

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS RELAÇÕES  
ENTRE O ZINCO E O FÓSFORO NA  
NUTRIÇÃO DAS PLANTAS

TESE PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR  
(SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS)

OSCAR EUGENIO LÓPEZ G.

*Prof. Dr. Eurípedes Malavolta*  
*Orientador*

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA «LUIZ DE QUEIROZ»  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PIRACICABA - BRASIL  
1972

## A G R A D E C I M E N T O S

Agradecimentos são devidos às seguintes pessoas e instituições:

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, pela orientação constante e eficaz durante a realização da presente investigação.

Organização dos Estados Americanos, pela concessão de uma bolsa de estudo através do Projeto Multinacional de Ciências Agropecuárias.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro dado para a condução da pesquisa (Agrônômica 71/240).

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, através do seu Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pelas facilidades oferecidas.

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Paraguay, pela assistência e apoio para realizar este curso de pós-graduação.

## I N D I C E

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	02
3. HIPÓTESES DE TRABALHO .....	06
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	07
4.1. Ensaio com raízes destacadas .....	07
4.1.1. Absorção de Zn em presença de diversos fosfatos e cloretos em diferentes valores de pH .....	07
4.1.2. Absorção de Zn em função da nutrição fosfatada prévia .....	08
4.2. Ensaio com plantas inteiras .....	08
4.3. Absorção de Zn em função do tipo de solo, da calagem e da adubação fosfatada .....	09
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
5.1. Absorção de Zn em presença de diversos fosfatos em diferentes valores de pH .....	13
5.2. Absorção de Zn em presença de diversos cloretos em diferentes valores de pH .....	17
5.3. Absorção de Zn em função da nutrição fosfatada prévia e de diversos valores de pH .....	22
5.4. Efeito da nutrição fosfatada prévia na translocação de Zn .....	24
5.5. Efeito da adubação fosfatada, da calagem e do tipo de solo na absorção de Zn .....	27
6. RESUMO E CONCLUSÕES .....	34
7. SUMMARY AND CONCLUSIONS .....	36
8. LITERATURA CITADA .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

O teor de zinco encontrado mais frequentemente em solos minerais oscila entre 10 e 300 ppm. O Zn ocorre nos minerais primários, tais como olivina, hornblenda, augita e biotita. Pode ser encontrado no solo adsorvido à superfície dos colóides, como constituinte da rede cristalina das argilas, precipitado com outros componentes ou incorporados a sistemas biológicos (BAUER, 1971).

Na solução de solo aparece como cátion divalente  $Zn^{+2}$ , podendo ser fortemente retido ao complexo de troca. Estas formas são consideradas a maior fonte de Zn disponível às plantas.

O Zn é absorvido pelas plantas principalmente como íon divalente. Nos tecidos vegetais a concentração deste elemento varia usualmente entre 5 e 75 ppm (CHAPMAN e PRATT, 1961). A redistribuição de Zn na planta é praticamente insignificante e os seus sintomas de carência conseqüentemente aparecem inicialmente nas folhas novas.

É ativador de várias enzimas, entre as quais a anidrase carbônica, deshidrogenase glutâmica, málica e alcoólica e de várias peptidases. Atua também como ativador de vários sistemas enzimáticos da glicólise, do ciclo de Krebs e do metabolismo dos aminoácidos. O Zn é essencial para a síntese de triptofano, aminoácido precursor do ácido indol acético (AIA), um importante hormônio de crescimento das plantas (NASON, 1958; MALAVOLTA, 1967).

Os principais fatores que afetam a disponibilidade de Zn para as plantas são: pH, concentração de fosfato, matéria orgânica, temperatura, microrganismos, minerais de argila.

A deficiência de Zn pode ser devida à pobreza no solo ou a uma diminuição da disponibilidade, estando ela associada mais frequentemente ao excesso de fosfato.

No Brasil, as culturas de cítricos, café, milho e arroz tem manifestado com bastante frequência a deficiência de Zn em condições de campo. Em outros países o problema existe em numerosas outras culturas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Conforme se verá em seguida, são aparentemente conflitantes as informações encontradas na literatura a respeito do mecanismo de absorção de zinco (Zn) pelas plantas e do modo pelo qual fatores do meio influenciam o processo em questão.

O conceito de uma absorção ativa, a expensas da energia fornecida através do metabolismo, tem sido aplicado também ao Zn por *SCHMID, HAAG e EPSTEIN (1965)* e por *HAAG e SARRUGE (1965)*. Não obstante, *BRODA (1965)* e *RATHORE et al. (1970)* apresentaram provas de que a absorção de Zn ocorre principalmente mediante um processo passivo, preferencialmente pelo de troca iônica. Resultado semelhante encontraram *JOSEPH et al. (1971)* trabalhando com plantas intactas de feijoeiro.

Um dos primeiros fatores a ser relacionado com a absorção de Zn foi o pH. Uma relação inversa entre as duas variáveis foi mencionada por vários pesquisadores, *EPSTEIN e STOUT (1951)* verificaram que a absorção de Zn pelo tomateiro aumentou proporcionalmente ao incremento da saturação do complexo de troca com H e decréscimo em Ca. *WEAR (1956)* mostrou que a redução na absorção de Zn pelo sorgo foi devida a um efeito direto do pH e não à presença de Ca. *HAAG e SARRUGE (1965)* encontraram que a absorção de Zn por raízes destacadas de cafeeiro foi maior no pH 5; a presença de Ca na mesma concentração do Zn teve um efeito estimulante.

*CHAUDHRY e LONERAGAN (1972 b)* mostraram que quando o pH baixava de 7,0 a 3,0 o fornecimento de  $\text{Ca}^{+2}$  em concentrações crescentes provocava grande diminuição na absorção de Zn por plântulas de trigo.

A deficiência de Zn nas regiões temperadas tem sido observada mais frequentemente em solos alcalinos ou neutros. A redução na disponibilidade de Zn quando o pH aumenta é atribuída geralmente à formação de hidróxido de zinco insolúvel ou de carbonato de zinco. Em solos ácidos a prática da calagem pode induzir o aparecimen

to da deficiência de Zn (ROGERS e WU, 1948; SEATZ, STERGES e KRAMER, 1959).

MEUER, LUDWICK e KUSSOW (1971) estudaram o efeito da calagem e da aplicação de P em solos do sul do Brasil. Verificaram que a calagem teve um efeito depressivo na absorção de Zn e que a deficiência deste nutriente ocorreu a partir de pH 6,5, independentemente da aplicação de fosfato.

A aplicação de fertilizantes ou corretivos que alteram o pH do solo pode afetar a disponibilidade do Zn. Assim, o emprego de materiais acidificantes pode aumentar a solubilidade do Zn e consequentemente a sua absorção pelas plantas (BOAWN *et al.* 1960; STANTON e BURGER, 1970).

Muitos trabalhos mostraram que a deficiência de Zn está associada a altos níveis de P disponível no solo, ou que pode ser induzida pela aplicação de adubos fosfatados. Quando esta desordem nutricional pode ser prevenida ou corrigida pelo fornecimento de Zn, o fenômeno é conhecido na literatura como "deficiência de Zn induzida pelo fosfato".

O fato de que a presença de doses crescentes de P afeta a disponibilidade de Zn, podendo levar ao desenvolvimento de sintomas de deficiência ou de causar uma redução na concentração de Zn dos tecidos das plantas, tem sido verificado por numerosas pesquisas (BURLESON, DACUS e GERARD, 1961); LANGIN *et al.*, 1962; BROWN e TIFFIN, 1962; WARD *et al.*, 1963; ELLIS, DAVIS e THURLOW, 1964; JACKSON, HAY e MOORE, 1967; LO e REISENAUER, 1968; PAULSEN e ROTIMI 1968; RUDGERS *et al.*, 1970; WARNOCK, 1970).

Entretanto, os resultados obtidos por BOAWN, VIETS e CRAWFORD (1954) e BINGHAM (1963) não mostraram nenhum efeito aparente do P sobre a nutrição mineral do Zn. PAULI, ELLIS e MOSER (1968) verificaram, por outro lado, um efeito positivo do fosfato na absorção de Zn, mostrando as plantas de feijoeiro uma maior concentração do elemento nos seus tecidos.

Embora a literatura mostre bastante evidência sobre o efeito depressivo do fosfato na utilização de Zn, não há acordo quanto a explicação da natureza desse efeito.

*THORNE (1957)* verificando o decréscimo na solubilidade de Zn quando a concentração de P na solução do solo aumenta, explicou que a deficiência de Zn ocorre como consequência direta da precipitação do zinco como fosfato insolúvel. Os resultados obtidos por *BINGHAM, MARTIN e CHASTAIN (1958)*, *SPENCER (1960)* e *BINGHAM (1963)* apoiam o conceito de que a planta não participa do mecanismo da interação P/Zn, sendo o elemento imobilizado fora da raiz.

*MARINHO e IGUE (1972)* observaram que a disponibilidade de Zn no solo e a quantidade total absorvido não foram afetadas pela aplicação de doses crescentes de fosfato, decrescendo, porém, a concentração de Zn no tecido.

Há, de outra parte, evidência de que a interação P/Zn não é externa à planta. Os principais fundamentos da explicação do carácter fisiológico do antagonismo P/Zn derivam dos fatos que: a incubação de altas quantidades de P no solo não tem efeito na fração solúvel de Zn; o decréscimo da concentração de Zn na planta não difere muito em função do sistema de aplicação de P ao solo; pequenas quantidades de Zn previnem a deficiência.

A possibilidade de que o P parece bloquear a absorção de Zn e que a interação entre os dois nutrientes ocorre na superfície da raiz ou dentro delas, foi defendida por *LANGIN et al. (1962)*.

*STUKENHOLTZ et al. (1966)*, *SHARMA et al. (1968 a,b)* e *PAUL SEN e ROTIMI (1968)* mostraram que o principal efeito do fosfato foi uma inibição na translocação do Zn da raiz à parte aérea da planta. A esta conclusão chegaram após observar que a concentração de Zn no caule e folhas é mais agudamente afetada pela adubação fosfatada que a da raiz, órgão em que a concentração permanece quase inalterada.

A ocorrência da deficiência de Zn tem sido também relacionada a uma alta relação P: Zn na parte aérea da planta, e não só com

uma baixa concentração de Zn. Alguns experimentos não mostraram a interferência do P na absorção e translocação do Zn; contudo, a deficiência de Zn apareceu quando uma alta relação P:Zn foi encontrada nas folhas. Este fato sugeriu a hipótese de que um balanço apropriado entre os dois nutrientes seja necessário para um crescimento normal.

BOAWN e LEGGETT (1964) encontraram uma relação crítica P:Zn igual a 400. As plantas normais apresentaram uma relação menor, enquanto que um valor superior a 400 era característico das plantas com deficiência de Zn. MILLIKAN, HANGER e BJARNASON (1968) também verificaram que plantas de trevo subterrâneo com sintomas de deficiência de Zn tinham uma relação P/Zn maior de que 400 na parte aérea. LO e REISENAUER (1968) encontraram em alfafa um valor crítico de 800. WARNOCK (1970) verificou que a máxima produção de milho correspondia a uma relação P:Zn de 134; nas plantas com deficiência induzida por fosfato o valor aumentou para 734. PRASAD, SHUKLA e SAFAYA (1971) conseguiram obter resposta à fertilização com Zn quando as folhas de milho de 6 semanas de idade tinham uma relação P:Zn superior a 216.

Os resultados obtidos por MARTIN, Mc LEAN e QUICK (1965), STUKENHOLTZ *et al.* (1966) e por TERMAN, ALLEN e BRADFORD (1966) mostraram que a relação P:Zn nas plantas varia em uma faixa muito grande, razão pelo qual não pode ser usada para uma indicação da disponibilidade de Zn para as plantas e nem para se estabelecer um valor crítico definido indicativo de uma possível deficiência de Zn. A relação P:Zn parece servir somente para confirmar o diagnóstico da deficiência.

Como se vê, a literatura, mostra explicações diferentes para um mesmo fenômeno, o que possivelmente reflete diversidade nas condições experimentais empregadas.



### 3. HIPÓTESES DE TRABALHO

Dada a informação nem sempre concordante encontrada na literatura foram formuladas as seguintes hipóteses de trabalho para explicar a influência do íon fosfato no aproveitamento do zinco pelas plantas:

- a. diminuição na absorção por um efeito de inibição;
- b. diminuição na absorção por precipitação do zinco na superfície da raiz;
- c. diminuição na translocação da raiz para a parte aérea;
- d. diminuição na disponibilidade do zinco no solo.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em laboratórios e casa de vegetação ocupados pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura, a nexo à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba, Estado de São Paulo.

##### 4.1. Ensaíos com raízes destacadas

##### 4.1.1. Absorção de Zn em presença de diversos fosfatos e cloretos em diferentes valores de pH

Os experimentos foram realizados com raízes destacadas de cevada (*Hordeum vulgare* var. *breuns volla*) de 7 dias de idade, seguindo a técnica descrita por EPSTEIN (1953).

As sementes germinaram entre duas camadas de gaze suportadas por uma tela de aço inoxidável que descansava sobre um recipiente contendo dois litros de uma solução de  $\text{CaSO}_4$   $10^{-4}$  M. As plantas permaneceram na solução constantemente arejada e no escuro durante 6 dias, sendo em seguida deixadas em luz difusa por 24 horas. A solução era renovada uma vez.

Antes do início do experimento, as raízes eram lavadas com suficiente água destilada e cortadas aproximadamente a 1 cm abaixo das sementes. As raízes eram mantidas então em água, sendo posteriormente retiradas e secadas entre folhas de papel toalha. Pesavam-se porções de 0,5 g que eram colocadas em pequenos recipientes com água, esperando o momento oportuno para serem transferidas a frascos de vidro de 200 ml de capacidade contendo 100 ml das soluções de trabalho.

As soluções de trabalho tinham as seguintes concentrações finais de Zn na forma de  $\text{ZnCl}_2$ , marcado com  $^{65}\text{Zn}$ :  $5 \times 10^{-6}$  M,  $5 \times 10^{-5}$  M e  $5 \times 10^{-4}$  M. Em cada uma dessas concentrações, a absorção de Zn foi estudada sob a influência das seguintes concentrações finais de fosfatos monobásicos de Na, K,  $\text{NH}_4$ , Ca e Mg:  $10^{-5}$  M,  $10^{-4}$  M e  $5 \times 10^{-3}$  M.

Os experimentos foram realizados nos pH 5, 6 e 7 ajustados com HCl ou NaOH. Cada ensaio era repetido duas vezes.

O  $^{65}\text{Zn}$  foi adicionado às soluções na forma de cloreto. A atividade específica era de 3  $\mu\text{Ci}$  por mg de Zn.

O período de absorção era de 30 minutos, durante os quais as raízes permaneciam sob arejamento contínuo. Após o período experimental, as soluções eram despejadas e as raízes lavadas com abundante água destilada no mesmo frasco. Imediatamente depois eram retiradas, secadas entre folhas de papel toalha e colocadas no fundo de tubos de cultura.

A determinação da radioatividade das amostras era realizada introduzindo diretamente os tubos em um cintilador de cristal, tipo poço ligado a um conjunto registrador Hewlett-Packard modelo 5580 B.

A quantidade de Zn absorvida foi calculada comparando a radioatividade das amostras com a radioatividade de 1 ml da solução de trabalho com cada uma das concentrações de Zn empregados.

A mesma série de experimentos foi posteriormente repetida, usando-se soluções de cloretos dos mesmos cátions, nas mesmas concentrações.

#### 4.1.2. Absorção de Zn em função da nutrição fosfatada prévia

Os experimentos foram realizados com raízes destacadas de cevada de 7 dias de idade, seguindo uma modificação da metodologia do item anterior: no quarto dia a solução de sulfato de cálcio foi submetida pelas seguintes soluções de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  : 0,  $10^{-4}\text{M}$ ,  $10^{-3}\text{M}$  e  $5 \times 10^{-3}\text{M}$ ; cada uma destas soluções foi posta em um recipiente de dois litros de capacidade com um lote de plântulas de cevada.

#### 4.2. Ensaio com plantas inteiras

Para estudar a translocação do Zn em função da nutrição fosfatada prévia, sementes de cevada foram postas a germinar em solu-

ção de  $\text{CaSO}_4$   $10^{-4}$  M no escuro e com arejamento contínuo, à semelhança do que se fez nos experimentos com raízes destacadas. No quarto dia o suporte com as plântulas foi lavado com água destilada e colocado novamente sobre recipientes de dois litros de capacidade contendo soluções com os seguintes tratamentos: 0,  $10^{-4}$  M,  $10^{-3}$  M e  $10^{-2}$  M de P na forma de fosfato monossódico.

Inicialmente foi preparada a solução sem P de *HOAGLAND* e *ARNON* (1950) diluída 1:10, à qual foram adicionadas soluções de reserva de fosfato monossódico a fim de obter as concentrações finais desejadas.

As plantas permaneceram nessas soluções à luz durante três dias, em seguida as raízes eram lavadas e as plantas eram transferidas para as soluções contendo Zn.

As soluções de trabalho contendo Zn foram também preparadas a partir da solução de *HOAGLAND* e *ARNON* (1950) sem P diluída. As concentrações finais de Zn foram as seguintes:  $5 \times 10^{-6}$  M,  $5 \times 10^{-5}$  M e  $5 \times 10^{-4}$  M, com uma atividade específica de 3  $\mu\text{Ci}$  por mg de Zn.

De cada lote de plantas que receberam um pré tratamento com P foram retiradas 30 plantas; destas 10 plantas foram colocadas em frasco contendo 200 ml de cada uma das soluções contendo Zn, onde permaneceram por mais três dias em arejamento contínuo. Após este período, as plantas foram retiradas dos frascos, as raízes lavadas com água e postas a secar entre folhas de papel toalha. As 10 plantas eram divididas em dois lotes de 5, separadas a raiz da parte aérea, introduzindo-se cada porção em um tubo de cultura para a determinação da sua radioatividade. Foi determinado o total de Zn absorvido e calculada a porcentagem do Zn encontrado na parte aérea.

O experimento foi realizado com as soluções de Zn ajustadas nos pH 5, 6 e 7, sendo repetido duas vezes.

#### 4.3. Absorção de Zn em função do tipo de solo, da calagem e da adubação fosfatada

Foram utilizados três solos da região de Piracicaba, classi

ficados pelo SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960) como Regosol, (R), Latosol Vermelho amarelo fase arenosa (LVa) e Latosol roxo (LR).

Os solos foram analisados nos laboratórios do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", à exceção do Zn. A determinação deste elemento foi feita seguindo a metodologia empregada por WALSH *et al.* (1972), usando HCl 0,1 N como extrator.

As características físicas e químicas dos solos se apresentam na Tabela 1.

No ensaio em casa de vegetação empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, onde se compararam 6 tratamentos com três repetições.

Tabela 1 - Características físicas e químicas dos solos

		<u>R</u>	<u>LVa</u>	<u>LR</u>
<u>Análise mecânica</u>				
Areia	%	87,4	73,3	34,4
Limo	%	1,8	12,1	24,1
Argila	%	10,8	14,6	41,5
<u>Análise química</u>				
pH		5,6	5,0	5,9
C orgânico	%	1,40	1,54	2,54
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	meq/100 g	0,02	0,30	0,07
KK <sup>+</sup>	meq/100 g	0,04	0,08	0,48
Ca <sup>+2</sup>	meq/100 g	0,53	0,34	3,52
Mg <sup>+2</sup>	meq/100 g	0,10	0,11	1,12
H <sup>+</sup>	meq/100 g	3,58	4,69	3,97
Al <sup>+3</sup>	meq/100 g	0,40	0,77	0,10
Zn <sup>+2</sup>	ppm	3,5	6,0	9,0

Os tratamentos foram:

1. Zn + P<sub>0</sub>
2. Zn + P<sub>1</sub>
3. Zn + P<sub>2</sub>
4. Zn + P<sub>0</sub> + calagem
5. Zn + P<sub>1</sub> + calagem
6. Zn + P<sub>2</sub> + calagem

A quantidade de Zn aplicada a todos os tratamentos foi de 10 mg de Zn por kg de solo, na forma de sulfato.

Os níveis de P foram de 0, 200 e 400 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por kg de solo, fornecidos na forma de fosfato monossódico.

Os solos foram coletados de uma profundidade de 15-20 cm e depois de secados e triturados, foram passados por peneira de malha de 2 mm.

A necessidade de cal dos solos foi determinado de acordo a *CATANI e GALLO (1955)*, aplicando-se as quantidades de carbonato de cálcio, p.a., em suspensão, de maneira a atingir o pH 6,5. Os solos foram deixados incubados durante 20 dias com uma umidade aproximada de 60 a 70% da capacidade de campo.

Após o período de incubação, os solos foram secos ao ar.

No ensaio empregaram-se 1000 g de solo, sendo colocados em vasos de metal de 1 litro de capacidade, pintados internamente para evitar corrosão e perfurados no fundo.

Para evitar uma possível interferência de qualquer elemento essencial não sujeito ao estudo, aplicou-se aos solos uma adubação complementar, em solução dos seguintes nutrientes: N, 200 ppm; K<sub>2</sub>O, 200 ppm; Mg, 34 ppm; S, 124 ppm; B, 1,2 ppm; Cu, 2,5 ppm; Fe, 5 ppm; Mn, 1,4 ppm; Mo, 0,5 ppm.

O P e o Zn foram aplicados posteriormente também em solução. Para proceder-se à aplicação das soluções fertilizantes, os solos foram distribuídos sobre uma tela de plástico. Misturaram-se

alíquotas das soluções de reserva de cada elemento e se pulverizaram por todo o solo, sendo este misturado constantemente.

A atividade específica da solução de Zn aplicada foi de 5  $\mu$ Ci por mg de Zn. A atividade total aplicada em cada tratamento foi de 50  $\mu$ Ci por vaso.

Como planta indicadora empregou-se a cevada, na proporção de 15 sementes por vaso, tendo-se procedido ao desbaste 8 dias após a germinação para manter 8 plantas por vaso.

A colheita da parte aérea da planta foi realizado aos 45 dias. O material colhido foi seco em estufa a 60-70°C durante 72 horas, após o que procedeu-se à pesagem e moagem do material.

A radioatividade das amostras foi determinada colocando-se 0,5 g de material moído em tubos de cultura e introduzindo-o no cintilador de cristal, tipo poço, ligado ao conjunto Hewlett- Packard, modelo 5580 B.

A determinação de P e Zn foi realizada no extrato nítrico-perclórico do mesmo material cuja atividade foi medida. O P foi analisado colorimetricamente pelo método fosfovanadomolibdico (*MALAVOLTA, 1964*) e o Zn no espectrofotômetro de absorção atômica EEL, modelo 140.

Foram calculados o valor L dos solos e a quantidade total de Zn na parte aérea das plantas. O efeito dos diferentes tratamentos no crescimento e na concentração de P e Zn da planta foi analisada estatisticamente de acordo com *PIMENTEL GOMES (1970)*.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Absorção de Zn em presença de diversos fosfatos em diferentes valores de pH

Na Tabela 2 encontram-se tabulados os dados relativos à absorção de Zn pelas raízes destacadas de cevada, a partir de três concentrações de Zn, em presença de doses crescentes de diferentes fosfatos e nos pH 5, 6 e 7.

Os valores de absorção sublinhados correspondem aos tratamentos em que nas soluções de trabalho verificou-se a ocorrência de um precipitado gelatinoso. As raízes que permaneceram nelas revelaram uma radioatividade muito alta, desviando-se da tendência geral de diminuição da radioatividade com o incremento da concentração de P. Possivelmente essa ocorrência seja devida a que o precipitado formado ficou aderido às raízes não podendo ser eliminado com a água de lavagem. Daí, então, proceder-se à lavagem das mesmas raízes com HCl 0,1 N, rapidamente, por poucos segundos, e logo com água. Os dados sublinhados correspondem a este tratamento.

Observa-se que independentemente da fonte de fosfato fornecida às raízes, há uma redução na absorção de Zn com o incremento da concentração de fosfato de  $10^{-5}$  M a  $5 \times 10^{-3}$  M. Essa tendência revela-se nos três pH e em qualquer nível de Zn empregado.

A absorção de Zn aumentou com o incremento da sua concentração no meio.

Quando foi fornecida a menor concentração de Zn ( $5 \times 10^{-6}$  M) observa-se uma notável diferença na redução da absorção devida à forma de fosfato. Assim, na faixa de pH 5 a 7, o efeito depressivo na absorção foi mais acentuado com os fosfatos de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , que quando as fontes de fosfatos foram dos cátions monovalentes Na, K e  $\text{NH}_4$ . Entre estes cátions o  $\text{NH}_4$  afetou menos, principalmente nas menores concentrações ( $10^{-5}$  M e  $10^{-4}$  M).

A medida que o suprimento de Zn foi aumentando de  $5 \times 10^{-6}$  M



Tabela 2 - Absorção de Zn em raízes destacadas de cevada em diversos pH e concentrações de diferentes fosfatos, µg Zn/0,5 g de raiz/30 minutos (média de 2 experimentos)

Fonte de fosfato	pH 5			pH 6			pH 7			
	M ZnCl <sub>2</sub>			M ZnCl <sub>2</sub>			M ZnCl <sub>2</sub>			
	5x10 <sup>-6</sup>	5x10 <sup>-5</sup>	5x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-6</sup>	5x10 <sup>-5</sup>	5x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-6</sup>	5x10 <sup>-5</sup>	5x10 <sup>-4</sup>	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	10 <sup>-5</sup> M	3,6	16,2	22,3	4,6	16,4	28,4	3,5	18,2	28,5
	10 <sup>-4</sup> M	1,9	13,7	22,6	3,8	14,3	25,5	2,9	16,1	16,2
	5x10 <sup>-3</sup> M	1,2	6,9	11,6	1,4	6,4	6,0	1,4	6,1	5,6
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	10 <sup>-5</sup> M	3,4	22,0	36,1	4,4	23,9	37,4	2,7	21,4	39,3
	10 <sup>-4</sup> M	2,9	18,6	31,1	3,7	20,3	35,9	3,3	21,8	35,2
	5x10 <sup>-3</sup> M	1,1	9,9	19,0	1,6	10,9	16,6	1,2	10,2	15,0
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	10 <sup>-5</sup> M	4,4	15,4	23,3	5,3	16,2	24,6	5,5	14,3	26,0
	10 <sup>-4</sup> M	3,9	12,7	22,5	5,2	16,2	23,4	5,6	13,0	22,2
	5x10 <sup>-3</sup> M	1,7	6,5	17,9	1,8	7,3	22,4	1,7	3,6	17,0
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	10 <sup>-5</sup> M	2,8	19,9	26,2	3,5	23,8	33,9	3,0	21,8	43,6
	10 <sup>-4</sup> M	1,4	10,0	22,0	1,6	15,1	27,9	2,1	15,2	36,8
	5x10 <sup>-3</sup> M	0,4	2,1	14,0	0,7	4,8	14,6	0,2	2,2	15,9
Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	10 <sup>-5</sup> M	2,9	16,6	27,6	3,4	15,1	32,3	2,9	16,0	35,7
	10 <sup>-4</sup> M	1,2	9,4	21,4	1,3	11,8	27,8	1,5	8,3	28,8
	5x10 <sup>-3</sup> M	0,2	1,3	11,6	0,3	2,2	7,0	0,6	3,1	9,6

a  $5 \times 10^{-4}$  M, o destacado efeito dos cátions Ca e Mg foi atenuado progressivamente e na concentração mais elevada não se observa mais esse efeito nítido. Quando o  $\text{NH}_4$  era o cátion acompanhante do fosfato a variação na redução da absorção com o incremento da sua concentração foi pequena. Nota-se também que nos níveis mais elevados de Zn, parece ser o K o menos eficiente na redução da absorção de Zn.

O problema da interação entre P e o Zn foi bastante estudado em condições de campo e em casa de vegetação com solos e com solução nutritiva. Numerosas pesquisas revelaram o efeito do P na diminuição da absorção ou da concentração de Zn nos tecidos vegetais.

*BINGHAM, MARTIN e CHASTAIN (1958); SPENCER (1960) e BINGHAM (1963)*, trabalhando com plantas cítricas, defenderam o conceito de que o Zn é imobilizado no solo como fosfato insolúvel e que a planta não participa da interação entre os dois nutrientes. Entretanto, *BURLESON, DACUS e GERARD (1961) e LANGIN et al. (1962)* encontraram uma redução na quantidade total de Zn absorvida e na concentração dos tecidos. Baseados nos resultados concluíram que a interação entre o P e Zn é fisiológico, ocorrendo na raiz, onde o P parece bloquear a absorção de Zn. Por outro lado, *BOAWN e LEGGETT (1963)* concluíram: o efeito de P pode-se dar tanto na inibição da absorção como também na translocação de Zn do sistema radicular para as folhas.

Todas as conclusões anteriores foram tiradas de experimentos conduzidos com plantas inteiras de diferentes espécies, sem con seguir-se precisar que o efeito do P sobre o Zn ocorra na raiz redu zindo a sua absorção.

Os estudos com raízes destacadas, em experimentos de curta duração, tem permitido esclarecer muitos problemas de absorção iôni ca, o que é difícil fazer-se com plantas inteiras devido aos problemas de transporte e redistribuição dos minerais entre os vários orgãos da planta, de crescimento e desenvolvimento, que podem significa

cativamente afetar a absorção de íons e, portanto, a interpretação dos dados.

Os resultados obtidos no presente trabalho indicam a existência de um efeito inibitório do fosfato na absorção de Zn pelas raízes, variando esse efeito com a forma do fosfato fornecida e com a concentração de Zn no meio.

O fato de que a absorção de Zn foi mais afetada pelo fosfato de Ca, foi também verificado por *BINGHAM e GARBER (1960)* em plantas cítricas e com quatro solos diferentes. No mesmo experimento, o fosfato de  $\text{NH}_4$  deu a maior absorção de Zn nos solos com pH 6, enquanto que nos de pH 7 a diferença entre os fosfatos de Ca, K e  $\text{NH}_4$  foi pequena.

No caso em que o fosfato de amônio tenha interferido pouco na absorção de Zn, quando a concentração do Zn no meio foi elevada, pode ser devido a que o  $\text{NH}_4^+$  modifique a ação detrimental do P, possivelmente por uma diminuição na absorção de P. Além disso, o N na forma amoniacal parece favorecer a absorção de Zn (*BOAWN et al. 1960; STUKENHOLTZ et al. 1966*).

A menor interferência na absorção de Zn pelo fosfato de K confirma as observações feitas por *WARD et al. (1963)* e *STUKENHOLTZ et al. (1966)*. Segundo estes pesquisadores, o aumento do nível de K no solo exerce um efeito favorável na absorção de Zn quando em presença de excessiva quantidade de fosfato. Parece que a presença de K diminui o efeito prejudicial do P na absorção do Zn.

Considerando a absorção de Zn em relação à variação do pH não se observa uma tendência definida para a absorção nas diversas concentrações de fosfato. Praticamente a absorção foi semelhante, em todos os níveis de Zn do substrato, com a variação de pH de 5 a 7, particularmente quando a concentração de fosfato foi de  $5 \times 10^{-3}$  M.

Nas concentrações menores de fosfato ( $10^{-5}$  M e  $10^{-4}$  M) a absorção do Zn acompanhou o incremento do pH quando na maior concentração de Zn ( $5 \times 10^{-4}$  M) foi usado o fosfato de  $\text{Ca}^{+2}$ , e quando no

nível mínimo de Zn foi aplicado na forma amoniacal.

As informações sobre o efeito do pH na absorção de Zn pelas plantas são insatisfatórias. *BOWEN (1969)* informa que o pH ótimo para a absorção de Zn por folhas de cana de açúcar é de 5 a 6; *HAAG e SARRUGE (1965)* informam o valor de pH 5 para as raízes descascadas de cafeeiro. Entretanto *CHAUDHRY e LONERAGAN (1972 b)* não encontraram inibição na absorção variando a concentração de  $H^+$ , do pH 5 a 7 em presença de  $Ca^{+2}$ .

Esses estudos foram geralmente realizados com o Zn em presença de cátions diversos, não sendo fornecido como fosfato.

### 5.2. Absorção de Zn em presença de diversos cloretos em diferentes valores de pH

Os experimentos de absorção de Zn usando cloretos em substituição aos fosfatos surgiram como consequência da dúvida de se poder explicar se a inibição na absorção pela presença dos diversos fosfatos era devida a um efeito direto do ânion fosfato ou do cátion acompanhante.

Para verificar o efeito dos cátions na absorção de Zn foram eles fornecidos na forma de cloretos, mantendo as mesmas condições experimentais de concentração, pH e tempo dos experimentos com fosfatos, a fim de se poder separar a natureza da ação do ânion fosfato.

Os dados da absorção de Zn em presença de concentrações crescentes de diversos cloretos, em três valores de pH e a partir de três concentrações de Zn, acham-se contidos na Tabela 3.

Em qualquer unidade de pH, nota-se uma menor absorção de Zn à medida que cresce a concentração dos diferentes cloretos, independentemente do nível de Zn disponível no substrato. Por sua vez, pode-se verificar certa influência do cátion na redução da absorção de Zn.

Nas concentrações  $5 \times 10^{-6}M$  e  $5 \times 10^{-5}M$  de Zn nota-se um

Tabela 3 - Absorção de Zn em raízes destacadas de cevada em diversos pH e concentrações de diferentes cloretos,  $\mu\text{g Zn}/0,5 \text{ g}$  de raiz/30 minutos (média de 2 experimentos).

Fonte de cloreto	pH 5			pH 6			pH 7			
	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$	
NaCl	$10^{-5} \text{ M}$	2,9	12,6	18,6	4,7	17,5	22,6	4,3	18,4	28,0
	$10^{-4} \text{ M}$	2,7	12,9	20,8	3,5	15,7	25,7	3,4	15,7	27,3
	$5 \times 10^{-3} \text{ M}$	1,4	7,1	15,8	1,9	10,8	20,3	1,6	9,6	20,2
KCl	$10^{-5} \text{ M}$	5,3	16,9	23,8	5,8	17,6	26,5	7,2	19,4	31,8
	$10^{-4} \text{ M}$	4,6	13,8	21,7	5,3	15,0	25,0	6,8	19,0	28,2
	$5 \times 10^{-3} \text{ M}$	2,1	9,3	18,3	2,6	10,0	19,8	3,0	10,4	22,1
$\text{NH}_4\text{Cl}$	$10^{-5} \text{ M}$	4,2	16,0	22,2	5,4	19,9	27,7	6,3	20,0	29,6
	$10^{-4} \text{ M}$	3,6	13,8	18,1	4,7	18,5	23,8	5,2	18,5	27,8
	$5 \times 10^{-3} \text{ M}$	1,6	10,0	18,0	2,3	11,9	21,3	3,3	14,6	24,9
$\text{CaCl}_2$	$10^{-5} \text{ M}$	3,2	13,5	26,6	3,7	18,2	26,3	4,6	19,9	31,2
	$10^{-4} \text{ M}$	1,4	8,7	23,2	2,0	9,9	25,2	2,7	10,3	29,0
	$5 \times 10^{-3} \text{ M}$	0,4	1,9	9,9	0,6	2,6	11,1	0,9	3,6	12,9
$\text{MgCl}_2$	$10^{-5} \text{ M}$	3,3	14,8	23,1	4,2	17,6	27,2	4,9	19,6	28,7
	$10^{-4} \text{ M}$	1,7	9,5	20,5	2,4	10,1	22,1	2,9	12,0	28,4
	$5 \times 10^{-3} \text{ M}$	0,5	2,6	9,8	0,9	3,8	12,5	1,2	4,1	14,8

maior efeito depressivo na absorção pelos cátions  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  nos três pH. Os valores de absorção encontrados não diferem muito entre ambos. O efeito é particularmente notável quando fornecidos nas concentrações de  $10^{-4}\text{M}$  e  $5 \times 10^{-3}\text{M}$ . No nível menor o efeito desses cátions não difere quase da absorção verificada na presença dos cátions monovalentes Na, K e  $\text{NH}_4$ . Igual resultado se obtém com o aumento da concentração de Zn e do pH.

Por outro lado, entre os cátions monovalentes, não se pode estabelecer uma ordem de influência sobre a absorção de Zn quando os níveis de Zn na solução são os mais elevados. No entanto, na mais baixa concentração ( $5 \times 10^{-6}\text{M}$ ) a tendência no efeito depressivo dá-se na seguinte ordem:  $\text{Na} > \text{NH}_4 > \text{K}$ . Esta sequência difere da encontrada por *CHAUDHRY e LONERAGAN (1972 a)*, que trabalhando com plantas de trigo verificaram a seguinte ordem de efetividade na inibição da absorção de Zn:  $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na}$ . A diferença encontrada pode ser devida a que estes pesquisadores trabalharam em condições experimentais diferentes, isto é, com solução nutritiva completa e no pH 5,6. Além disso, os cátions foram fornecidos na forma de nitrato.

No nível mais elevado de Zn ( $5 \times 10^{-4}\text{M}$ ) a redução na absorção deste elemento é pequena e semelhante em qualquer unidade de pH até a concentração dos cátions de  $10^{-4}\text{M}$ . Somente se observa um destacado efeito na diminuição da absorção quando em presença de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  na concentração de  $5 \times 10^{-3}\text{M}$ . Os resultados obtidos não concordam com os de *BOWEN (1969)* que encontrou que cátions alcalinos não tiveram efeito sobre a absorção de Zn.

*SCHMID, HAAG e EPSTEIN (1965)* encontraram uma grande redução da absorção de Zn por raízes destacadas de cevada, quando em presença de Ca.

Considerando a absorção de Zn em relação à variação do pH, observa-se em geral uma tendência de incremento na absorção acompanhando o pH. Somente nas duas menores concentrações de Zn e em presença do cátion Na se encontra que a absorção alcança o valor

máximo no pH 6, não se observando mais diferença com a absorção no pH 7 ou havendo apenas pequena redução.

Os resultados conseguidos concordam com os de *CHAUDHRY e LONERAGAN (1972 b)*, onde a absorção de Zn por plântulas de trigo aumentou ligeiramente com o incremento do pH na faixa de 5 a 7, inclusive trabalhando com concentrações mais elevadas de Ca que no presente trabalho. O efeito inibitório da concentração de H se deu a partir do pH 4, tendo sido caracterizado como uma inibição não competitiva.

Para constatar a natureza do efeito inibitório dos cátions sobre a absorção de Zn, os dados obtidos foram submetidos ao mesmo tratamento do mecanismo da cinética enzimática, que foi verificado ser aplicável à absorção de íons por *EPSTEIN e HAGEN (1952)*.

Com as recíprocas dos valores da absorção de Zn (v) e das concentrações de Zn no substrato (S) foi aplicada a equação de Lineweaver-Burk:

$$\frac{1}{v} = \frac{K_m}{V} \left( \frac{1}{S} \right) + \frac{1}{V}$$

que é equivalente à equação da linha reta

$$y = ax + b$$

De acordo com a equação, o valor  $1/V$  é o ponto de intercepção da reta no eixo da ordenada e  $K_m/V$  a sua inclinação.

Quando um inibidor é adicionado ao sistema, verificam-se aumentos tanto no ponto de intercepção como na inclinação da reta: a inibição é então de natureza não-competitiva.

Os valores de intercepção e da inclinação das retas calculadas a partir dos dados obtidos nos experimentos de absorção de Zn com cloretos e fosfatos dos diversos cátions, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Intercepção e inclinação da reta das recíprocas das velocidades de absorção de Zn e das concentrações de  $ZnCl_2$

Concentração do substrato		pH 5		pH 6		pH 7	
		1/V	Km/V	1/V	Km/V	1/V	Km/V
		$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-5}$
$NaH_2PO_4$	$10^{-5}M$	4,8	0,11	4,5	0,08	3,7	0,12
	$10^{-4}M$	3,8	0,24	4,9	0,10	5,2	0,14
	$5 \times 10^{-3}M$	7,9	0,37	13,7	0,28	14,3	0,28
NaCl	$10^{-5}M$	5,4	0,14	4,4	0,08	4,0	0,09
	$10^{-4}M$	4,7	0,16	4,2	0,12	4,2	0,12
	$5 \times 10^{-3}M$	6,8	0,32	4,6	0,24	5,1	0,28
$KH_2PO_4$	$10^{-5}M$	2,5	0,13	2,6	0,10	2,2	0,17
	$10^{-4}M$	3,1	0,15	2,7	0,12	2,8	0,13
	$5 \times 10^{-3}M$	3,6	0,43	5,2	0,28	4,4	0,39
KCl	$10^{-5}M$	4,5	0,07	4,4	0,06	3,7	0,05
	$10^{-4}M$	5,3	0,08	4,7	0,07	4,2	0,05
	$5 \times 10^{-3}M$	5,9	0,21	5,9	0,16	6,1	0,13
$NH_4H_2PO_4$	$10^{-5}M$	4,6	0,09	4,6	0,07	5,2	0,06
	$10^{-4}M$	5,4	0,10	4,7	0,07	5,6	0,06
	$5 \times 10^{-3}M$	8,2	0,25	7,0	0,24	14,6	0,22
$NH_4Cl$	$10^{-5}M$	4,9	0,09	4,0	0,07	3,7	0,06
	$10^{-4}M$	5,4	0,11	4,3	0,08	4,2	0,07
	$5 \times 10^{-3}M$	4,7	0,29	4,6	0,19	4,0	0,13
$Ca(H_2PO_4)_2$	$10^{-5}M$	3,1	0,16	2,3	0,13	2,2	0,15
	$10^{-4}M$	4,1	0,33	2,0	0,30	2,8	0,22
	$5 \times 10^{-3}M$	14,2	0,18	6,5	0,68	1,2	2,50
$CaCl_2$	$10^{-5}M$	4,4	0,13	4,0	0,11	3,4	0,09
	$10^{-4}M$	4,5	0,33	5,1	0,22	4,9	0,16
	$5 \times 10^{-3}M$	18,4	1,16	15,2	0,76	12,6	0,49
$Mg(H_2PO_4)_2$	$10^{-5}M$	3,4	0,15	4,0	0,12	3,3	0,15
	$10^{-4}M$	3,9	0,39	2,3	0,37	4,6	0,31
	$5 \times 10^{-3}M$	16,1	2,42	12,5	1,60	12,8	0,77
$MgCl_2$	$10^{-5}M$	4,8	0,12	3,7	0,10	3,6	0,08
	$10^{-4}M$	4,8	0,27	5,5	0,18	4,9	0,14
	$5 \times 10^{-3}M$	14,1	0,93	11,4	0,50	11,4	0,36
0		3,0	0,05	3,5	0,04	3,3	0,04



Comparando os valores da intercepção e da inclinação da reta dos tratamentos em que a absorção de Zn processou-se em presença dos diversos sais, com aquela em que só o Zn estava presente na solução, observa-se que todos os sais diminuíram não competitivamente a absorção de Zn e que a natureza do efeito não depende do pH. Entretanto, com a elevação do pH o efeito inibidor diminuiu ligeiramente.

Considerando os cátions, o tamanho do efeito foi mais marcado no caso dos cátions divalentes Ca e Mg, tanto na forma de fosfato como de cloreto. Não obstante, o efeito do  $Mg^{+2}$  foi superior ao do  $Ca^{+2}$  nos pH 5 e 6 quando na forma de fosfato, e o Ca superou o Mg quando presente na forma de cloreto, nos três pH.

Entre os cátions monovalentes, a tendência da inibição foi de  $K > Na > NH_4$  quando fornecidos como fosfato, e de  $Na > NH_4 > K$  na forma de cloreto.

Em geral, o fosfato exerceu uma maior inibição que o cloreto na absorção de Zn, independentemente do cátions acompanhante. O resultado concorda com *BOWEN (1969)* que mostrou o ânion  $H_2PO_4^-$  ter um forte efeito inibidor na absorção de Zn por folhas de cana-de-açúcar. Por outro lado, *CHAUDHRY e LONERAGAN (1972 a,c)* estudando a absorção de Zn por plântulas de trigo, encontraram diferenças muito pequenas entre os efeitos dos anionios  $Cl^-$  e  $H_2PO_4^-$ , verificando ainda uma marcada inibição não competitiva dos cátions Ca e Mg, sendo o efeito do  $Mg^{+2}$  superior ao  $Ca^{+2}$  em aproximadamente 30%.

### 5.3. Absorção de Zn em função da nutrição fosfatada prévia e de diversos valores de pH

Na Figura 1 apresenta-se a absorção de Zn pelas raízes destacadas de cevada, submetidas previamente à absorção de P fornecido em várias concentrações.

Como se pode observar, a absorção de Zn foi maior nas raízes que estiveram previamente em contato com as soluções de P, do que em aquelas sem P. Esse fato verifica-se independentemente da

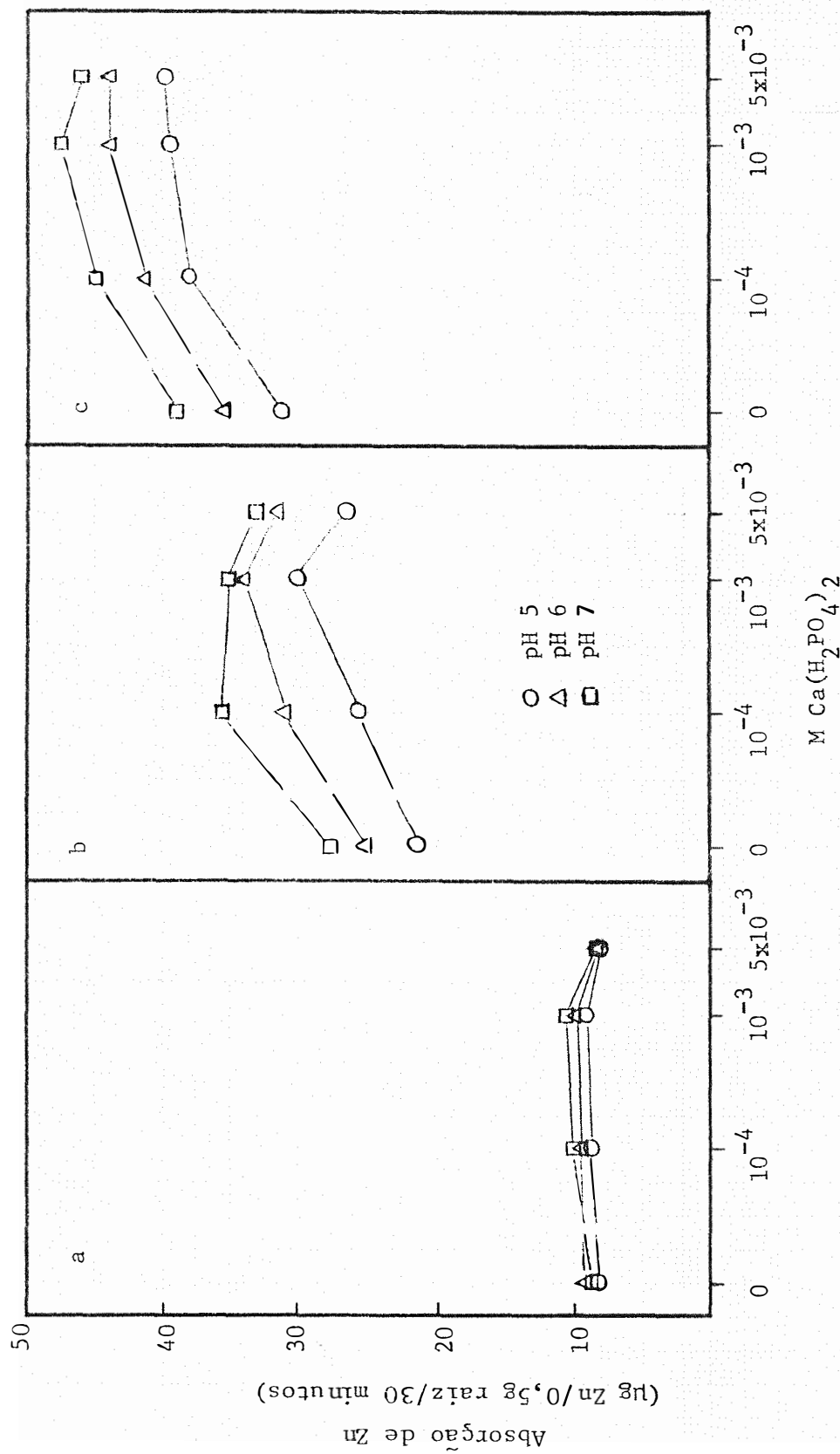


FIGURA 1 - Absorção de Zn por raízes destacadas de cevada em função da nutrição fosfatada prévia (3 dias) e do pH, em 3 concentrações de  $\text{ZnCl}_2$ ;

a)  $5 \times 10^{-6} \text{ M}$       b)  $5 \times 10^{-5} \text{ M}$       c)  $5 \times 10^{-4} \text{ M}$

concentração de Zn empregada e do pH.

A absorção de Zn aumenta até a concentração  $10^{-3}$  M de P, sofrendo posteriormente uma pequena redução com o incremento de P sem chegar a valores menores do que no tratamento sem P.

As raízes que se desenvolveram na concentração  $5 \times 10^{-3}$  M de P se apresentaram mais curtas e com bastante ramificação. É possível que essa concentração seja tóxica às raízes para o tempo em que permaneceram nelas.

Em relação ao pH, encontra-se que a absorção acompanhou o incremento de pH. Em geral, a maior absorção verificou-se no pH 7. Essa tendência foi também observada nos estudos com raízes destacadas quando a absorção processou-se em presença de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Entretanto, em relação ao efeito de concentração crescente de P é observado um fenômeno inverso: não se verificou a redução na absorção de Zn que foi observada quando o P e o Zn eram fornecidos juntos.

Os resultados obtidos indicam que o estado nutricional das raízes em P não influenciou na absorção de Zn e conseqüentemente confirma-se que a interação entre ambos os nutrientes está relacionada a um mecanismo antagônico na absorção, como é defendido por *LANGIN et al. (1962)* e *GANIRON et al. (1969)*.

#### 5.4. Efeito da nutrição fosfatada prévia na translocação de Zn

Na Figura 2 apresentam-se os resultados da porcentagem do total de Zn absorvido encontrado na parte aérea de 5 plantas de cevada, sob a influência da nutrição fosfatada prévia e do pH.

A porcentagem do elemento absorvido, encontrado na parte aérea da planta tem sido empregado como um índice de distribuição e o valor é referido como "índice de translocação" (*RUSSELL e MARTIN 1953*).

A diminuição da translocação de Zn devido ao aumento do fósforo fornecido previamente, é observada principalmente no pH 7. Essa diminuição não é drástica, pois os valores de Zn translocado

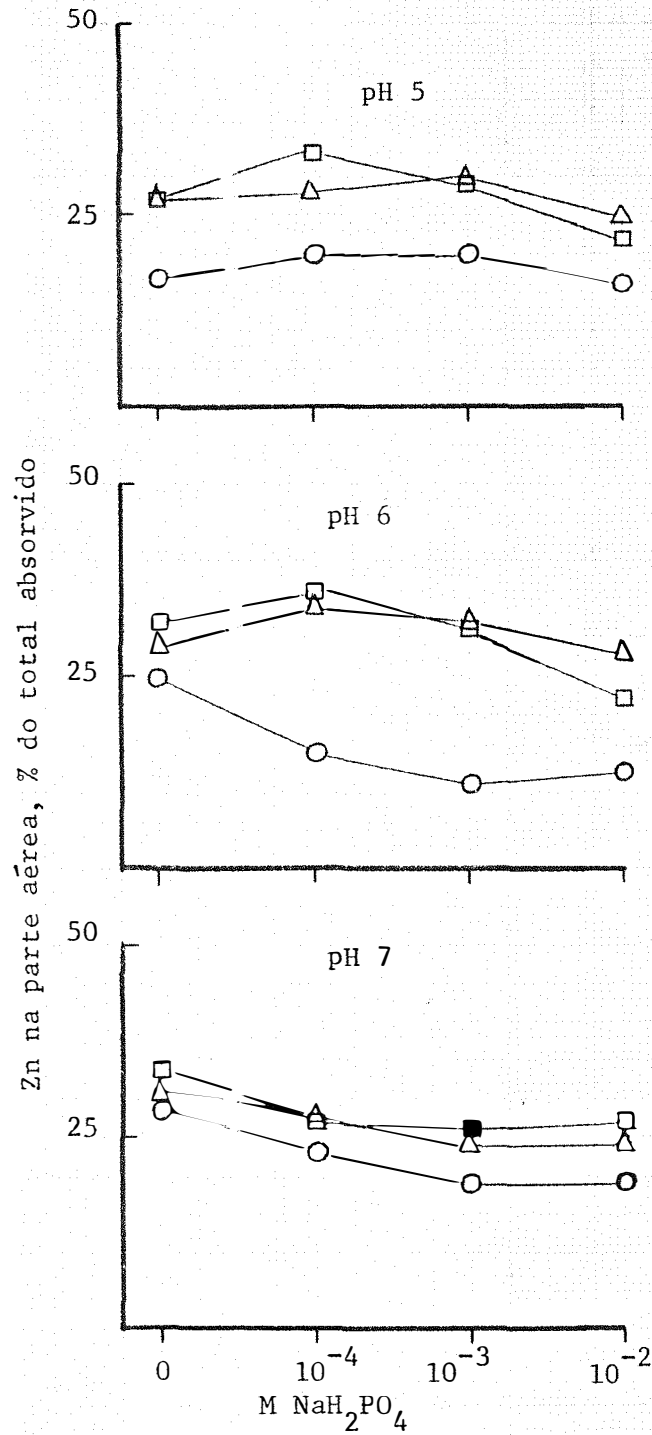


FIGURA 2 - Translocação de Zn em função da nutrição fosfatada prévia e do pH, em 3 concentrações de ZnCl<sub>2</sub>:

- : 5 x 10<sup>-6</sup> M
- △ : 5 x 10<sup>-5</sup> M
- : 5 x 10<sup>-4</sup> M

baixou de 30% do tratamento sem P para 20% com a maior concentração de P ( $10^{-2}$ M). Igual efeito é observado no pH 6, mas somente com a menor concentração de Zn ( $5 \times 10^{-6}$ M).

Por outro lado, nos demais tratamentos, o efeito do P na translocação somente verifica-se pela concentração de  $10^{-2}$ M, quando as plantas permaneceram na mais elevada concentração de Zn, mas esse efeito foi pequeno.

Por sua vez, observa-se que nas concentrações intermediárias de P fornecidas previamente, a translocação de Zn não é diminuída e ao contrário é estimulada no tratamento com  $10^{-4}$ M de P.

A concentração de  $10^{-2}$ M de P teve um efeito prejudicial no crescimento das raízes, sendo elas mais curtas que nos tratamentos com menos P.

Os experimentos de *STUKENHOLTZ et al. (1966)*, *SHARMA et al. (1968 a,b)*, *PAULSEN e ROTIMI (1968)* demonstraram que o P inibe a translocação de Zn. Esse efeito foi sugerido ao encontrar-se que a absorção de Zn não é afetada pelo fosfato, sendo, entretanto, a concentração de Zn nas folhas mais reduzida que a da raiz. *WARNOCK (1970)* também encontrou que o P reduz a relativa mobilidade do Zn dentro da planta.

Por outro lado, *BRODA (1965)*, trabalhando com plantas inteiras de cevada estudou a translocação de Zn durante uma semana. Este pesquisador encontrou que a partir do terceiro dia de cultura a translocação medida pela percentagem do total de Zn, encontrada nas folhas, permaneceu constante, em aproximadamente 20%, e que a relação das quantidades de Zn nas folhas e na raiz foi de 0,3.

*HAWF e SCHMID (1967)* encontraram valores de 19% e 27% do total de Zn absorvido na parte aérea em plantas intatas de feijão que permaneceram durante quatro dias em uma solução  $5 \mu\text{M}$  de  $\text{ZnCl}_2$ . Concluíram também que o principal efeito dos cátions Cu, Mn e Cd foi o de reduzir a absorção de Zn e não a sua distribuição interna.

Os valores encontrados no presente experimento não diferem muito daqueles pesquisadores, particularmente quando só o Zn foi fornecido na solução.

Como a tendência da redução da translocação somente é observada no pH 7 e essa redução não é da intensidade verificada nos experimentos com raízes destacadas, tudo leva a pensar que o principal efeito do P esteja na redução da absorção de Zn, e que o efeito na translocação seja cumulativo, principalmente quando a concentração de P é elevada e o pH do meio próximo a neutralidade.

#### 5.5. Efeito da adubação fosfatada, da calagem e do tipo de solo na absorção de Zn

A Figura 3 mostra o efeito da adubação fosfatada e da calagem no crescimento e na concentração de P e Zn de plantas de cevada cultivadas em três unidades de solo: Regosol (R), Latosol vermelho amarelo fase arenosa (LVa) e Latosol roxo (LR).

A produção de matéria seca da parte aérea das plantas foi maior com as aplicações de P, independentemente de os solos terem sido submetidos à calagem ou não. O crescimento das plantas foi no LR influenciado pelas aplicações crescentes de P, não se observando diferenças devidas à calagem. Este fato pode ser atribuído à boa saturação de bases que apresenta este solo, razão pela qual a quantidade de calcário necessária para atingir o pH 6,5 foi pequena.

No solo LVa observa-se uma crescente resposta no crescimento com 200 ppm de  $P_2O_5$  e com a aplicação adicional de P o incremento conseguido foi proporcionalmente menor. No solo Regosol a maior produção foi obtida com a dose de 200 ppm de  $P_2O_5$ .

Quando P foi omitido, as plantas apresentaram menor desenvolvimento e perfilhamento fraco com colmos finos. As folhas inferiores eram cloróticas e secavam a partir das pontas; o caule apresentava coloração avermelhada. Estes sintomas sugerem a ocorrência de deficiência de P, menos evidente no solo LR.

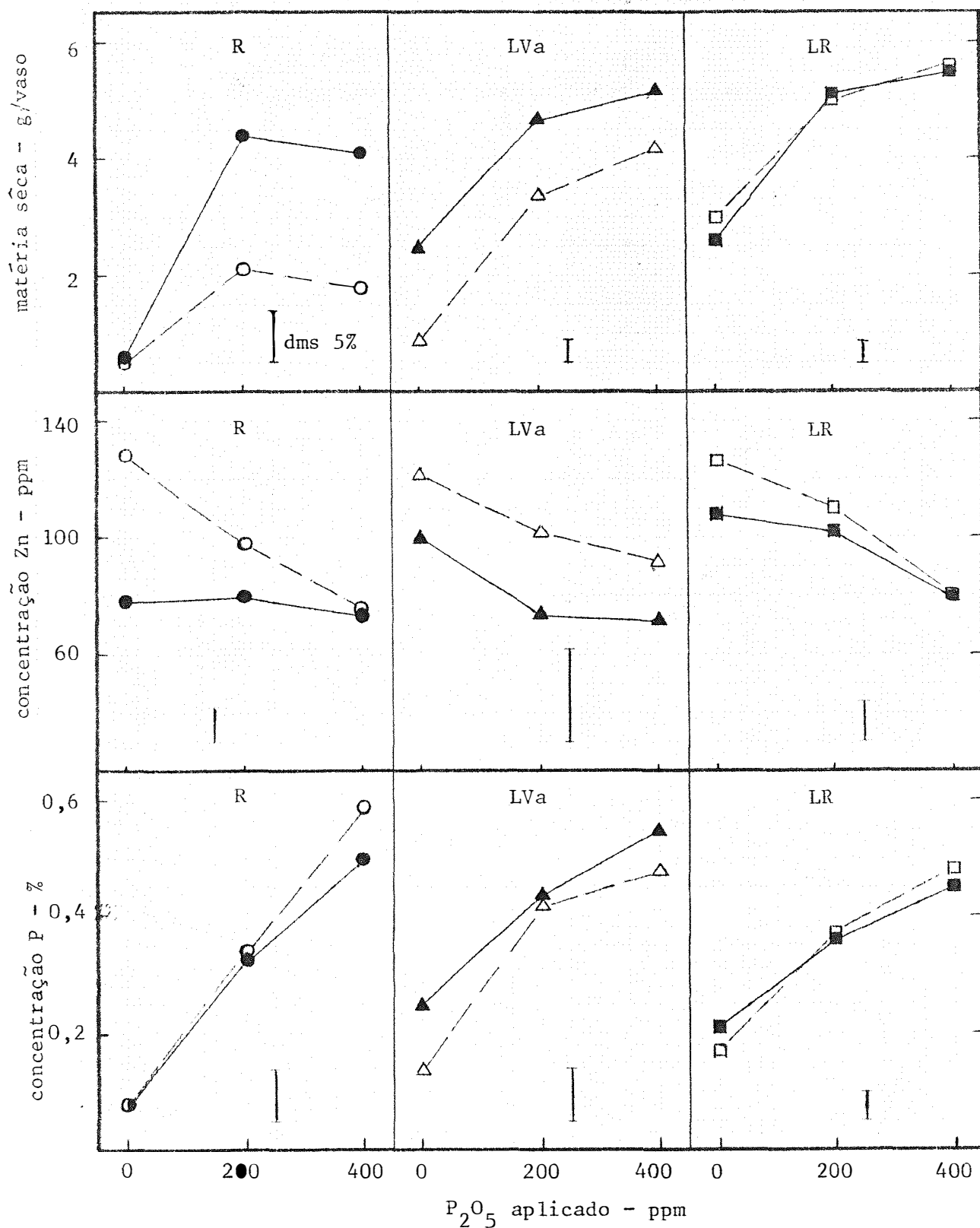


FIGURA 3 - Efeito da aplicação de P e da calagem no crescimento e na concentração de Zn e P da parte aérea de cevada

○ △ □ - sem calagem; ● ▲ ■ - com calagem

Enquanto no solo LVa a calagem estimulou a produção em todos os tratamentos, no Regosol observa-se um efeito significativo só quando o P foi aplicado. Ainda neste último solo, quando a sua acidez não foi corrigida, as folhas novas em emergência, apresentavam-se finas, rugosas e esbranquiçadas, secando posteriormente. As pontas permaneciam aderidas e não chegavam a soltar-se.

A resposta diferencial da planta à adubação fosfatada e à calagem entre os solos estudados, permite mostrar a importância das propriedades físicas e químicas dos mesmos. O crescimento das plantas, quando essas propriedades foram melhoradas, foi verificado com o LR. MELTON, ELLIS e DOLL (1970) cultivando feijão em 20 diferentes solos, encontraram variadas respostas à aplicação de P, Zn e à calagem.

A aplicação de P nos três solos aumentou a produção, sendo que no Regosol LVa o efeito foi maior quando a acidez foi corrigida.

A concentração de P no tecido aumentou quase linearmente com a adubação fosfatada, não encontrando-se diferenças significativas entre os tratamentos com e sem calagem.

A concentração de Zn, pelo contrário, diminuiu à medida do maior fornecimento de P aos solos. O teor de Zn na planta foi mais baixo quando os solos receberam calagem, notando-se esse efeito principalmente no LVa, enquanto que nos outros o efeito da calagem é mais acentuado quando o P não foi aplicado.

A aplicação de 200 ppm de  $P_2O_5$  aos solos promoveu um incremento no total de Zn absorvido (Figura 4). Baseado no fato de que o mesmo efeito é observado no crescimento das plantas, o decréscimo no teor de Zn neste tratamento pode ser atribuído a um efeito de diluição. Com a dose mais elevada de P a absorção total de Zn permaneceu constante no LVa e diminuiu no Regosol e LR, não correspondendo mais a um efeito de diluição, e sim ao de fosfato.

Uma correlação inversa significativa foi encontrada entre o teor de Zn e do P nas folhas e entre o P aplicado ao solo e a con-



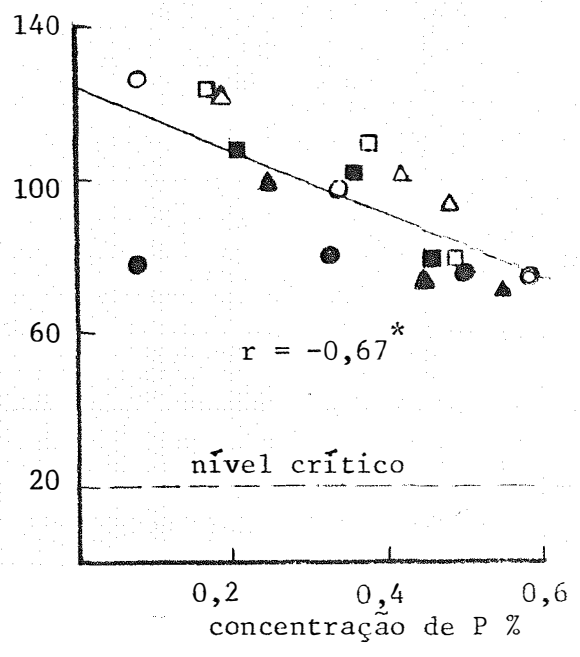
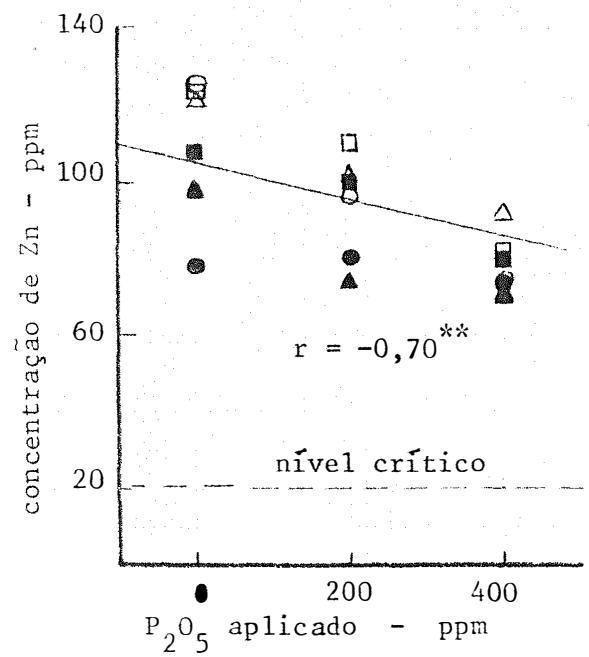
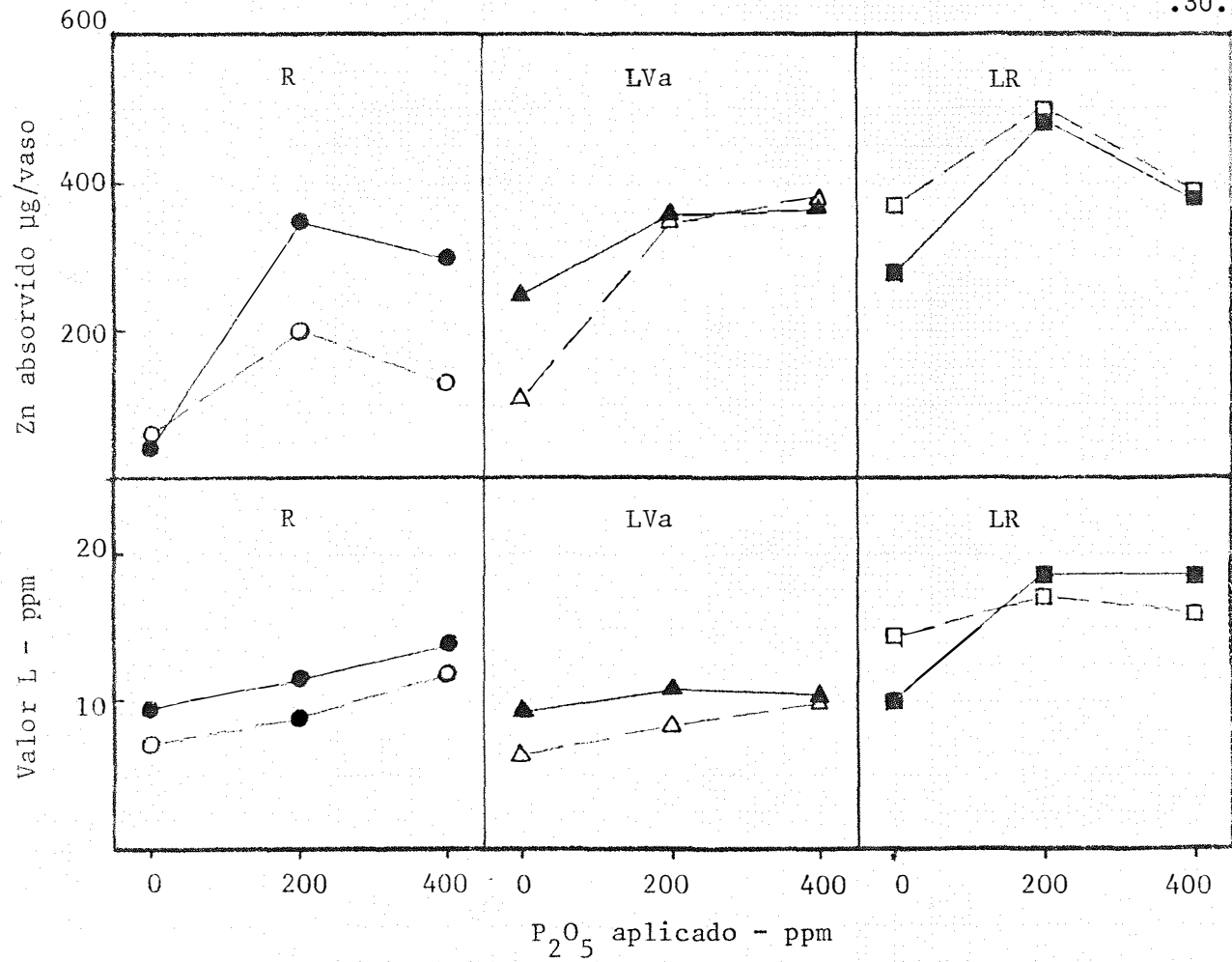


FIGURA 4 - Total Zn absorvido, Valor L e correlação entre as concentrações de P e Zn e entre a concentração de Zn e P aplicado.  
 ○△□ - sem calagem      ●▲■ -- com calagem:

centração de Zn na planta. (Figura 4). Entretanto, as quantidades de P aplicadas aos solos não foram suficientes para que a concentração de Zn no tecido seja reduzido até o nível crítico mais frequentemente achado na literatura, que é de 20 ppm (VIETS, BOAWN e CRAWFORD, 1954; MELTON, ELLIS e DOLL, 1970).

O fato de a calagem e o P afetarem desfavoravelmente a concentração de Zn foi constatado muito antes por ROGERS e WU (1948) usando plantas de aveia.

Os resultados obtidos por SHUKLA e MORRIS (1967) com milho e por PAULI, ELLIS e MOSER (1968) com feijão, mostraram que a calagem influi negativamente na concentração de Zn e no crescimento das plantas, sendo o último efeito inverso ao verificado no presente trabalho.

A redução no teor de Zn pelo calcário tem sido explicada como devida a uma redução na disponibilidade de Zn do solo. Já LOTT (1938) observou que o efeito tóxico do Zn às plantas de aveia era eliminado progressivamente com a aplicação de quantidades crescentes de calcário, não se observando mais esse efeito quando o pH do solo atingia o valor de 6,0.

STANTON e BURGER (1970) também verificaram a redução da disponibilidade de Zn, que era grande até o solo atingir o pH 6,5 e pequena com o incremento posterior do pH. Estes mesmos pesquisadores encontraram uma significativa diminuição na concentração de Zn pelo P, sendo o efeito mais marcado quando o pH do solo era de 6,5.

Posteriormente MEUER, LUDWICK e KUSSON (1971) observaram em solos do Brasil, que a calagem teve um maior efeito que o P na redução da absorção de Zn, e ainda encontraram que os sintomas de deficiência de Zn apareciam quando o solo tinha um pH de 6,3 ou mais elevado.

O fato de o incremento na concentração de P das plantas causado pela adubação fosfatada não ser afetada pela calagem, está em desacordo com os resultados de LANGIN *et al.* (1962) e JACKSON, HAY

e MOORE (1967). Estes pesquisadores encontraram uma relação inversa entre a calagem e o teor de P no tecido vegetal. Embora não conste do trabalho o pH atingido no meio de cultura, é possível que esse resultado seja devido a uma redução na disponibilidade de P causado pela calagem excessiva.

Com os dados obtidos no ensaio em vasos, foram calculados o valor L para o Zn dos solos.

O valor L foi proposto por LARSEN (1952) e indica a quantidade de nutriente do solo e da solução que é isotopicamente trocável com o mesmo nutriente aplicado ao solo, medida pela planta crescendo no sistema.

O valor L não difere matematicamente do valor A proposto por FRIED e DEAN (1952). Ambos os conceitos estão baseados no fato de que quando a planta está crescendo em um solo, a absorção de um nutriente (Zn) se processa tanto do solo como do fertilizante aplicado na proporção dada pela seguinte relação:

$$\frac{{}^{65}\text{Zn na planta}}{\text{Zn na planta}} = \frac{{}^{65}\text{Zn aplicado}}{\text{Zn aplicado} + \text{Zn do solo (L)}}$$

O valor L foi calculado aplicando-se a fórmula:

$$L = B \left( \frac{Sf}{Sp} - 1 \right)$$

sendo B a quantidade de Zn aplicada ao solo, Sf e Sp as atividades específicas do fertilizante e da planta, respectivamente.

Os resultados obtidos (Figura 4) mostram que o valor L foi afetado pela adubação fosfatada e pela calagem.

No Regosol, o valor L aumentou com a aplicação de quantidades crescentes de P e por efeito da calagem. No solo LVA observa-se um ligeiro aumento quando não foi feita a calagem, e com ela os

valores permaneceram constante.

O valor L no LR aumentou somente com a aplicação de 200 ppm de  $P_2O_5$ , permanecendo invariável com a dose adicional.

Quando os solos não receberam P, a calagem aumentou o valor L no Regosol e LVa, mas diminuiu no LR.

Os resultados obtidos no presente trabalho concordam com os de *MARINHO e IGUE (1972)* que estudando a absorção de Zn de solos vulcânicos, utilizando a mesma técnica verificaram em dois solos um incremento do valor L com a aplicação crescente de P, enquanto que em um terceiro solo o efeito do P mostrou uma tendência indefinida.

Ao término do experimento foram analisados os solos em sua concentração de Zn. As médias das concentrações deste elemento para os diferentes solos foram: Regosol, 14,0 ppm; LVa, 14,6 ppm e LR, 17,7 ppm de Zn.

O conteúdo de Zn em cada solo não variou com os diferentes tratamentos, indicando dessa maneira que o P não influenciou na disponibilidade de Zn do solo. Em consequência, a hipótese de que o P diminuiu a disponibilidade do Zn pela precipitação do elemento como fosfato insolúvel não foi constatada química nem biologicamente neste experimento; o efeito depressivo encontrado nas maiores doses de P deve, pois, ser semelhante ao encontrado com raízes destacadas.

## 6. RESUMO E CONCLUSÕES

Com a finalidade de estudar a influência do íon fosfatado no aproveitamento do zinco pelas plantas, foram realizados ensaios com raízes destacadas, plantas inteiras e com solos em casa de vegetação, usando a cevada (*Hordeum vulgare* L. var. breuns volla) como planta indicadora.

Os ensaios com raízes destacadas e com plantas inteiras foram feitos em três concentrações de Zn ( $5 \times 10^{-6}$ M,  $5 \times 10^{-5}$ M e  $5 \times 10^{-4}$ M) e nos pH 5, 6 e 7.

A absorção de Zn por raízes destacadas, de 7 dias de idade, foi estudada com 0,5 g de raiz no tempo de 30 minutos, em presença das concentrações  $10^{-5}$ M,  $10^{-4}$ M e  $5 \times 10^{-3}$ M de Na, K,  $\text{NH}_4$ , Ca e Mg, nas formas de fosfato e cloreto.

A absorção de Zn foi também estudada com raízes destacadas de plântulas que permaneceram crescendo previamente em soluções de fosfato de concentração crescente na forma monocálcica.

Com plantas inteiras foi estudada a translocação de Zn em função da nutrição fosfatada prévia, usando-se as seguintes concentrações de P: 0,  $10^{-4}$ M,  $10^{-3}$ M e  $10^{-2}$ M.

O efeito da adubação fosfatada e da calagem no aproveitamento do Zn foi estudado em três solos: Regosol, Latosol vermelho amarelo fase arenosa e Latosol roxo. Os níveis de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicados aos solos foram: 0, 200 e 400 ppm. A calagem foi feita visando os solos atingirem o pH 6,5. Em todos os tratamentos foi aplicado 10 mg de Zn por kg de solo. No ensaio empregaram-se 1000 g de solo por vaso, que receberam uma adubação complementar de todos os nutrientes essenciais. O ensaio foi colhido aos 45 dias.

Em todos os experimentos foi usado  $^{65}\text{Zn}$  como traçador.

As conclusões foram as seguintes:

a. Todos os sais causaram uma inibição não competitiva na absorção de Zn.

b. A natureza do efeito não depende do pH.

c. A inibição é maior quando o fosfato ou cloreto estão acompanhados dos cátions divalentes.

d. O efeito do fosfato foi maior que do cloreto na inibição da absorção de Zn.

e. O estado nutricional prévio das plantas em fosfato não diminui a absorção de Zn, tendo pequeno efeito depressivo na translocação quando se usaram baixas concentrações de Zn e altas de P.

f. A adubação fosfatada e a calagem diminuem a concentração de Zn na planta, não influenciando na disponibilidade de Zn no solo, avaliada por métodos químicos e biológicos.

## 7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

This paper deals with the results of experiments designed to study the nature of the effect of phosphate (P) ion on the absorption of zinc (Zn) by plants. Due to the conflicting results found in the literature the following working hypothesis were raised and checked:

- a. P decreases Zn levels in the top by interfering with its uptake at the root level;
- b. P decreases Zn uptake by roots due to precipitation at their surface;
- c. P decreases Zn content in the top by a negative effect on the upward movement of the absorbed element;
- d. P decreases Zn uptake in soil conditions by rendering it unavailable.

Experiments with excised roots and whole plants were conducted using barley as an indicator.

Experiments with excised roots and whole plants were carried out at three Zn concentrations ( $5 \times 10^{-6}M$ ,  $5 \times 10^{-5}M$  and  $5 \times 10^{-4}M$ ) at pH 5.0, 6.0, and 7.0. In the former trials 0.5 g of roots excised from 7 day old seedlings were used during an uptake period of 30 minutes; phosphates of Na, K,  $NH_4$ , Ca and Mg were used at the concentrations of  $10^{-5}M$ ,  $10^{-4}M$ , and  $5 \times 10^{-3}M$ . In order to better define a possible role of the accompanying cation same experiments were repeated replacing the phosphate by the chloride ion.

The effect of the internal P status of the plant both of the uptake and translocation was studied by using respectively roots excised from plants previously grown in phosphate solutions ( $10^{-4}M$ ,  $10^{-3}M$ , and  $5 \times 10^{-3}M$ ) and whole plants (0,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  and  $10^{-2}M$ ).

The influence of phosphatic fertilization was assessed by

supplying varying rates of P (0, 200, and 400 ppm) plus other macro and micronutrients in standard amounts to three soil types (Regosol, Red yellow Latosol sand phase and Red Latosol) in the presence and in the absence of lime.

In all experiments  $^{65}\text{Zn}$  was used as a tracer.

The main conclusions were the following:

- a. all salts used in soilless experiments reduced Zn uptake by non competitive inhibition;
- b. the size of the effect is pH dependent;
- c. inhibition is greater when either P or Cl are accompanied by a divalent cation;
- d. P effect is higher than Cl's;
- e. Precipitation of Zn by P in soilless medium may take place depending upon concentration and pH, the phenomenon occurring either in the medium itself or at the root surface;
- f. previous phosphatic nutrition did not decrease Zn uptake having, however, slight negative effect on translocation when high levels of the anion were used in the pretreatment combined with low concentrations of the micronutrient during the experimental period;
- g. phosphatic fertilization and liming decreased Zn concentration in the plant having no lowering effect on its availability in the soil as revealed by a chemical method, the first variable actually increasing absorption as determined by the "L" values thereof.



## 8. LITERATURA CITADA

- BAUER, A. - 1971 - Considerations in the development of soil tests for "available" zinc. *Soil Sci. and Plant Analysis* 2: 161-193.
- BINGHAM, F.T. - 1963 - Relation between phosphorus and micronutrients in plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27: 389-391.
- BINGHAM, F.T. e GARBER, M.J. - 1960 - Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 209-213.
- BINGHAM, F.T., MARTIN, J.P. e CHASTAIN, J.A. - 1958 - Effects of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of citrus. *Soil Sci.* 86: 24-31.
- BOAWN, L.C. e LEGGETT, G.E. - 1963 - Zinc deficiency of the Russet Burbank potato. *Soil Sci.* 95: 137-141.
- BOAWN, L.C. e LEGGETT, G.E. - 1964 - Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 229-232.
- BOAWN, L.C., VIETS, F.G. e CRAWFORD, C.L. - 1954 - Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. *Soil Sci.* 78: 1-7.
- BOAWN, L.C., VIETS, F.G., CRAWFORD, C.L. e NELSON, J.L. - 1960 - Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate, and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes, and sugar beets. *Soil Sci.* 30: 329-337.
- BOWEN, J.E. - 1969 - Absorption of copper, zinc, and manganese by sugarcane leaf tissue. *Plant Physiol.* 44: 255-261.
- BRODA, E. - 1965 - Mechanism of uptake of trace elements by plants (experiments with radiozinc). *In: Isotopes and radiation in soil-plant nutrition studies. Proceedings of a symposium, Ankara. Vienna, IAEA.* p. 207-216.

- BROWN, J.C. e TIFFIN, L.O. - 1962 - Zinc deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient-element balance in Tulare clay. *Agronomy J.* 54: 356-358.
- BURLESON, C.A., DACUS, A.D. e GERARD, C.J. - 1961 - The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25: 365-368.
- CATANI, R.A. e GALLO, J.R. - 1955 - Avaliação da exigência em cálcio dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a percentagem de saturação em bases. *Rev. Agric. Piracicaba* 30: 49-60.
- CHAPMAN, H.D. e PRATT, P.F. - 1961 - Methods of analysis for soils, plants and waters. Riverside, University of California, Div. of Agric. Sci. 309 p.
- CHAUDHRY, F.M. e LONERAGAN, J.F. - 1972 a. - Zinc absorption by wheat seedlings: I. Inhibition by macronutrients ions in short-term experiments and its relevance to long-term zinc nutrition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 323-327.
- CHAUDHRY, F.M. e LONERAGAN, J.F. - 1972 b. - Zinc absorption by wheat seedlings: II. Inhibition by hydrogen ions and by micronutrient cations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36: 327-331.
- CHAUDHRY, F.M. e LONERAGAN, J.F. - 1972 c. - Zinc absorption by wheat seedlings and the nature of its inhibition by alkaline earth cations. *Journal Exp. Bot.* 23: 552-560.
- ELLIS, R., DAVIS, J.F. e THURLOW, D.L. - 1964 - Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 83-86.
- EPSTEIN, E. - 1953 - Ion absorption by plant roots. *In: Proc. 4<sup>th</sup> Annual Oak Ridge Summer Symposium. U.S. Atomic Energy Comm.* p. 418-434.

- EPSTEIN, E. e HAGEN, C.E. - 1952 - A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.* 27: 457-474.
- EPSTEIN, E. e STOUT, P.R. - 1951 - The micronutrient cations iron, manganese, zinc, and copper: Their uptake by plants from the adsorbed state. *Soil Sci.* 72: 47-65.
- FREAD, M. e DEAN, L.A. - 1952 - A concept concerning the measurement of available soil nutrient. *Soil Sci.* 73: 263-271.
- GANIRON, R.B., ADRIANO, D.C., PAULSEN, G.M. e MURPHY, L.S. - 1969 - Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interaction in corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 306-309
- HAAG, H.P. e SARRUGE, J.R. - 1965 - Absorção de zinco por raízes das tacadas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Mundo novo). *Garcia de Orta* 13: 589-596.
- HAWF, L.R. e SCHMID, W.E. - 1967 - Uptake and translocation of zinc by intact plants. *Plant and Soil* 27: 249-260.
- HOAGLAND, D.R. e ARNON, D.I. - 1950 - The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, California Agric. Exp. Sta. Circular nº 347.
- JACKSON, T.L., HAY, J. e MOORE, D.P. - 1967 - The effect of zinc on yield and chemical composition of sweet corn in the Willamette Valley. *Amer. Soc. Hort. Sci., Proc.* 91: 462-471.
- JOSEPH, C., RATHORE, V.S., BAJAJ, Y.P.S. e WITWER, S.H. - 1971 - Mechanism of zinc absorption by intact bean plants. *Ann. Bot.* 35: 683-686.
- LANGIN, E.J., WARD, R.C., OLSON, R.A. e RHOADES, H.F. - 1962 - Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization: II. Lime and P placement effects on P-Zn relations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26: 574-578.
- LARSEN, S. - 1952 - The use of  $^{32}\text{P}$  in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 4: 1-10.

- LO, S.Y. e REISENAUER, H.M. - 1968 - Zinc nutrition of alfalfa. *Agronomy J.* 60: 464-466.
- LOTT, W.L. - 1938 - The relation on hydrogen-ion concentration to the availability of zinc in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 115-121.
- MALAVOLTA, E. - 1964 - Análises químicas dos teores totais. *In: Curso Internacional de Diagnose Foliar*. Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz", 36 p. (Mimeografado).
- MALAVOLTA, E. - 1967 - Manual de química agrícola. Adubos e Adubação. São Paulo, Editora Agronômica "Ceres" Ltda. 2a. ed. 606 p.
- MARINHO, M.L. e IGUE, K. - 1972 - Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic ash soils. *Agronomy J.* 64: 3-8.
- MARTIN, W.E., McLEAN, J.G. e QUICK, J - 1965 - Effect of temperature on the occurrence of phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 411-413.
- MELTON, J.R., ELLIS, B.G. e DOLL, E.C. - 1970 - Zinc, phosphorus, and lime interactions with yield and zinc uptake by *Phaseolus vulgaris*. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 91-93.
- MEUER, E.J., LUDWICK, A.E. e KUSSOW, W.R. - 1971 - Effect of lime and phosphorus on zinc uptake from four soils of Brazil. *Soil Sci. and Plant Analysis* 2: 321-327.
- MILLIKAN, C.R., HANGER, B.C. e BJARNASON, E.N. - 1968 - Effect of phosphorus and zinc levels in the substrate on  $^{65}\text{Zn}$  distribution in subterranean clover and flax. *Australian J. Biol. Sci.* 21: 619-640.
- NASON, A. - 1958 - The function of metals in enzyme systems. *Soil Sci.* 85: 63-77
- PAULI, A.W., ELLIS, R. e MOSER, H.C. - 1968 - Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. *Agronomy J.* 60: 394-396.

- PAULSEN, G.M. e ROTIMI, O.A. - 1968 - Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensitivity to phosphorus nutrition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 73-76.
- PIMENTEL GOMES, F. - 1970 - Curso de Estatística Experimental. Piracicaba, São Paulo, E.S.A. Luiz de Queiroz", 4a. edição, 430 p.
- PRASAD, K.G., SHUKLA, U.C. e SAFAYA, N.M. - 1971 - Effect of zinc application on phosphorus concentration and uptake in maize (*Zea mays* L.). *Indian J. Agric. Sci.* 41: 1068-1073.
- RATHORE, V.S., WITTWER, S.H., JYUNG, W.H., BAJAJ, Y.P.S. e ADAMS, M.W. - 1970 - Mechanism of zinc uptake in bean (*Phaseolus vulgaris*) tissues. *Physiol. Plant.* 23: 908-919.
- ROGERS, L.H. e WU, C. - 1948 - Zinc uptake by oats as influenced by application of lime and phosphate. *J. Amer. Soc. Agron.* 40: 563-566.
- RUDGERS, L.A., DEMETERIO, J.L., PAULSEN, G.M. e ELLIS, R. - 1970 - Interaction among atrazine, temperature and phosphorus-induced zinc deficiency in corn (*Zea mays* L.). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 240-244.
- RUSSELL, R.S. e MARTIN, R.P. - 1953 - A study of the absorption and utilization of phosphate by young barley plants. I. The effect of external concentration on the distribution of absorbed phosphate between roots and shoots. *Journal Exp. Bot.* 4: 108-127
- SCHMID, W.E., HAAG, H.P. e EPSTEIN, E. - 1965 - Absorption of zinc by excised barley roots. *Physiol. Plant.* 18: 860-869.
- SEATZ, L.F., STERGES, A.J. e KRAMER, J.C. - 1959 - Crop response to zinc fertilization as influenced by lime and phosphorus applications. *Agronomy J.* 51: 457-459.
- SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS - 1960 - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. R.J. Ministério de Agricultura. Boletim nº 12, 634 p.

- SHARMA, K.C., KRANTZ, B.A., BROWN, A.L. e QUICK, J. - 1968 a. -  
Interactions of Zn and P in top and root of corn and tomato.  
Agronomy J. 60: 453-456.
- SHARMA, K.C., KRANTZ, B.A., BROWN, A.L. e QUICK, J. - 1968 b. -  
Interactions of Zn and P with soil temperature in rice. Agronomy  
J. 60: 652-655.
- SHUKLA, U.C. e MORRIS, H.D. - 1967 - Relative efficiency of several  
zinc sources of corn (*Zea mays* L.). Agronomy J. 59: 200-202.
- SPENCER, W.F. - 1960 - Effects of heavy applications of phosphate  
and lime on nutrient uptake, growth, freeze injury, and root  
distribution of grapefruit trees. Soil Sci 89: 311-318.
- STANTON, D.A. e BURGER, R. DU T. - 1970 - Studies on zinc in  
selected Orange Free State soils. IV. Factors affecting the  
availability of zinc. Agrochemophysica 2: 33-39.
- STUKENHOLTZ, D.D., OLSEN, R.J., GOGAN, G. e OLSON, R.A. - 1966 -  
On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn  
nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 759-763
- TERMAN, G.L., ALLEN, S.E. e BRADFORD, B.N. - 1966 - Response of  
corn to zinc as affected by nitrogen and phosphorus fertilizers.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 119-124.
- THORNE, W. - 1957 - Zinc deficiency and its control. *In: Advances*  
*in Agronomy* 9: 31-65
- VIETS, F.G., BOAWN, L.C. e CRAWFORD, C.L. - 1954 - Zinc content of  
bean plants in relation to deficiency symptoms and yield. *Plant*  
*Physiol.* 29:76-79.
- WALSH, L.M., STEEVENS, D.R., SEIBEL, H.D. e WEIS, G.G. - 1972 -  
Effect of high rates of zinc on several crops grown on an  
irrigated plainfield sand. *Soil Sci. and Plant Analysis* 3:  
187-195.

WARD, R.C., LANGIN, E.J., OLSON, R.A. e STUKENHOLTZ, D.D. - 1963 - Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. III. Effects of soil compaction, moisture level and other properties on P-Zn relations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 326-330.

WARNOCK, R.E. - 1970 - Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 765-769.

WEAR, J.I. - 1956 - Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Sci. 81: 311-315.