30,0	0,50	0,59	0,28	0,47	0,154	0,153	67	173
	F ₁ Zn ₂	18,7	14,2	32,9	0,53	0,61	0,22	0,36	0,172	0,129	118	368
	F ₂ Zn ₀	27,5	22,9	50,4	0,55	0,48	0,30	0,42	0,196	0,132	35	24
	P ₂ Zn ₁	24,9	20,2	45,1	0,52	0,51	0,24	0,36	0,172	0,134	50	156
	P ₂ Zn ₂	22,1	17,2	39,3	0,56	0,62	0,29	0,48	0,198	0,141	107	364
Ca ₁	P ₁ Zn ₀	20,2	15,9	36,1	0,65	0,67	0,41	0,60	0,185	0,138	33	37
	P ₁ Zn ₁	20,8	16,8	37,6	0,70	0,60	0,42	0,56	0,144	0,113	68	126
	P ₁ Zn ₂	20,5	16,6	37,1	0,62	0,68	0,39	0,58	0,155	0,121	73	237
	P ₂ Zn ₀	27,0	22,5	49,5	0,51	0,49	0,34	0,51	0,179	0,125	37	17
	P ₂ Zn ₁	27,9	23,4	51,3	0,63	0,64	0,40	0,52	0,191	0,137	57	100
	P ₂ Zn ₂	24,0	21,9	45,9	0,59	0,63	0,35	0,53	0,219	0,145	71	180
d.m.s. (Tukey 5%)	-	-	4,25	0,07	0,09	0,04	0,06	0,022	0,023	13,7	37,3	
C.V. %	-	-	10,6	13,1	17,2	16,9	15,1	11,4	18,8	17,6	17,5	

veitamento do zinco ou sobre sua disponibilidade no solo, quando se consideram apenas altura das plantas e produção de matéria seca.

4.1.2.2 - Concentração de cálcio na parte aérea

Em média, o teor de cálcio na parte aérea do milho aumentou com o uso de calcário. A variação no teor de cálcio em função do nível de calagem foi mais acentuada nas folhas do que nos colmos. De modo geral o aumento da calagem da dose um para a dose dois não alterou o teor de cálcio nos tecidos do colmo, embora as dosagens tivessem provocado um aumento neste teor, quando comparadas com os tratamentos que não receberam o corretivo. Já para as folhas, o aumento da dose de calcário provocou aumento no teor de cálcio dos tecidos, dentro do nível um de adubação fosfatada. No nível maior de adubação fosfatada o aumento do teor de cálcio nos tecidos em função da calagem dependeu também dos tratamentos com zinco, pois este aumento registrou-se apenas dentro do nível um do micronutriente.

No geral, o aumento da adubação fosfatada não apresentou efeito sobre o teor de cálcio, tanto das folhas quanto dos colmos de milho. Em ambos os casos, todavia, houve uma interação significativa entre cálcio e fósforo, e o desdobramento da análise mostrou que o efeito do fósforo sobre a concentração de cálcio nos tecidos foi diferente dentro de cada nível de calagem. Assim é que para o nível zero de calcário, o aumento da adubação fosfatada provocou aumento no teor de cálcio em folhas e colmos. No nível um de calcário não houve variação neste teor, e no nível dois do corretivo o aumento do nível de fósforo aplicado provocou um decréscimo no teor de cálcio dos tecidos.

A aplicação de zinco afetou a concentração de cálcio

dos colmos de milho mas não apresentou qualquer efeito sobre a concentração desse elemento, nas folhas. Com relação aos colmos, em média, a dose um de zinco, comparada com o tratamento sem zinco, não alterou o teor de cálcio dos tecidos. Todavia, a dose dois de zinco promoveu aumento na concentração de cálcio, com exceção apenas do tratamento que recebeu a dose dois de calcário combinada com a dose um de fósforo.

4.1.2.3 - Concentração de magnésio na parte aérea

Os teores de Mg em folhas e colmos de milho aumentaram com o aumento da dose de calcário. A dose dois de calcário provocou uma concentração de magnésio na matéria seca cerca de três vezes maior, quando comparada aos tratamentos sem calagem.

Em média, o aumento da adubação fosfatada não alterou a concentração de magnésio em folhas e colmos de milho.

O uso de zinco afetou o teor de Mg das folhas, mas com um efeito não muito bem caracterizado, ora aumentando, ora diminuindo a concentração em função da combinação de fósforo e calcário. Com relação aos colmos, o uso de zinco não teve qualquer efeito sobre a concentração de Mg dos tecidos.

4.1.2.4 - Concentração de fósforo na parte aérea

A calagem, de modo geral, provocou um decréscimo no teor de fósforo na parte aérea do milho, com um efeito mais acentuado sobre o teor do elemento nos tecidos do colmo do que nos das folhas. No colmo, o decréscimo no teor de fósforo em função da calagem foi influenciado pelas combinações das doses de zinco e fósforo dos tratamentos. Deste modo, dentro do nível um de fósforo, para os tratamentos tanto sem zinco como os com

nível dois do micronutriente, houve um efeito depressivo da calagem sobre o teor de fósforo dos tecidos, não havendo, entretanto, diferença entre os efeitos das doses um e dois do corretivo. Já para o nível dois de fósforo o efeito depressivo da calagem apareceu apenas no tratamento com nível dois de zinco, não havendo diferença entre as doses um e dois do corretivo.

O teor de fósforo nas folhas de milho foi pouco influenciado pela calagem. Apenas para o nível dois de adubação fosfatada, na ausência de adubação com zinco é que a calagem provocou um decréscimo no teor de fósforo das folhas, não havendo, entretanto, diferença entre os efeitos das doses um e dois do corretivo.

O aumento da adubação fosfatada, em média, promoveu aumento no teor de fósforo das folhas mas não alterou o teor do elemento no colmo do milho. Nas folhas o efeito da adubação fosfatada sobre a concentração de fósforo foi mais característico para os tratamentos que receberam o nível dois de zinco.

A adição de zinco, em média, provocou decréscimo no teor de fósforo nas folhas mas não alterou o teor do elemento no colmo. O efeito depressivo do zinco sobre o teor de fósforo das folhas, todavia, dependeu da combinação dos tratamentos de adubação fosfatada e calcário. Assim é que para o nível um de fósforo, apenas dentro do nível dois de calcário é que o uso de zinco deprimiu o teor de fósforo nas folhas, sem que houvesse diferença entre os efeitos das doses um e dois do micronutriente. Já para o nível dois de fósforo, apenas nos tratamentos sem calcário e com dose um do corretivo, é que a dose um de zinco provocou decréscimo no teor de fósforo das folhas. O nível dois de zinco, provavelmente pelo seu efeito depressivo sobre o desenvolvimento da planta, teve mascarado seu efeito sobre o teor de fósforo.

4.1.2.5 - Concentração de zinco na parte aérea

Em termos gerais, o uso do calcário provocou uma diminuição no teor de zinco da parte aérea do milho. O efeito produzido nas folhas foi diferente daquele do colmo, dependendo do nível de adubação com zinco e do nível de calagem.

Deste modo, para os tratamentos que não receberam zinco (teor natural de zinco do solo), o uso de calcário, em qualquer das doses, não alterou a concentração de zinco dos tecidos quer das folhas quer dos colmos de milho.

Para os tratamentos que receberam o nível um de zinco o efeito da calagem sobre a concentração do micronutriente foi diferente para as folhas e colmos. No colmo, a dose maior de calcário provocou sempre um decréscimo maior no teor de zinco, enquanto que nas folhas o uso de calcário provocou uma diminuição no teor do micronutriente, mas não houve diferença entre os efeitos das doses um e dois do corretivo.

Finalmente, para os tratamentos que receberam o maior nível de zinco a dose dois de calcário teve um efeito maior que a dose um, no abaixamento do teor de micronutriente tanto para folhas como para o colmo de milho.

Em média, o aumento da adubação fosfatada não alterou a concentração de zinco das folhas de milho, mas apresentou um efeito ligeiramente depressivo sobre o teor do elemento do colmo sendo que este efeito só foi estatisticamente significativo no tratamento correspondente à combinação da dose dois de calcário com a dose dois de zinco.

Por fim, a concentração de zinco nos tecidos foi alterada em função da adubação com o micronutriente. Em todos os casos o aumento das doses de zinco provocou aumento na

concentração do elemento em folhas e colmos. Como já foi discutido anteriormente, a calagem provocou um decréscimo no teor de zinco da parte aérea, mas, também nos tratamentos com calcário o aumento nas doses de zinco ao solo provocaram aumento no teor de zinco dos tecidos, ainda que em níveis mais baixos. Nos tecidos do colmo, os teores mais baixos de zinco ocorreram nos tratamentos em que se combinaram as doses mais altas de fósforo e calcário.

4.2 - Ensaio de laboratório

Os resultados dos ensaios de incubação do solo com os tratamentos de zinco, fósforo e calcário e com extrações periódicas do zinco solúvel, em dois extratores, são apresentados no quadro 3.

QUADRO 3 - Concentrações de zinco, expressas em ppm e obtidas por extrações com solução de HCl 0,1 N e Na₂EDTA a 1% após diferentes períodos de incubação do Latosol Vermelho-Escuro orto, unidade Limeira, de baixa fertilidade, com adições de sulfato de zinco, calcário e superfosfato triplo

Períodos de incubação e extratores		Tratamentos					
		Zn ₀ P ₀ Ca ₀	Zn ₀ P ₂ Ca ₀	Zn ₀ P ₂ Ca ₂	Zn ₂ P ₀ Ca ₀	Zn ₂ P ₂ Ca ₀	Zn ₂ P ₂ Ca ₂
		ppmZn	ppmZn	ppmZn	ppmZn	ppmZn	ppmZn
15 dias	HCl	1,80	1,20	1,20	36,5	36,0	36,0
	EDTA	1,60	0,80	1,30	33,0	32,5	31,0
30 dias	HCl	0,80	0,80	1,00	35,0	35,0	34,0
	EDTA	1,70	1,40	1,70	29,0	29,0	28,5
45 dias	HCl	0,90	0,80	1,00	31,5	30,5	29,0
	EDTA	0,60	0,60	0,60	26,5	27,0	25,5
60 dias	HCl	0,62	0,62	1,07	29,3	30,6	31,7
	EDTA	0,46	0,46	1,38	28,5	26,5	25,1

Os dados obtidos nas condições deste ensaio mostraram que para o zinco nativo os tratamentos de fósforo e calcário, como também o tempo de incubação, não afetaram de forma consistente o teor de zinco solúvel do solo. Em média, também não houve diferença entre os teores extraídos pelos dois extratores, embora a solução de HCl 0,1 N indicasse melhor uma tendência de diminuição de solubilidade do zinco com o aumento do tempo de incubação.

Já para os tratamentos que receberam zinco (36 ppm), os teores do micronutriente extraídos com solução de HCl 0,1N foram sempre superiores aos extraídos com solução de Na₂ EDTA 1%. Também neste caso, os tratamentos com fósforo e calcário praticamente não influenciaram na solubilidade do zinco. A única variável que afetou de forma bem caracterizada o teor de zinco extraído por ambos os extratores, foi o tempo de incubação. Houve um decréscimo no teor de zinco solúvel, com o aumento do tempo de incubação independentemente da calagem e da adubação fosfatada. Esses resultados, concordam parcialmente com MARINHO e IGUE (16). Esses autores, trabalhando com três solos originários de cinzas vulcânicas, fizeram a incubação com dois níveis de zinco radioativo, dois níveis de adubação fosfatada e efetuaram extrações periódicas com Na₂EDTA 0,01 M e solução de HCl 0,1 N. Neste experimento, em todos os tratamentos, a solução de HCl 0,1 N extraiu mais zinco do que a solução de Na₂ EDTA 0,01 M. Registrou-se, também, um decréscimo do teor de zinco solúvel, com o aumento do tempo de incubação. Por outro lado, esses autores encontraram que o aumento da adubação fosfatada promoveu um aumento no teor de zinco extraído por ambos os extratores. Esse efeito, segundo Shukla (31), depende da natureza da fonte de fósforo porque, para esse autor, os fertilizantes fosfatados que diminuem o pH do solo e não formam ou

induzem formação de compostos insolúveis de zinco, podem aumentar a quantidade de zinco solúvel dos solos. O superfosfato triplo seria um desses fertilizantes. Todavia, esse efeito não foi encontrado no presente ensaio e é possível que dependa, também, da natureza do solo.

Com relação ao efeito do calcário, o delineamento deste ensaio não permitiu o seu estudo isolado, porque o calcário só foi incubado na presença da dose dois de fósforo. Isto foi feito para acompanhar o delineamento do ensaio desenvolvido na casa de vegetação, onde todos os tratamentos receberam adubação fosfatada.

No ensaio de incubação, a calagem na presença de adubação fosfatada não alterou a solubilidade do zinco, nas diferentes épocas de extração. Este resultado contrasta com os obtidos no ensaio da casa de vegetação, onde ficou bem caracterizada a influência da calagem sobre a disponibilidade do zinco. Como na primeira época de extração houve uma quase total recuperação do zinco adicionado com o uso de ambos os extratores, e como houve um decréscimo relativamente pequeno do teor de zinco solúvel com o tempo de incubação, podemos sugerir que o processo de extração utilizado parece ser bastante drástico, quando se trata de zinco adicionado ao solo. Por outro lado, Shukla (30) sugere que a disponibilidade de zinco do solo, em função da calagem, em ensaios de incubação, depende da natureza do solo. Para os mesmos tratamentos com zinco e carbonato de cálcio, o autor encontrou depressões altas, baixas, ou mesmo nenhum efeito da calagem, dependendo do tipo de solo.

4.3 - Considerações gerais

Não podemos deixar de considerar uma série de fatores

que influem no julgamento dos resultados obtidos no presente experimento.

Verificamos que o uso de calcário e a adubação fosfatada tiveram individualmente um efeito benéfico, altamente significativo, sobre o desenvolvimento das plantas, no solo em questão, devido à sua acidez e baixa fertilidade natural. Por outro lado, a aplicação de zinco em doses dentro de uma faixa recomendável (23) produziu efeitos depressivos sobre o desenvolvimento das plantas. Em última análise, o efeito do zinco somou-se aos efeitos negativos da própria fertilidade natural do solo, o que dificultou a caracterização do seu efeito isolado e, mais ainda, dos fatores que o afetaram. O exemplo mais claro está na influência da adubação fosfatada sobre o efeito do zinco na altura das plantas. O aumento da dose de zinco provocou uma depressão na altura das plantas, que foi mais acentuada dentro do nível dois de adubação fosfatada do que dentro do nível um. Em compensação, o nível dois de fósforo proporcionou um desenvolvimento maior das plantas em relação ao nível um.

Esses efeitos refletiram não só na interpretação dos resultados referentes ao desenvolvimento vegetativo das plantas (altura e peso de matéria seca), com também nos resultados relativos à concentração de nutrientes no material vegetal. Nesse caso, o "efeito de diluição" explica alguns casos que poderiam ser atribuídos erroneamente ao antagonismo na absorção de certos nutrientes. Um exemplo está na influência da calagem sobre a concentração de fósforo do colmo. O uso de calcário provocou um decréscimo no teor de fósforo do colmo em alguns tratamentos, embora não houvesse diferença entre as doses um e dois do corretivo. Todavia, a absorção de fósforo total foi maior para esses tratamentos com calagem em virtude do maior desenvolvimento das plantas. Além disso, para as condições

naturais do solo, a calagem nos níveis propostos só poderia ter favorecido a disponibilidade de fósforo no solo.

Todos esses aspectos resultaram em que a influência da adubação fosfatada sobre a disponibilidade do zinco no solo não pôde ser bem caracterizada nas condições deste ensaio, embora tivesse sido constatado algum efeito, com base no desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, o efeito da calagem sobre a disponibilidade do micronutriente foi bastante evidente e traduziu-se na neutralização dos efeitos tóxicos do zinco com o uso da maior dosagem do corretivo. Os dados de altura de plantas, produção de matéria seca e concentração de zinco na parte aérea do milho são concordantes e indicam claramente o efeito da calagem.

Já o ensaio de incubação não evidenciou a influência da calagem na solubilidade do zinco, como foi discutido no capítulo anterior. Nesse caso, a extração química do micronutriente do solo não teve nenhuma relação com a extração efetuada pela planta. Fato semelhante já foi destacado por Motsara (18), mas referindo-se ao efeito da adubação fosfatada sobre a disponibilidade de zinco. Esse autor, utilizando cevada como planta-teste, concluiu que a extração com solução de HCl 0,1N (proporção solo-extrator de 1:10 e agitação por uma hora) não indicou o teor disponível de zinco para os solos que estudou. Para tanto, comparou os resultados da extração com os efeitos sobre o desenvolvimento das plantas, em casa de vegetação.

5 - CONCLUSÕES

1 - A aplicação de sulfato de zinco ao Latosol Vermelho-Escuro orto, unidade Limeira, de baixa fertilidade nas doses equivalentes a 18 e 36 ppm de Zn produziu efeitos tóxicos sobre o desenvolvimento do milho híbrido (Hm 6999 B).

2 - A forma de aplicação do sulfato de zinco, feita com bastante antecedência ao plantio e anteriormente à calagem e adubação, mostrou-se bastante efetiva, em vista dos efeitos produzidos pelo micronutriente.

3 - A aplicação do calcário em dose calculada para elevar o pH do solo a 6,5 (6,0 ton/ha) eliminou completamente o efeito depressivo do zinco. O mesmo não aconteceu com a dose de calcário calculada para a neutralização do alumínio tóxico (3,0 ton/ha).

4 - Os dados de altura de plantas, produção de matéria seca e concentração de zinco na parte aérea do milho mostraram claramente a influência da calagem sobre a disponibilidade de zinco do solo. A aplicação de calcário provocou decréscimo na absorção de zinco pelas plantas.

5 - O efeito direto da adubação fosfatada sobre o aproveitamento do zinco ou sua disponibilidade no solo não pôde ser perfeitamente caracterizado pelos dados deste experimento. Todavia, o efeito depressivo do zinco variou em função do grau de desenvolvimento das plantas que, por sua vez, foi bastante

afetado pela adubação fosfatada. Dessa forma o efeito do fósforo sobre o zinco parece estar mais ligado ao metabolismo vegetal do que à solubilidade do micronutriente no solo.

6 - A solução de HCl 0,1N teve maior capacidade de extração do zinco adicionado ao solo do que a solução de Na₂ EDTA 1%, nas mesmas condições. Por outro lado, nenhum desses extractores indicou o efeito da calagem sobre a solubilidade do zinco do solo, mas ambos indicaram diminuição na solubilidade com o aumento do tempo de incubação.

7 - Não houve efeito antagônico, bem caracterizado, da absorção de zinco sobre a absorção dos outros nutrientes estudados (Ca, Mg e P), mas ficou evidenciada uma influência do desenvolvimento das plantas sobre a concentração desses elementos em folhas e colmo de milho.

RESUMO

Dois experimentos, um em casa de vegetação e outro de laboratório (incubação), foram conduzidos para estudo do efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a disponibilidade de zinco adicionado ao Latosol Vermelho-Escuro orto, unidade Limeira.

No experimento em casa de vegetação, plantou-se milho em vasos com capacidade para 10 kg de solo, dentro de um delineamento fatorial 3 x 3 x 2, compreendendo três níveis de calagem (0, 3 e 6 ton/ha), dois níveis de adubação fosfatada (100 e 200 kg/ha de P_2O_5) e três níveis de zinco (8, 18 e 36 ppm). Os dados de altura das plantas, produção de matéria seca e concentração de nutrientes na parte aérea permitiram caracterizar um efeito depressivo da calagem sobre a absorção de zinco ou sobre sua disponibilidade no solo. Por outro lado, o efeito da adubação fosfatada sobre a absorção de zinco não ficou bem caracterizada, parecendo, todavia, estar mais ligado ao metabolismo vegetal do que à solubilidade do micronutriente no solo.

O ensaio de laboratório consistiu na incubação, por diferentes períodos, de tratamentos de sulfato de zinco, calcário e superfosfato triplo, adicionados a 2 gramas de solo contido em frascos Erlenmeyer de 125 ml, com posterior avaliação do teor solúvel.

As extrações de HCl 0,1N e solução de Na₂EDTA 1% na proporção solo-extrator de 1:10 e agitação por uma hora, não indicaram o efeito depressivo da calagem sobre a solubilidade do zinco, contrastando com os resultados obtidos no ensaio de casa de vegetação. Ambos os extratores indicaram, todavia, uma diminuição na disponibilidade do zinco com o aumento do tempo de incubação. A solução de HCl 0,1N teve uma capacidade de extração do zinco adicionado ao solo, maior que a solução de Na₂EDTA 1%.

INFLUENCE OF LIMING AND PHOSPHATE FERTILIZATION ON THE SOLUBILITY AND AVAILABILITY OF ZINC ADDED TO SOIL

SUMMARY

A greenhouse experiment and a laboratory experiment were carried out in order to study the effect of liming and phosphate fertilization on the availability of zinc added to soil. A soil sample of the Ortho Dark-Red Latosol from Limeira, S.P. was used.

In the greenhouse experiment, corn (Zea mays L) was planted in 10 kg pots filled with soil. The treatments consisted of three levels of lime, corresponding to (0, 3 & 6 ton/ha); two levels of phosphate fertilization (100 and 200 kg/ha of P_2O_5); and, three levels of zinc (0, 18 & 36 ppm).

Data on height of plants, dry matter weight and concentration of nutrients in plant parts permitted to characterize a depressive effect of liming on the absorption of zinc by corn. On the other hand, the effect of phosphate on zinc absorption was not well characterized. It seems, nevertheless, to be related to vegetable metabolism and not to the micronutrient solubility in the soil.

The laboratory experiment consisted of incubation, during periods of 15, 30, 45 e 60 days, of several combinations of zinc sulfate, lime and phosphate with two grams of soil. The soluble zinc was extracted by solution of HCl 0.1 N and Na₂ EDTA 1%. In this experiment the soluble zinc level was not affected by liming, contrasting thus with the data on the greenhouse experiment. The amount of zinc extracted by 0,1 N HCl was higher than that extracted by Na₂EDTA 1%.

LITERATURA CITADA

- 1 - ADRIANO, D.C. G.M. PAULSEN & L.S MURPHY. 1971. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (Zea mays L.) seedlings as affected by mineral nutrition. Agron. J. 63:63-39.
- 2 - BINGHAN, F.T & M.J. GARBER. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 24:209-213.
- 3 - BOAWN, L.C.; F.G. VIETS JR. & C.L. CRAWFORD. 1954. Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. Soil Sci. 78:1-7.
- 4 - _____, & G.E. LEGGETT. 1964. Phosphorus and zinc concentrations in russet burbank potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. Soil.Sci.Soc. Am.Proc. 28:229-232.
- 5 - BURLESON, C.A.; A.D. DACUS & C.J. GERARD. 1961. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 25:365-368.
- 6 - _____, & N.R. PAGE. 1967. Phosphorus and zinc interactions in flax. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 31:510-513.
- 7 - CATANI, R.A.; J.R. GALLO & H. GARGANTINI. 1955. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico. 28 pp. (Boletim 69)

- 8 - CHAPMAN, H.D. 1966. Zinc. In H. D. Chapman, ed. Diagnostic Criteria for Plants & Soils University of California, Division of Agricultural Sciences. pp.484-499.
- 9 - ELLIS, JR, R.; J.E. DAVIS & D.L. THURLOW. 1964. Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 28:83-86.
- 10 - GALLO, J.R. 1968. A determinação de zinco pelo método espectrofométrico do zinco. Tese apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" U.S.P. para obtenção do título de doutor em agronomia. 73 fls.
- 11 - GALLO, J.R.; R.HIROCE, O.C. BATAGLIA & F.R.P. MORAES 1970. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar. I - Solos podzolizados de Lins e Marília, Latosolo Roxo e Podzólico Vermelho Amarelo-Orto. Bragantia 29:237-248.
- 12 - HALIM, A.H.; C.E. WASSON & R.ELLIS JR. 1968. Zinc deficiency symptoms and zinc phosphorus interactions in several strains of corn (Zea mays L.).Agron.J. 60:267-271.
- 13 - LANGIN, E.J.; R.C. WARD; R.A. OLSON & H.F. RHOADES. 1962. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. II-Lime and P plant effects on P-Zn relations.Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 26: 574-577.
- 14 - LINDSAY, W.L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. Advances in Agronomy 24:147-186.
- 15 - LOTT, W.L.; A.C. McCLUNG, R.VITA & J.R. GALLO. 1961. Levantamento de cafezais em São Paulo e Paraná pela análise foliar. São Paulo, Instituto de Pesquisas I.R.I. 72pp. (Boletim 26)

- 16 - MARINHO, M.L. & K. IGUE. 1972. Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic ash soils. Agron. J. 64:3-8.
- 17 - MELTON, J.R.; B.C. ELLIS & E.C. DOLL. 1970. Zinc, phosphorus and lime interactions with yield and zinc uptake by *Phaseolus vulgaris*. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 34:91-93.
- 18 - MEURER, E.G. & A.E. LUDWICK. Efeitos da aplicação de calcário e fósforo na absorção de zinco por milho. Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia e Veterinária da U.F.R.G.S. Mimeografado, sem data.
- 19 - MOTSARA, M.R. 1973. On the effects of phosphorus on zinc uptake by barley. Plant and Soil 38:381-392.
- 20 - OLIVEIRA, J.B. & C.L. ROTTA. 1973. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Limeira, SP. Bragantia 30:1-60.
- 21 - OLSEN, S.R. 1972. Micronutrients interactions. In J.J. Mortvedt, F.M. Giordano & W.L. Lindsay, ed. Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin U.S.A. p. 243-264.
- 22 - PAULI, A.W.; R. ELLIS JR. & H.C. MOSER. 1968. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agron. J. 60:394-396.
- 23 - PAULSEN, G.M. & O.A. ROTIMI. 1968. Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensitivity to phosphorus nutrition. Soil.Sci.Soc.Am.Proc. 32:73-76.
- 24 - POWERS, W.L. & T.S. PANG. 1947. Status of zinc in relation to Oregon soil fertility. Soil.Sci. 64:29-36.
- 25 - PRINCE, A.L. 1964. Methods in soil analysis. In F.E. Bear, ed. New York, Reinhold, Chemistry of the Soil.p.328-368.

- 26 - RODRIGUEZ, O. & J.R. GALLO. 1961. Levantamento do estado nutricional de pomares cítricos de São Paulo pela análise foliar. *Bragantia* 20: 1183-1202.
- 27 - ROGERS, L.H. & CHIH-HWA-WU. 1948. Zinc uptake by oats as influenced by application of lime and phosphate. *J.Am. Soc.Agron.* 40:563-566.
- 28 - SEATZ, L.F.; A.J. SETERGES & J.C. KRAMER. 1959. Crops response to zinc fertilization as influenced by lime and phosphorus applications. *Agron. J.* 51:457-459.
- 29 - SHARMA, K.C.; B.A. KRANTZ & A.L. BROWN. 1968. Interaction of P and Zn on two dwarf wheats. *Agron.J.* 60:329-330.
- 30 - _____; _____; _____; & QUICK. 1968. Interaction of Zn and P in top and root of corn and tomato. *Agron. J.* 60:453-456.
- 31 - SHUKLA, U.C. 1972. Effect of lime, phosphorus and some fertilizers compounds on zinc availability in soils of Southern United States. *Agrochimica* XVI:435-441.
- 32 - _____, 1972. Effect of various phosphatic fertilizers on zinc availability in soils of Southern United States. *Agrochimica* XVI:562-570.
- 33 - STUKENHOLTZ, D.D.; R.J. OLSEN; G. GOGAN & R.A. OLSON. 1966. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. *Soil.Sci.Soc.Am.Proc.* 30:759-763.
- 34 - THORNE, D.W. 1957. Zinc deficiency and its control. *Advances in Agronomy* IX:31-65.
- 35 - WARNOCK, R.E. 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (Zea mays L.) in relation to phosphorus induced zinc deficiency. *Soil.Sci.Soc.Am.Proc.* 34:765-769.