EFEITO DO N, P e K NA DISPONIBILIDADE DO Zn NO
SOLO E NA SUA CONCENTRAÇÃO NA
PARTE AÉREA DO FEIJOEIRO

SALATIÉR BUZETTI

Orientador: Dr. TAKASHI MURAOKA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de
Concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1984

À minha família:

Egydio (in memorian)

*Diolina, Laerte, Adelaide, Ana Angélica,
Selma, Marco, Damião, Mário, Benedita,
Damiana, Alexandre e Ana Paula*

Ofereço

À

Wilma e Bruno

Dedico

AGRADECIMENTOS

- . O autor agradece a todos que colaboraram para a realização deste trabalho e em especial às seguintes pessoas e instituições:
- . Ao orientador e amigo Dr. Takashi Muraoka pelo bom convívio, apoio e orientação segura ao longo deste trabalho.
- . Aos Srs. José Roberto Martins, João Odemir Salvador, Dacir Bortoletto, Marileuza Aparecida Bassi, Sandra T.P. dos Santos, Aparecida Calegaro, Lurdes Aparecida Dário, Iolanda A. Ruffini, Fátima Patreze, Lenita M.C. Pacheco e Sandra Genaro Nicolleti, pelos auxílios na parte técnica.
- . Aos Professores Dr. Dilermando Perecin, Gener Tadeu Pereira, Walter Veriano Valério Filho, Marco Eustáquio de Sá, Mário Luiz Teixeira de Moraes, Antonio Orlando Mauro e Shizuo Senô, pela contribuição na parte estatística.
- . Ao Dr. Júlio Nakagawa pelo incentivo constante.
- . À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Campus de Ilha Solteira e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP - Piracicaba, pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação.

- . À Secção de Fertilidade do Solo pelo desenvolvimento do presente trabalho.
 - . À Secção de Radioquímica do CENA e ao Departamento de Química da ESALQ pela realização de parte das análises químicas.
 - . À CAPES/PICD pela bolsa de estudo concedida.
 - . À Maria Clara Espíndola e Sandra Aparecida Batista Perez pela dedicação constante junto a secretaria do Departamento de Agricultura da UNESP - Ilha Solteira.
- À Grafite pelos serviços de composição da dissertação.
- . Aos colegas do CENA: Paula Pinheiro Padovesi, Raffaella Rossetto, Paulo F.S. Martins, Celi Daghlían, Maria Aparecida Schiavuzo e Brigitte P. Eduardo e, da Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo convívio e amizade.
- E finalmente a todos que de alguma forma, contribuíram para o bom andamento deste trabalho.

Í N D I C E

	Pág.
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1. Nitrogênio x Zinco	3
2.2. Fósforo x Zinco	5
2.3. Potássio x Zinco	11
3. Material e Métodos	13
4. Resultados e Discussão	21
4.1. Fatores que afetam a disponibilidade de Zn no solo	21
4.1.1. Efeito de doses de N e PKCaMg na dis- ponibilidade de Zn no solo	21
4.1.2. Efeito de doses de P e NKCaMg na dis- ponibilidade de Zn no solo	28
4.1.3. Efeito de doses de K e NPCaMg na dis- ponibilidade de Zn no solo	38
4.2. Fatores que afetam a concentração de Zn na planta	47
4.2.1. Efeito de doses de N e PKCaMg na concentração de Zn na planta	47

4.2.2. Efeito de doses de P e NKCaMg na <u>con</u> centração de Zn na planta	61
4.2.3. Efeito de doses de K e NPCaMG na <u>con</u> centração de Zn na planta	74
5. Conclusões	87
6. Literatura Citada	90

EFEITO DO N, P E K NA DISPONIBILIDADE DO Zn NO SOLO E
NA SUA CONCENTRAÇÃO NA PARTE AÉREA

DO FEIJOEIRO.

Autor: Salatiêr Buzetti.

Orientador: Takashi Muraoka.

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, localizado em Piracicaba, SP. Utilizou-se a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Carioca' cultivada em um Latossolo Vermelho Escuro, textura média, do Município de Piracicaba e um Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras, do Município de São Carlos, em vasos de barro com 2,5 l de solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 3 x 3, com 3 experimentos em cada solo. Os experimentos foram: I- 3 doses de N x 3 doses PKCaMg; II- 3 doses de P x 3 doses de NKCaMg; III- 3 doses de K x 3 doses de NPCaMg; procurou verificar: a)- o efeito dos elementos N, P e K, aplicados ao solo e o pH, no teor de Zn disponível no solo e, b)- o efeito da concentração dos elementos N, P, K, Ca e Mg na planta, do peso de matéria seca, do teor de Zn disponível no solo, do pH e das doses aplicadas de N, P ou K, na concentração de Zn na planta.

Como resultados verificou-se que o teor de Zn disponível no solo pode variar de acordo com o solo em estudo, com as doses aplicadas de N, P ou K, além da aplicação de outros elementos. Para a concentração de Zn na planta, houve variação com as doses de N aplicadas nos dois solos e em todas as combinações com a mistura PKCaMg. Com as doses de P a concentração de Zn na planta variou quando essas doses foram testadas isoladamente, ou seja, sem a aplicação de outros elementos, ou quando em combinação com a dose dois da mistura NKCaMg, para ambos os solos. As doses de K exerceram efeito na concentração de Zn na planta, mesmo quando aplicada com ou sem a presença de outros elementos, nos dois solos em estudo.

EFFECT OF N , P AND K ON THE SOIL Zn AVAILABILITY AND ON THE Zn CONTENT IN THE BEAN PLANTS

Author: Salatiér Buzetti.

Adviser: Takashi Muraoka.

SUMMARY

This research was carried out in green-house, at CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura), Piracicaba, SP, Brasil. Feijão bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Carioca cultivar was grown in pots containing 2.5 l of medium texture Dark Red Latosol Soil, from Piracicaba and Red Yellow Podzolic soil Laras variation, from São Carlos. The experimental design utilized was a interely randomized 3 x 3 factorial, with three experiments in each soil: I) 3 dosis of N x 3 dosis of P, K, Ca and Mg; II) 3 dosis of P x 3 dosis of N, K, Ca and Mg; III) 3 dosis of K and 3 dosis of N, P, Ca and Mg. The objectives were to verify: a) the effect of elements applied to the soils and of the pH on the soil available zinc and, b) the effects of concentration of elements in the plants, dry matter yield, soil available zinc, soil pH, and dosis of applied N, P and K on the plant zinc content.

The results showed that the soil available zinc may vary according to the soil studied, with the dosis of applied N, P or K, besides the application of other elements. For the content of zinc in the plants, the effect varied with dosis of applied N in both soils and in all combination of P, K, Ca, Mg mixture. The content of Zn in the plant varied, for both soils, when the P dosis were tested isolately, that is, without application of other elements, and when in combination with the second dosis of the N, K, Ca e Mg mixture. The K dosis affected zinc content in the plant, even when applied with or without the presence of other elements, in both soils studied.

1. INTRODUÇÃO

O feijão é um dos alimentos básicos para a nossa população, representando para o País além do caráter econômico, um elemento de alto significado social. Constitui-se na maior fonte de proteína consumida pelos brasileiros, ocupando em 1983, entre as culturas exploradas, o quarto lugar em área cultivada (Anuário estatístico do Brasil, 1984).

Segundo RAMOS (1973), a produção de uma planta está em geral relacionada com uma série de características agrônômicas. Vários fatores dentre os quais, a nutrição mineral, podem influenciar estas características agrônômicas e consequentemente a produção, sendo portanto a fertilidade do solo, um dos fatores mais proeminentes da baixa produtividade da cultura.

Vários trabalhos mostrando o incremento na produtividade mediante o uso dos macronutrientes, tem sido relatados, entretanto a mesma importância não tem sido dada aos micronutrientes. Destes, o zinco parece ser elemento que mais limita

a produtividade do feijoeiro nos nossos solos, sendo este fato mais agravante quando se utiliza de adubações omitindo tal elemento, que é o que normalmente ocorre.

Existem várias citações comentando sobre a correlação direta em nutrição de plantas, entre a concentração de nutrientes disponíveis no meio e a soma deles acumulados nos tecidos das plantas. Entretanto, este relacionamento em certas condições, pode ser modificado durante o processo de absorção e translocação, devido às interações entre os nutrientes, o mesmo ocorrendo com a sua disponibilidade no solo. Tal modificação pode afetar a produção máxima de cada cultura, havendo para isto a necessidade de um perfeito equilíbrio entre os nutrientes fornecidos. Corroborando a importância das interações de nutrientes, OLSEN (1972) relata que a função fisiolôgica de um nutriente e o seu mecanismo de absorção no solo não pode ser estudado e interpretado isoladamente dos outros nutrientes.

Em assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo, verificar o efeito do N, P e K, dentro de 3 níveis de fertilidade, na disponibilidade do Zn em dois solos e na sua concentração em plantas de feijão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nitrogênio x Zinco

Os resultados obtidos em experimentos conduzidos com o objetivo de se verificar o efeito do nitrogênio sobre a disponibilidade do zinco no solo e a sua absorção pelas plantas, são contraditórios, variando dentre outros, com o tipo de solo, doses e fontes de nitrogênio aplicadas, além da cultura utilizada.

Com relação à disponibilidade de zinco no solo, há autores que verificaram diminuição nesta disponibilidade, tais como BOAWN *et alii* (1960) os quais citam que essa diminuição era devida ao aumento do pH, provocado pelos fertilizantes nitrogenados, embora tal efeito variasse com a cultura utilizada; também VIETS *et alii* (1957) citam o efeito do pH e TANAKA e ISHIZUKA (1969) reportam que essa baixa disponibilidade é devida à aplicação de uréia e cloreto de amônio.

Quanto ao aumento na disponibilidade, GIORDANO *et alii* (1966) , STANTON e BURGER (1970) e CHAUDHRY *et alii* (1974) citam o efeito do pH , devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados ácidos.

Para a absorção de zinco pelas plantas, REUTHER e SMITH (1950) e VIETS *et alii* (1957) concluíram que o nitrogênio pode induzir ou acentuar a deficiência de zinco em plantas, devido ao seu maior desenvolvimento; OZANNE (1955) cita que o zinco absorvido pode ficar retido nas raízes como complexo Zn - proteína, dificultando assim, a translocação do mesmo para a parte aérea; CHAUDHRY e LONERAGAN (1970) relatam que o nitrogênio diminuiu drasticamente a concentração de cobre e zinco na parte aérea e raiz de plantas de trigo, devido ao seu maior desenvolvimento tanto da parte aérea como do sistema radicular, havendo portanto maior absorção de cobre e zinco, mas a concentração foi diminuída devido ao efeito diluição. Estes últimos autores verificaram posteriormente que o nitrogênio aplicado na forma de nitrato de cálcio, diminuiu a absorção de zinco pelas plantas de trigo, e tal fato não ocorria quando o nitrato era substituído pelo cloro (CHAUDHRY e LONERAGAN, 1972). OLSEN (1972) citando vários autores, relata que a aplicação de nitrogênio tem sido mostrada como a possível causa da deficiência de zinco em plantas cítricas.

Por outro lado, SINGH e SINGH(1981) verificaram que a aplicação de 80 ppm de nitrogênio aumentou a concentração

de zinco em plantas de arroz, entretanto, a aplicação de 160 ppm não aumentou ou tendeu a diminuí-la quando comparada com a aplicação de 80 ppm; como explicação citam também o efeito diluição. THOMPSON (1962) cita que a fertilização nitrogenada tendeu a aumentar os teores de zinco em plantas de milho; STANTON e BURGER (1970) verificaram aumentos significativos na absorção do zinco pelo painço mediante a aplicação de NH_4NO_3 e TERMAN e ALLEN (1974) também verificaram aumentos na concentração de zinco em plantas de milho devido a aplicação de nitrogênio. SINGH e FRANKLIN (1974) citam que o fertilizante nitrogenado NH_4NO_3 quando aplicado juntamente com o zinco proporcionou alta absorção deste elemento pelas plantas de milho; o NaNO_3 aplicado separado ou juntamente com o zinco e o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ aplicado separado, teve apenas um pequeno efeito na absorção do zinco. Também SOLTANPOUR (1969) verificou aumento na absorção do zinco pela cultura da batata, utilizando o nitrogênio, o mesmo ocorrendo com PARKER (1962) e PUMPREY *et alii* (1963) com a cultura do milho, CHAUDHRY *et alii* (1977) com plantas de arroz cultivada em dois solos calcários, inundados e MURAOKA (1981) com a cultura do feijoeiro.

2.2. Fósforo x Zinco

Existe uma vasta literatura comentando sobre as relações fósforo e zinco, e as conclusões são as mais variadas possíveis, tanto no que tange à disponibilidade do zinco no so-

lo e na sua absorção pelas plantas, como na explicação dos mecanismos envolvidos.

Com respeito à disponibilidade de zinco, vários autores citam uma diminuição quando se testam doses de fósforo. Assim Misra e Misra (1969), Singh e Dartigues (1969), citados por KALYANASUNDARAM e MEHTA (1970) e MANDAL e HALDAR (1980) concluíram que a aplicação de fósforo causa efeito depressivo no conteúdo de zinco disponível no solo, sendo este efeito mais proeminente no zinco nativo do solo do que o aplicado; PRASAD *et alii* (1968), ELLIS *et alii* (1964), BADANUR e VENKATA RAO (1980), HULAGUR *et alii* (1980) e KHAN (1969), relataram também a menor disponibilidade de zinco no solo devido ao fósforo; SEATZ e JURINAK (1957) dá como explicação a formação de $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ como a causa da redução na disponibilidade; SHUKLA (1971) concluiu que as reações P - Zn são influenciadas pelas fontes de fósforo. Já BINGHAN e GARBER (1960), BOAWN *et alii* (1970), LINDSAY (1972) e REDDY *et alii* (1973) citam que a precipitação do zinco pelo fósforo, não é provavelmente devido ao fósforo induzindo a deficiência de zinco nas plantas, e sugere que o efeito do fósforo está na absorção do zinco do solo pelas raízes, mas por outro mecanismo e não pela precipitação de fosfato de zinco insolúvel. SPENCER (1960) concluiu que o zinco foi imobilizado no solo pelo fosfato; SANTOS (1971) relata também a formação de compostos de fosfatos de zinco, reduzindo assim a disponibilidade, o mesmo concluindo THORNE (1957), BINGHAN *et alii* (1958) e BINGHAN

(1963). Também MALAVOLTA (1980) relata que o fósforo causa: inibição não competitiva na absorção do Zn^{2+} , precipitação do zinco na superfície das raízes dependendo do pH do meio, além da diminuição no transporte de zinco para a parte aérea e diluição na concentração do zinco na matéria seca.

Por outro lado, alguns autores verificaram efeito positivo do fósforo na absorção do Zn. Assim, LAKER (1967) observou que a aplicação de 60 ppm de P proporcionou aumentos no conteúdo de zinco extraído do solo; PAULI *et alii* (1968) relatam que a alta concentração de fósforo aumentou o zinco extraído por água, sugerindo que o problema do fósforo induzindo a deficiência de zinco deve ser devido a reações que ocorre na planta e não no solo; ELSOKKARY *et alii* (1981) verificaram um significativo aumento nos teores de $(NH_4)_2CO_3$ EDTA extraíndo zinco, quando se aplicou o zinco somente ou com o fósforo. MARINHO e IGUE (1972) também verificaram que a aplicação de P aumentou a quantidade de Zn extraída pelo método do EDTA, embora esse aumento não ficou bem definido quando se utilizou o método do HCl; KEEFER e SINGH (1968) concluíram que a aplicação de fósforo aumentou o conteúdo do zinco do solo, solúvel em água e BROWN *et alii* (1970) verificaram pouca variação no teor de zinco do solo, com a aplicação de fósforo.

Com relação a interação P e Zn na absorção pelas plantas, há inúmeros trabalhos mostrando que o fósforo induz a deficiência de zinco, como os de BURLESON e PAGE (1967),

STUKENHOLTZ *et alii* (1966), WARNOCK (1970), SHARMA *et alii* (1968 a, b) e PAULSEN e ROTIMI (1968), os quais verificaram aumentos ou não da variação do teor de zinco das raízes, em detrimento ao das folhas, sugerindo assim um problema de mobilidade do elemento da raiz para a parte aérea. KHAN (1969), MARINHO e IGUE (1972) e LOPEZ GOROSTIAGA e MALAVOLTA (1974), relatam o efeito de diluição mediante a aplicação de P, em que a taxa de absorção de Zn não acompanha o desenvolvimento das plantas. BAHIA e BRAGA (1974), BOAWN e LEGGET (1964) e MILLIKAN (1963) citam um distúrbio metabólico nas células da planta, provocado pelo desequilíbrio entre o P e Zn, ou que, concentrações excessivas de fósforo interferem na função metabólica do zinco. Outros autores citam que a interação P - Zn, pode ocorrer na superfície das raízes, tais como STUKENHOLTZ *et alii* (1966), ELLIS *et alii* (1964) e MOTSARA (1974). CHAUDHRY e LONERAGAN (1972) e KEEFER e SINGH (1968) citam o efeito do fósforo na mudança da capacidade fisiológica da planta em absorver zinco. LOPEZ GOROSTIAGA e MALAVOLTA (1974) relatam o efeito do fósforo na translocação do zinco, além do efeito de diluição, já citado.

O fósforo causando diminuição na concentração de zinco nos tecidos das plantas encontra respaldos nos trabalhos de BURLERSON *et alii* (1961); BROWN e TIFFIN (1962); LANGIN *et alii* (1962); THOMPSON (1962); ELLIS *et alii* (1964); JACKSON *et alii* (1967); LO e REISENAUER (1968); SHARMA *et alii* (1968a); BROWN *et alii* (1970); RUDGERS *et alii* (1970); CHAUDHRY e SHARIF (1974);

TERMAN e ALLEN (1974); FAGÉRIA e ZIMMERMANN (1979); CHRISTENSEN e JACKSON (1982) e PATIL e SOMAWANSHI(1982). Já OLSEN (1972) cita que o fósforo inativando o zinco no solo pode não ser uma explicação satisfatória para a interação. Um efeito do fósforo na absorção do zinco pelas plantas no qual o fósforo atua no sítio de absorção ou, limitando a translocação ou mesmo a utilização do zinco pelas plantas, parece ser uma hipótese mais satisfatória. SOLTANPOUR (1969) cita a diminuição dos teores de zinco em batata somente quando o fósforo foi aplicado junto com o zinco, o mesmo não ocorrendo quando aplicados separadamente; SAFAYA e SINGH (1977) conduzindo experimentos com duas variedades de caupi, verificaram diferente susceptibilidade à indução de deficiência de zinco, com a aplicação de fósforo; GANIRON *et alii* (1969) citam a deficiência de zinco induzida pelo fósforo em "seedlings" de milho e o efeito da temperatura.

Por outro lado, alguns trabalhos mostram que o fósforo pode até mesmo aumentar a absorção de zinco pelas plantas, como os de WALLACE *et alii* (1974), os quais verificaram que a interação era negativa somente em condições de alta concentração de fósforo no meio e baixa concentração de zinco, o mesmo não ocorrendo quando se aumentava o nível de zinco, pois neste caso e, com altas doses de fósforo a planta absorvia mais zinco.

Outros autores não verificaram efeito do fósforo na nutrição mineral da planta em relação ao zinco, como: BOAWN *et alii*

(1954), REHM *et alii* (1980), SEATZ *et alii* (1959). Já, PAULI *et alii* (1968), relatam o efeito positivo do fósforo na absorção do zinco pelas plantas de feijoeiro; ORABI *et alii* (1981) verificaram aumento na absorção e conteúdo de zinco em plantas de milho com a aplicação de fósforo; BASAK *et alii* (1982) obtiveram os mesmos resultados com a cultura do arroz e, WALLACE *et alii* (1978) conduzindo experimento em solução nutritiva com cinco cultivares de soja em diferentes níveis de fósforo e pH, verificaram que em pH alto, aumentando a concentração de fósforo, havia uma diminuição na concentração de zinco nas raízes, caules e folhas. Em contraste, quando o pH era baixo, aumentando-se a concentração de fósforo, resultou em maior concentração de zinco, nas partes analisadas. YADAV e SHUKLA (1982) citam que a utilização e translocação de zinco pelas plantas foi aumentada consideravelmente com a aplicação de 25 ppm de P, o mesmo não ocorrendo com a aplicação de 250 ppm de P. ORABI *et alii* (1982) verificaram aumento de absorção de zinco pelas plantas de tomate, com a aplicação de fósforo em solo aluvial, quando não se aplicou o zinco. Em solo calcáreo a absorção de zinco foi aumentada com a aplicação de fósforo, mesmo o zinco sendo ou não aplicado no solo. EKSOKKARY *et alii* (1981), testando quatro doses de fósforo e três de zinco, verificaram que no tratamento sem a aplicação de zinco, a adição de fósforo aumentou a absorção de zinco pelas plantas de milho, entretanto com a aplicação de zinco a adição de fósforo diminuiu a absorção de zinco. LONERAGAN *et alii* (1979) verificaram que a apli

cação de um nível médio de fósforo em um solo podzólico, resultou em um aumento na absorção de zinco pelo trevo na ordem de 25 a 70% . SHARMA *et alii* (1968a) verificaram que a aplicação de 25 ppm de P aumentava a absorção de zinco em duas variedades de trigo mexicana, o mesmo não ocorrendo quando a dose de fósforo era aumentada para 100 ppm.

2.3. Potássio x Zinco

Com relação à aplicação de potássio na absorção de zinco pelas plantas, STUKENHOLTZ *et alii* (1966) citam que altas proporções de potássio diminuíram os efeitos adversos da absorção de fósforo ou zinco pelo milho; OLSON *et alii* (1965) relatam que altas concentrações de potássio trocável no solo diminuiu igualmente o efeito antagônico da absorção de fósforo ou zinco; WARD *et alii* (1963) conduzindo experimento em casa de vegetação com a cultura do milho, verificaram que numa alta porcentagem de saturação de potássio no solo, sem a aplicação de fósforo, havia uma redução na utilização de zinco pelas plantas e TERMAN e ALLEN (1974) verificaram que para a cultura do milho a aplicação de potássio diminuiu a concentração de zinco nas plantas. SHUKLA e MUKHI (1979) relatam uma relação triangular entre sódio, potássio e zinco, em plantas de milho, sendo que cada nutriente testado diminuiu a eficiência do outro no desenvolvimento e concentração no tecido.

Outros autores verificaram efeito sinérgico do potássio na absorção do zinco, tais como WEAR e PATTERSON (1965), os quais atribuíram essa causa ao efeito indireto do potássio na relação fósforo - zinco e GALLO *et alii* (1975) verificaram um aumento na concentração de zinco nas diferentes partes da planta de milho com a aplicação de potássio. TIWARI *et alii* (1982) conduzindo um experimento em campo com o objetivo de se verificar o efeito da aplicação de potássio e zinco em batata, concluíram que quando se aumentou o suprimento de potássio, houve efeito benéfico na absorção e translocação de zinco, indicando aí uma maior utilização do fertilizante contendo zinco. THOMPSON (1962) verificou aumento na concentração de zinco em folhas de milho mediante a aplicação de doses de até 30 kg / ha de K_2O , mas essa concentração foi reduzida quando se aplicou doses mais elevadas de potássio. Por outro lado, MURAOKA (1981) não verificou efeito do potássio na absorção de zinco em plantas de feijão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no ano de 1983, em casa de vegetação, pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, localizado em Piracicaba, SP. Para tal, utilizou-se vasos de barro com capacidade para 3 l, impermeabilizados internamente com neutrol. Fez-se uso de dois solos, provenientes de um Latossolo Vermelho Escuro, textura média, do Município de Piracicaba (LE) e de um Podzólico Vermelho Amarelo, Variação Laras, do Município de São Carlos (PV), ambos retirados a uma profundidade de 0 a 20 cm e com as características químicas como constam na Tabela 01. Os solos foram secos ao ar e peneirados em peneira com malhas de 5 mm de abertura, sendo posteriormente incubados em sacos de polietileno, com os corretivos. As doses dos corretivos foram baseadas em incubações feitas anteriormente, necessária para atingir um pH em torno de 6,0, isto nos tratamentos em que foi utilizado os corretivos, nos outros tratamentos a incubação constou apenas de solo e água. Após trinta dias de incubação, o solo foi colocado para secar ao ar

e peneirado novamente. Cada vaso recebeu 2,5 l de um dos dois solos, os quais receberam ou não corretivo, de acordo com o tratamento.

O trabalho constou de 3 ensaios, nos dois tipos de solos, sendo que cada ensaio teve 9 tratamentos, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado e um esquema fatorial 3×3 , com 4 repetições e os seguintes tratamentos: Experimento I: 3 doses de N x 3 doses de PKCaMg; Experimento II: 3 doses de P x 3 doses de NKCaMg; Experimento III: 3 doses de K x 3 doses de NPCaMg; como constam na Tabela 02.

As doses 0, 1 e 2 se referem respectivamente a 0 - 50 - 100 ppm de N (uréia) e K (cloreto de potássio) e 0 - 100 - 200 ppm de P (ácido fosfórico). Com relação ao Ca e Mg, as doses correspondentes são: 0 - 865 - 865 ppm de Ca e 0 - 280 - 280 ppm de Mg, para o solo LE e, 0 - 165 - 165 ppm de Ca e 0 - 55 - 55 ppm de Mg, para o PV. A dose 1 de Ca e Mg teve como fonte o óxido de cálcio e óxido de magnésio, com doses para elevar o pH do solo ao redor de 6,0. Para a dose 2, utilizou-se o cloreto de cálcio e o cloreto de magnésio na mesma proporção de Ca ou Mg contido nos corretivos. Após a adição do N, P, K (doses 1 e 2) e; Ca e Mg (dose 2), o solo foi misturado, posteriormente umedecido e semeadas cinco sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Carioca', por vaso.

Tabela 01. Características químicas dos solos utilizados*.

Solo	pH (H ₂ O)	C org. (%)	meq./100 g . de TFSA					ppm**	
			PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Zn
LE	5,0	0,86	0,023	0,07	0,15	0,08	0,76	4,86	1,95
PV	4,8	0,22	0,031	0,08	0,26	0,13	0,75	0,82	1,60

* segundo métodos descritos em CATANI e JACINTHO (1974)

** extrator utilizado: DTPA

Tabela 02. Experimentos utilizados no trabalho "Efeito do N ,
P e K na disponibilidade do Zn no solo e na sua
concentração na parte aérea do feijoeiro. . .

EXPERIMENTOS														
I					II					III				
N ₀	P ₀	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₀	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₀	K ₀	Ca ₀	Mg ₀
N ₁	P ₀	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₁	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₀	K ₁	Ca ₀	Mg ₀
N ₂	P ₀	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₂	K ₀	Ca ₀	Mg ₀	N ₀	P ₀	K ₂	Ca ₀	Mg ₀
N ₀	P ₁	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₀	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	K ₀	Ca ₁	Mg ₁
N ₁	P ₁	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	K ₁	Ca ₁	Mg ₁
N ₂	P ₁	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₂	K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	K ₂	Ca ₁	Mg ₁
N ₀	P ₂	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₀	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₂	K ₀	Ca ₂	Mg ₂
N ₁	P ₂	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₁	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₂	K ₁	Ca ₂	Mg ₂
N ₂	P ₂	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₂	K ₂	Ca ₂	Mg ₂	N ₂	P ₂	K ₂	Ca ₂	Mg ₂

Uma semana após a emergência foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Foram efetuadas irrigações diárias, não havendo necessidade de tratamentos fitossanitários. Os experimentos foram colhidos aos 30 dias após a emergência, sendo que a parte aérea do vegetal foi lavada, seca em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 60 a 70°C, até peso constante e avaliado esse parâmetro, após o que, o material foi moído em moinho tipo Willey passando em peneira de 20 mesh.

Após a moagem, 0,1 g do material foi utilizado para a determinação do N (método semi micro Kjeldahl) e 1,0 g para a digestão nítrica-perclórica, determinando-se P, K, Ca, Mg e Zn, segundo os métodos descritos em SARRUGE e HAAG (1974).

Com relação ao solo, foram amostrados cada vaso e colocado o solo para secar ao ar, passando posteriormente em peneira de 2 mm de abertura. Determinou-se o pH do solo (relação água:solo = 2,5:1) e o Zn disponível, segundo o método descrito em LINDSAY e NORVELL (1969).

Para a análise estatística, quando se analisou o Zn na planta, utilizou-se do método "Path Coefficients", proposto por WRIGHT (1921), onde os coeficientes de correlação simples entre a porcentagem de Zn na planta e as doses aplicadas de N ou P ou K, foram desdobrados em componentes de efeitos diretos e indiretos. Foram considerados além desses dois fatores, a porcentagem na planta de N, P, K, Ca, Mg, o teor de

matéria seca da parte aérea, o Zn disponível no solo e o pH.

Os "Path Coefficients" foram obtidos através das equações, como constam na Tabela 03. A obtenção dos efeitos diretos (P) foi feita através da expressão $Y = X\beta$, conforme a Tabela 04. Nas equações, os valores de P quantificam os efeitos diretos e representam os coeficientes de regressão parcial, e os efeitos indiretos são representados pelos efeitos diretos multiplicados pelo respectivo coeficiente de correlação simples. Através de equação abaixo obteve-se o coeficiente de determinação e a variância residual:

$$\begin{aligned}
 1 = & (P_{wg})^2 + (P_{1 \ 10})^2 + (P_{2 \ 10})^2 + (P_{3 \ 10})^2 + (P_{4 \ 10})^2 + (P_{5 \ 10})^2 + \\
 & + (P_{6 \ 10})^2 + (P_{7 \ 10})^2 + (P_{8 \ 10})^2 + (P_{9 \ 10})^2 + 2r_{1 \ 2} \cdot P_{1 \ 10} \cdot \\
 & P_{2 \ 10} + 2r_{1 \ 3} \cdot P_{1 \ 10} \cdot P_{3 \ 10} + 2r_{1 \ 4} \cdot P_{1 \ 10} \cdot P_{4 \ 10} + 2r_{1 \ 5} \cdot P_{1 \ 10} \cdot \\
 & P_{5 \ 10} + 2r_{1 \ 6} \cdot P_{1 \ 10} \cdot P_{6 \ 10} + 2r_{1 \ 7} \cdot P_{1 \ 10} \cdot P_{7 \ 10} + 2r_{1 \ 8} \cdot P_{1 \ 10} \cdot \\
 & P_{8 \ 10} + 2r_{1 \ 9} \cdot P_{1 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{2 \ 3} \cdot P_{2 \ 10} \cdot P_{3 \ 10} + 2r_{2 \ 4} \cdot P_{2 \ 10} \cdot \\
 & P_{4 \ 10} + 2r_{2 \ 5} \cdot P_{2 \ 10} \cdot P_{5 \ 10} + 2r_{2 \ 6} \cdot P_{2 \ 10} \cdot P_{6 \ 10} + 2r_{2 \ 7} \cdot P_{2 \ 10} \cdot \\
 & P_{7 \ 10} + 2r_{2 \ 8} \cdot P_{2 \ 10} \cdot P_{8 \ 10} + 2r_{2 \ 9} \cdot P_{2 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{3 \ 4} \cdot P_{3 \ 10} \cdot \\
 & P_{4 \ 10} + 2r_{3 \ 5} \cdot P_{3 \ 10} \cdot P_{5 \ 10} + 2r_{3 \ 6} \cdot P_{3 \ 10} \cdot P_{6 \ 10} + 2r_{3 \ 7} \cdot P_{3 \ 10} \cdot \\
 & P_{7 \ 10} + 2r_{3 \ 8} \cdot P_{3 \ 10} \cdot P_{8 \ 10} + 2r_{3 \ 9} \cdot P_{3 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{4 \ 5} \cdot P_{4 \ 10} \cdot \\
 & P_{5 \ 10} + 2r_{4 \ 6} \cdot P_{4 \ 10} \cdot P_{6 \ 10} + 2r_{4 \ 7} \cdot P_{4 \ 10} \cdot P_{7 \ 10} + 2r_{4 \ 8} \cdot P_{4 \ 10} \cdot \\
 & P_{8 \ 10} + 2r_{4 \ 9} \cdot P_{4 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{5 \ 6} \cdot P_{5 \ 10} \cdot P_{6 \ 10} + 2r_{5 \ 7} \cdot P_{5 \ 10} \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& P_{7 \ 10} + 2r_{5 \ 8} \cdot P_{5 \ 10} \cdot P_{8 \ 10} + 2r_{5 \ 9} \cdot P_{5 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{6 \ 7} \cdot P_{6 \ 10} \cdot P_{7 \ 10} + \\
& 2r_{6 \ 8} \cdot P_{6 \ 10} \cdot P_{8 \ 10} + 2r_{6 \ 9} \cdot P_{6 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{7 \ 8} \cdot P_{7 \ 10} \cdot P_{8 \ 10} + \\
& 2r_{7 \ 9} \cdot P_{7 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} + 2r_{8 \ 9} \cdot P_{8 \ 10} \cdot P_{9 \ 10} .
\end{aligned}$$

Onde, $(PW_g)^2 = R^2$ = coeficiente de determinação parcial de concentração de Zn na planta por W (variável residual) e $1 - R^2 = W$ = efeito residual da concentração de Zn por 1, 2, ... e 9; sendo 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, a concentração de N, P, K, Ca e Mg na planta; 6: o teor de matéria seca; 7: o teor de Zn disponível no solo; 8: o pH; 9 as doses de N, P ou K e 10: a concentração de Zn na planta.

Com relação ao Zn disponível no solo, fez-se inferências apenas às doses aplicadas de N, P ou K e da mistura de elementos NPKCaMg, omitindo-se o N ou P ou K, de acordo com o experimento; além do pH do solo. Procurou-se correlacionar apenas o efeito da reação do solo com o Zn disponível no solo, através da correlação simples, conforme descrito em PIMENTEL GOMES, 1982.

Tabela 03. Equações para a determinação dos "Path Coefficients"

$$\begin{bmatrix} r_1 10 \\ r_2 10 \\ r_3 10 \\ r_4 10 \\ r_5 10 \\ r_6 10 \\ r_7 10 \\ r_8 10 \\ r_9 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 10^+ r_1 2^P 10^+ r_1 3^P 10^+ r_1 4^P 10^+ r_1 5^P 10^+ r_1 6^P 10^+ r_1 7^P 10^+ r_1 8^P 10^+ r_1 9^P 10 \\ r_2 1^P 10^+ r_2 2^P 10^+ r_2 3^P 10^+ r_2 4^P 10^+ r_2 5^P 10^+ r_2 6^P 10^+ r_2 7^P 10^+ r_2 8^P 10^+ r_2 9^P 10 \\ r_3 1^P 10^+ r_3 2^P 10^+ r_3 3^P 10^+ r_3 4^P 10^+ r_3 5^P 10^+ r_3 6^P 10^+ r_3 7^P 10^+ r_3 8^P 10^+ r_3 9^P 10 \\ r_4 1^P 10^+ r_4 2^P 10^+ r_4 3^P 10^+ r_4 4^P 10^+ r_4 5^P 10^+ r_4 6^P 10^+ r_4 7^P 10^+ r_4 8^P 10^+ r_4 9^P 10 \\ r_5 1^P 10^+ r_5 2^P 10^+ r_5 3^P 10^+ r_5 4^P 10^+ r_5 5^P 10^+ r_5 6^P 10^+ r_5 7^P 10^+ r_5 8^P 10^+ r_5 9^P 10 \\ r_6 1^P 10^+ r_6 2^P 10^+ r_6 3^P 10^+ r_6 4^P 10^+ r_6 5^P 10^+ r_6 6^P 10^+ r_6 7^P 10^+ r_6 8^P 10^+ r_6 9^P 10 \\ r_7 1^P 10^+ r_7 2^P 10^+ r_7 3^P 10^+ r_7 4^P 10^+ r_7 5^P 10^+ r_7 6^P 10^+ r_7 7^P 10^+ r_7 8^P 10^+ r_7 9^P 10 \\ r_8 1^P 10^+ r_8 2^P 10^+ r_8 3^P 10^+ r_8 4^P 10^+ r_8 5^P 10^+ r_8 6^P 10^+ r_8 7^P 10^+ r_8 8^P 10^+ r_8 9^P 10 \\ r_9 1^P 10^+ r_9 2^P 10^+ r_9 3^P 10^+ r_9 4^P 10^+ r_9 5^P 10^+ r_9 6^P 10^+ r_9 7^P 10^+ r_9 8^P 10^+ r_9 9^P 10 \end{bmatrix}$$

Tabela 04. Expressão para obtenção dos efeitos diretos (P)

$$\begin{bmatrix} r_{1 \ 10} \\ r_{2 \ 10} \\ r_{3 \ 10} \\ r_{4 \ 10} \\ r_{5 \ 10} \\ r_{6 \ 10} \\ r_{7 \ 10} \\ r_{8 \ 10} \\ r_{9 \ 10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{1 \ 10} \\ y_{2 \ 10} \\ y_{3 \ 10} \\ y_{4 \ 10} \\ y_{5 \ 10} \\ y_{6 \ 10} \\ y_{7 \ 10} \\ y_{8 \ 10} \\ y_{9 \ 10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{1 \ 2} & r_{1 \ 3} & r_{1 \ 4} & r_{1 \ 5} & r_{1 \ 6} & r_{1 \ 7} & r_{1 \ 8} & r_{1 \ 9} \\ r_{2 \ 1} & 1 & r_{2 \ 3} & r_{2 \ 4} & r_{2 \ 5} & r_{2 \ 6} & r_{2 \ 7} & r_{2 \ 8} & r_{2 \ 9} \\ r_{3 \ 1} & r_{3 \ 2} & 1 & r_{3 \ 4} & r_{3 \ 5} & r_{3 \ 6} & r_{3 \ 7} & r_{3 \ 8} & r_{3 \ 9} \\ r_{4 \ 1} & r_{4 \ 2} & r_{4 \ 3} & 1 & r_{4 \ 5} & r_{4 \ 6} & r_{4 \ 7} & r_{4 \ 8} & r_{4 \ 9} \\ r_{5 \ 1} & r_{5 \ 2} & r_{5 \ 3} & r_{5 \ 4} & 1 & r_{5 \ 6} & r_{5 \ 7} & r_{5 \ 8} & r_{5 \ 9} \\ r_{6 \ 1} & r_{6 \ 2} & r_{6 \ 3} & r_{6 \ 4} & r_{6 \ 5} & 1 & r_{6 \ 7} & r_{6 \ 8} & r_{6 \ 9} \\ r_{7 \ 1} & r_{7 \ 2} & r_{7 \ 3} & r_{7 \ 4} & r_{7 \ 5} & r_{7 \ 6} & 1 & r_{7 \ 8} & r_{7 \ 9} \\ r_{8 \ 1} & r_{8 \ 2} & r_{8 \ 3} & r_{8 \ 4} & r_{8 \ 5} & r_{8 \ 6} & r_{8 \ 7} & 1 & r_{8 \ 9} \\ r_{9 \ 1} & r_{9 \ 2} & r_{9 \ 3} & r_{9 \ 4} & r_{9 \ 5} & r_{9 \ 6} & r_{9 \ 7} & r_{9 \ 8} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_{1 \ 10} \\ p_{2 \ 10} \\ p_{3 \ 10} \\ p_{4 \ 10} \\ p_{5 \ 10} \\ p_{6 \ 10} \\ p_{7 \ 10} \\ p_{8 \ 10} \\ p_{9 \ 10} \end{bmatrix}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fatores que afetam a disponibilidade de Zn no solo

4.1.1. Efeito de doses de N e PKCaMg na disponibilidade de Zn no solo

As análises de variância e coeficientes de variação, referentes à concentração de Zn disponível nos solos LE e PV, encontram-se na Tabela 05. Nas Tabelas 06, 07 e 08 estão apresentados os desdobramentos da análise de variância, em regressão linear e quadrática. Os coeficientes de correlação entre a concentração de Zn disponível e o pH do solo, estão inseridos na Tabela 09 e, na Figura 01 estão as curvas, equações de regressão e ponto de máximo, para a concentração de Zn disponível em relação a doses de N.

Tabela 05. Análises de variância e coeficientes de variação para doses de N e PKCaMg, referentes à concentração de Zn disponível (ppm) nos solos LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
N	2	0,0439*	0,0288
PKCaMg	2	1,4902**	4,9214**
N x PKCaMg	4	0,1197**	0,06345*
Tratamento	(8)	0,4434**	1,2693**
Resíduo	27	0,0130	0,0170
Coeficiente de variação		6,35	10,82

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 06. Desdobramento das análises de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn nos solos LE e PV, referente a doses de N dentro de PKCaMg na dose zero.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	0,0128	0,2048*
Regressão quadrática	1	0,0011	0,0193
Tratamento	(2)	0,0070	0,1120*
Resíduo	9	0,013	0,0170

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 07. Desdobramento das análises de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn nos solos LE e PV, referente a doses de N dentro de PKCaMg na dose um.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	0,1922**	0,0480
Regressão quadrática	1	0,0054	0,0104
Tratamento	(2)	0,0988*	0,0292
Resíduo	9	0,0130	0,0170

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 08. Desdobramento das análises de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn nos solos LE e PV, referente a doses de N dentro de PKCaMg na dose dois.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	0,1985*	0,0072
Regressão quadrática	1	0,1568*	0,0216
Tratamento	(2)	0,1776**	0,0144
Resíduo	9	0,0130	0,0170

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 09. Coeficientes de correlação entre a concentração de Zn disponível nos solos LE e PV, x pH do solo

Tratamentos	Coeficiente de correlação	
	LE	PV
Doses de N dentro de PKCaMg na dose zero	-0,44	-0,57
Doses de N dentro de PKCaMg na dose um	-0,76**	0,24
Doses de N dentro de PKCaMg na dose dois	-0,34	-0,18

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

FIGURA 01 - Curvas, equações de regressão e pontos de máximo e mínimo, referente a concentração de Zn nos solos LE e PV, em função das doses de N dentro de PKCaMg.

Para o solo LE, conforme a Tabela 05, verifica-se que houve efeito significativo das doses de N e PKCaMg, assim como da interação N x PKCaMg, ou seja, as doses de N influenciaram as doses de PKCaMg, quanto a concentração de Zn disponível no solo. No desdobramento (Tabela 06), observa-se que as doses de N dentro de PKCaMg na dose zero, não diferiram entre si quanto ao parâmetro analisado. Para as doses de N dentro de PKCaMg na dose um (Tabela 07) houve diferença significativa entre as doses de N testadas, com os dados se ajustando a equação de regressão linear, em relação à concentração de Zn disponível no solo, como se verifica pela figura 01 (Y_2). Houve portanto, um aumento na concentração de Zn no solo à medida que se aumentou a dose de N, na razão de 31.10^{-4} ppm de Zn a cada ppm de N aplicado. Para doses de N dentro de PKCaMg na dose dois (Tabela 08), também houve diferença significativa entre as doses de N, sendo que os dados se ajustaram à equação do 2º grau. Este efeito é ilustrado na Figura 01 (Y_3), onde se verifica aumento na concentração de Zn disponível no solo à medida que se aumentou a dose de N de 0 para 33,80 ppm e diminuída quando se aplicou doses mais elevadas deste elemento.

Quanto ao solo PV (Tabela 05), não houve efeito significativo quando se isolou doses de N, o mesmo não ocorrendo para doses de PKCaMg, e para a interação N x PKCaMg. No desdobramento houve apenas efeito significativo das doses de N dentro da dose zero de PKCaMg (Tabela 06), com um efeito linear

crescente de 32.10^{-4} ppm de Zn para cada ppm aplicado de N, conforme ilustrado na Figura 01 (Y_1). As doses de N dentro de PKCaMg nas doses um e dois não foram significativas, ou seja, não influenciaram a disponibilidade de Zn no solo.

Por outro lado, há de se frisar que, as respostas à disponibilidade de Zn nos solos LE e PV são distintas, quando se testam doses de N e PKCaMg. No solo LE foram significativas as doses de N dentro de PKCaMg nas doses um e dois, mas não na dose zero; ao passo que para o solo PV, somente foi significativo o efeito das doses de N dentro de PKCaMg na dose zero, não o sendo em relação às doses de N dentro de PKCaMg nas doses um e dois.

Esses resultados mostram que as doses de N, além de afetar diferentemente a disponibilidade de Zn nos solos LE e PV, esse efeito também pode variar, quando se variam outros elementos. Em assim sendo, as doses de N podem não afetar a disponibilidade de Zn no solo, quando a aplicação for feita isoladamente, no solo LE, isto é, não havendo aplicação de PKCaMg nesses tratamentos, o mesmo ocorrendo quando se testou doses de N dentro de PKCaMg nas doses um e dois, no solo PV.

Por outro lado, as doses de N podem diminuir ou aumentar a disponibilidade de Zn no solo, como se verifica na Figura 01 (Y_3) com um ponto de máximo de 33,80 ppm de N. Essa variação na disponibilidade de Zn no solo foi devida ao efeito da reação do solo, tendo o Zn disponível se correlacionado com o pH

(-0,76**), como se verifica na Tabela 09. Tal resultado corrobora os obtidos por THORNE (1957), onde é citado que altas doses de N provocam diminuição na concentração de Zn disponível no solo.

Com relação ao aumento na disponibilidade de Zn no solo, tal fato pode ser verificado na Figura 01 (Y_1 , Y_2 e Y_3 até a aplicação de 33,80 ppm de N). Esse aumento para os tratamentos das doses de N dentro de PKCaMg na dose zero (Y_1), no solo PV e doses de N dentro de PKCaMg na dose um (Y_2), no solo LE, foi devido ao N aplicado e não à reação do solo, uma vez que o pH não se correlacionou com o Zn disponível do solo (Tabela 09). Esses resultados concordam com os obtidos por CHAUDHRY e KAUSAR (1977), no que tange ao aumento de disponibilidade, mas não com a explicação, onde é citado que uma das prováveis causas desse aumento, é o aumento de solubilidade do Zn no solo; também CHAUDHRY e LONERAGAN (1970) têm o mesmo argumento para tal justificativa.

4.1.2. Efeito de doses de P e NKCaMg na disponibilidade de Zn no solo

Na Tabela 10 encontram-se as análises de variância e coeficientes de variação, referentes a concentração de Zn disponível nos solos LE e PV. Nas Tabelas 11, 12 e 13, constam-se os desdobramentos das análises de variância, em re-

Tabela 10: Análises de variância e coeficientes de variação para doses de P e NKCaMg, referente à concentração de Zn disponível (ppm), nos solos LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
P	2	0,2594**	0,0071
NKCaMg	2	0,4392**	4,0160**
P x NKCaMg	4	0,2073**	0,0185
Tratamento	(8)	0,2783**	1,0150**
Resíduo	27	0,0208	0,0125
Coeficiente de variação		8,78	8,67

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 11. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo LE, referente a doses de P dentro de NKCaMg na dose zero.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,2415**
Regressão quadrática	1	0,0007
Tratamento	(2)	0,1211*
Resíduo	9	0,0208

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 12. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo LE, referente a doses de P dentro de NKCaMg na dose um.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,0325
Regressão quadrática	1	0,0009
Tratamento	(2)	0,0167
Resíduo	9	0,0208

Tabela 13. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo LE, referente a doses de P dentro de NKCaMg na dose dois.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,1984**
Regressão quadrática	1	0,8740**
Tratamento	(2)	0,5362**
Resíduo	9	0,0208

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

gressão linear e quadrática. Os coeficientes de correlação entre a concentração de Zn disponível e o pH do solo estão apresentados na Tabela 14 e, na Figura 02 são ilustradas as curvas, equações de regressão e ponto de mínimo, para a concentração de Zn disponível x doses de P.

Para o solo LE (Tabela 10), verifica-se que houve efeito significativo das doses de P e NKCaMg, havendo também, efeito significativo da interação P x NKCaMg, ou seja, as doses de P influenciaram as doses de NKCaMg quanto ao parâmetro analisado. Com o desdobramento (Tabela 11), detectou-se efeito significativo das doses de P dentro de NKCaMg na dose zero, com um efeito linear, de maneira que, aumentando-se a dose de P, diminuiu-se a concentração de Zn disponível na razão de $17,7 \cdot 10^{-4}$ ppm de Zn a cada ppm de P aplicado (Fig. 02, Y_1). Para doses de P dentro de NKCaMg na dose um, não houve efeito significativo na disponibilidade de Zn (Tabela 12). Com relação às doses de P dentro de NKCaMg na dose dois, houve um efeito quadrático na concentração de Zn disponível (Tabela 13) com o ponto de mínimo sendo atingido na concentração de 113,84 ppm de P, conforme se visualiza na Figura 02 (Y_2).

Quanto ao solo PV (Tabela 10), não observou-se efeito significativo das doses de P, tanto isoladamente como em interação com NKCaMg, mesmo feito o desdobramento (Tabela 15). Para doses da mistura NKCaMg houve efeito significativo, ou seja, há um comportamento diferente entre essas doses, no que se

Tabela 14. Coeficientes de correlação entre a concentração de Zn disponível nos solos LE e PV, x pH do solo.

Tratamentos	Zn x pH	
	LE	PV
Doses de P dentro de NKCaMg na dose zero	0,22	
Doses de P dentro de NKCaMg na dose um	-0,29	
Doses de P dentro de NKCaMg na dose dois	0,36	
Doses de P dentro de NKCaMg nas doses zero, um e dois		-0,91**

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

FIGURA 02 - Curvas, equações de regressão e ponto de mínimo referente a concentração de Zn no solo LE, em função das doses de P dentro de NKCaMg.

refere à disponibilidade de Zn no solo, sendo que a dose um de NKCaMg diminuiu significativamente o parâmetro analisado, quando se compara com as doses zero e dois (Tabela 16). Isto já era esperado uma vez que a dose um inclui material corretivo de acidez, o mesmo não ocorrendo nas doses zero e dois, tanto é, que essa disponibilidade foi função do pH do solo, com o qual se correlacionou ($-0,91^{**}$), conforme a Tabela 14.

Com relação aos dois solos, observa-se um comportamento diferente das doses de P em relação à disponibilidade de Zn. Verifica-se que no solo LE houve diferença significativa entre as doses de P dentro de NKCaMg nas doses zero e dois, o mesmo não ocorrendo para doses de P dentro de NKCaMg na dose um; ao passo que para o solo PV, não houve diferença significativa entre as doses testadas de P. Isto mostra respostas distintas com a aplicação de doses de P, em relação à concentração de Zn nos dois solos ou, quando se varia outros elementos; podendo as doses de P, diminuir, aumentar, ou mesmo não afetar a disponibilidade de Zn.

Como diminuição na disponibilidade de Zn no solo LE, quando se aplicou doses de P dentro de NKCaMg na dose zero, tal fato foi devido ao efeito das doses de P, uma vez que o pH não se correlacionou com o Zn disponível do solo ($r = 0,22$), como consta na Tabela 14. Para doses de P dentro de NKCaMg na dose dois, a mesma explicação pode ser dada, pois o pH também não se correlacionou com o Zn disponível do solo ($r = 0,36$). Esses resul-

Tabela 15. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo PV, referente a doses de P dentro de NKCaMg nas doses zero, um e dois.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,01417
Regressão quadrática	1	0,0093
Tratamento	(2)	0,0071
Resíduo	9	0,0125

Tabela 16. Efeito das doses de NKCaMg na concentração de Zn disponível (ppm) no solo PV.

Tratamentos	Médias
NKCaMg na dose zero	1,61 a
NKCaMg na dose um	0,62 b
NKCaMg na dose dois	1,64 a
dms	0,21

dms = diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

tados em que há diminuição na disponibilidade de Zn no solo, com aplicação de P, concordam com os obtidos por BINGHAN (1963), que trabalhando com a cultura do milho concluiu que o fósforo diminuía a disponibilidade de Zn no solo; também Misra & Misra (1969) e Singh & Dartigues (1969), citados por KALYANASUNDARAM e MEHTA (1970) relatam que a aplicação de P tem um efeito depressivo na disponibilidade de Zn no solo; KEEFER *et alii* (1967) relatam que a reação do P com o solo torna o Zn menos disponível; MANDAL & HALDAR (1980), estudando o efeito da aplicação de três níveis de P (0, 50 e 100 ppm) em três tipos de solos incubados em laboratório, verificaram que havia diminuição na disponibilidade de Zn no solo com a aplicação de P, e que o efeito depressivo do P na extração do Zn foi mais proeminente no Zn nativo do solo do que o aplicado; PRAZAD *et alii* (1968), HULAGUR *et alii* (1975), ELLIS *et alii* (1964), KALYANASUNDARAM & MEHTA (1979) e BADANUR & VENKATA RAO (1980), relatam que a aplicação de altas doses de P reduz a disponibilidade de Zn no solo. SEATZ & JURINAK (1957) concluem que a diminuição na disponibilidade de Zn deve ser devido a formação de $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$. SINGH & SINGH (1980) relatam apenas que o P e Zn se comportam antagonicamente tanto em solos saturados como em solos não saturados. HALDAR & MANDAL (1981) estudando em casa de vegetação o efeito da aplicação de P e Zn, concluíram que a aplicação de P diminuía a concentração de Zn nas raízes e parte aérea do arroz, e que esta diminuição era devida à menor disponibilidade do Zn no solo. KHAN (1969), estudando em casa de

vegetação a resposta do milho doce e arroz à aplicação de P, Zn e CaCO_3 , verificou que em condições de solo inundado tanto o P como o CaCO_3 reduziu o conteúdo de Zn extraído dos solos. Spencer (1960), citado por PAULI *et alii* (1968), verificou que o superfosfato imobilizava o Zn no solo, diminuindo a concentração de Zn das raízes e das folhas. LANGIN *et alii* (1962) citam que o problema de deficiência de Zn se agrava mediante a aplicação de P, ou em pH alto onde a disponibilidade de Zn é diminuída.

Doses de P podem também aumentar a disponibilidade de Zn, como se verifica pela Figura 02 (Y_2), a partir da aplicação de 113,84 ppm de P. Tal fato não é devido ao pH do solo, com o qual não se correlacionou (Tabela 14). Esse resultado concorda com os obtidos por BINGHAN & GARBER (1960) onde é citado que o excesso de P resultou em um aumento da solubilidade de Zn, citam ainda a não precipitação do Zn pelo fosfato. ELSOKKARY *et alii* (1981), estudando a aplicação de altas doses de P (100 - 200 - 400 ppm) e 12,5 e 25 ppm de Zn, concluíram que a aplicação de P aumentou o conteúdo de Zn extraído com $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ - EDTA. MARINHO & IGUE (1972), trabalhando em três solos considerados deficientes em Zn, verificaram um aumento na quantidade de Zn extraído pelo método do EDTA, pela aplicação de P, embora não houvesse nenhuma tendência definitiva no caso do método do HCl.

Por outro lado, doses de P podem não afetar a disponibilidade de Zn no solo. Tal fato se verifica na Tabela 12 , quando se testou doses de P dentro de NKCaMg na dose um, ou mesmo na Tabela 10 , onde doses de P não influenciaram a disponibilidade de Zn, tanto quando as doses de P foram isoladas, como em interação com NKCaMg . Esses resultados concordedam com os obtidos por BOAWN *et alii* (1954); JAMISON (1943) ; OLSEN (1965) ; STUKENHOLTZ (1966) e BINGHAN (1963) , os quais citam que a aplicação de P não tem efeito na disponibilidade de Zn no solo.

4.1.3. Efeito de doses de K e NPCaMg na disponibilidade de Zn no solo

As análises de variância e coeficientes de variação, referentes à concentração de Zn disponível nos solos LE e PV , estão inseridas na Tabela 17 . Na Tabela 18 encontra-se o desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática e na Tabela 19 o efeito das doses de NPCaMg na concentração de Zn disponível; para o solo LE. Os coeficientes de correlação para os dois solos, entre o pH e a concentração de Zn disponível, encontram-se na Tabela 20 , e nas Tabelas 21 , 22 e 23 estão apresentados os desdobramentos da análise de variância referente à concentração de Zn disponível no solo PV , em relação às doses de K x NPCaMg , nas doses zero,

Tabela 17. Análises de variância e coeficientes de variação para doses de K e NPCaMg, referente a concentração de Zn disponível (ppm), nos solos LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
K	2	0,0017	0,3463**
NPCaMg	2	0,8727**	6,3117**
K x NPCaMg	4	0,0322	0,2654**
Tratamento	(8)	0,2347**	1,7972**
Resíduo	27	0,0266	0,0218
Coeficiente de variação		9,98	10,32

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 18. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo LE, referente a doses de K dentro de NPCaMg nas doses zero, um e dois.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,0004
Regressão quadrática	1	0,0029
Tratamento	(2)	0,0017
Resíduo	9	0,0266

Tabela 19. Efeito das doses de NPCaMg na concentração de Zn disponível (ppm) no solo LE.

Tratamentos	Médias
NPCaMg na dose zero	1,88 a
NPCaMg na dose um	1,35 b
NPCaMg na dose dois	1,66 a
dms	0,24

dms = diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey,

Tabela 20. Coeficientes de correlação entre a concentração de Zn disponível nos solos LE e PV, x pH do solo.

Tratamentos	Zn x pH	
	LE	PV
Doses de K dentro de NPCaMg na dose zero		-0,15
Doses de K dentro de NPCaMg na dose um		0,08
Doses de K dentro de NPCaMg na dose dois		-0,27
Doses de K dentro de NPCaMg nas doses zero, um e dois	-0,61**	

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 21. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo PV, referente a doses de K dentro de NPCaMg na dose zero.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressao linear	1	0,1512*
Regressão quadrática	1	0,0160
Tratamento	(2)	0,0836
Resíduo	9	0,0218

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 22. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo PV, referente a doses de K dentro de NPCaMg na dose um.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,0018
Regressão quadrática	1	0,0006
Tratamento	(2)	0,0012
Resíduo	9	0,0218

Tabela 23. Desdobramento da análise de variância em regressão linear e quadrática, para a concentração de Zn no solo PV, referente a doses de K dentro de NPCaMg na dose dois.

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Regressão linear	1	0,0242
Regressão quadrática	1	1,5606**
Tratamento	(2)	0,7924**
Resíduo	9	0,0218

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

um e dois, respectivamente. A Figura 03 ilustra o efeito das doses de K dentro de NPCaMg na dose zero (Y_1) e na dose dois (Y_2).

Para o solo LE, conforme a Tabela 17, verifica-se que não houve efeito significativo das doses de K sobre a disponibilidade de Zn, quando se isolou as doses de K, ou mesmo em interação com a mistura NPCaMg. No desdobramento em efeito linear e quadrático também não se verificou efeito das doses de K (Tabela 18). As doses de NPCaMg exerceram um efeito significativo na concentração de Zn disponível no solo (Tabela 17), com a dose um acarretando diminuição significativa nesta concentração, quando comparada às doses zero e dois (Tabela 19). Essa variação foi devida a mudança do pH, com o qual manteve correlação, como se verifica pela Tabela 20 ($r=-0,61^{**}$), fato coerente, desde que se utilizou material corretivo de acidez na dose um de NPCaMg.

Para o solo PV, houve efeito significativo das doses de K e NPCaMg, assim como da interação K x NPCaMg, ou seja, as doses de K estão influenciando a mistura NPCaMg, conforme a Tabela 17. No desdobramento verifica-se que as doses de K dentro de NPCaMg na dose zero foram diferentes estatisticamente, com os dados se ajustando à equação de regressão linear em relação à concentração de Zn disponível (Tabela 21). Na Figura 03 (Y_1), é ilustrado tal fenômeno, havendo um aumento de 28.10^{-4} ppm de Zn a cada ppm de K aplicado. Tal fato se deve ao K aplicado e não ao pH do solo, pois o mesmo não

FIGURA 03 - Curvas, equações de regressão e ponto de máximo, referente a concentração de Zn no solo PV, em função das doses de K dentro de NPCaMg nas doses zero e dois.

se correlacionou com o Zn disponível do solo, como consta na Tabela 20 ($r = -0,15$). Para as doses de K dentro de NPCaMg na dose um, não houve efeito na concentração de Zn disponível conforme se verifica na Tabela 22. Na Tabela 23, consta o efeito quadrático das doses de K dentro de NPCaMg na dose dois e, na Figura 04 (Y_2) é ilustrado tal efeito, onde se verifica uma curva com ponto de máximo. Esse efeito também não se correlacionou com o pH do solo ($r = -0,27$), como consta na Tabela 20.

Quando se comparam os dois solos, verifica-se um comportamento diferente na disponibilidade de Zn em relação às doses aplicadas de K. No solo LE as doses de K não influenciaram a disponibilidade de Zn ao passo que, no solo PV houve diferenças estatísticas entre as doses de K dentro de NPCaMg nas doses zero e dois.

Tais resultados mostram, que as doses de K tem um comportamento diferente não somente em relação ao tipo de solo, como também devido a presença de outros elementos.

No presente trabalho as doses de K não afetaram a disponibilidade de Zn no solo, quando foram testadas no solo LE, ou quando testadas no solo PV nos tratamentos onde estava incluso corretivos de acidez. Deve-se frisar que o pH do solo não se correlacionou com a disponibilidade de Zn no solo PV e se correlacionou no solo LE.

Na Figura 03 (Y_2 a partir da aplicação de 52,83 ppm de K), observou-se diminuição na concentração de Zn, o que corrobora o trabalho de STUKENHOLTZ *et alii* (1966).

Por outro lado, observa-se na Figura 03 (Y_1 e Y_2 até a aplicação de 52,83 ppm de K), que houve aumento na disponibilidade de Zn, concordando com os resultados obtidos por WEAR e PATTERSON (1965).

4.2. Fatores que afetam a concentração de Zn na planta

4.2.1. Efeito de doses de N e PKCaMg na concentração de Zn na planta

Na Tabela 24 encontram-se as análises de variância e coeficientes de variação, sobre os dados da concentração de Zn na planta, em relação aos tratamentos testados. Nas Tabelas 25, 26 e 27, constam os desdobramentos da análise de variância, em regressão linear e quadrática, para doses de N dentro de PKCaMg na dose zero, na dose um e na dose dois, respectivamente. Os efeitos diretos (P) entre a concentração de Zn na planta e as doses aplicadas de N, os efeitos indiretos nesta relação (Pxr), via porcentagem na planta de N, P, K, Ca, Mg, conteúdo de matéria seca da parte aérea, teor disponí

Tabela 24. Análises de variância e coeficientes de variação, referente aos dados da concentração de Zn na planta (ppm) em relação a doses de N e PKCaMg, em um LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
N	2	43,3611*	744,36**
PKCaMg	2	1.085,7778**	9281,445**
N x PKCaMg	4	77,2778**	353,9425**
Tratamento	(8)	320,9236**	2683,4225**
Resíduo	27	13,6389	14,8244
Coeficiente de variação		7,58	5,90

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 25. Desdobramento das análises de variância, para doses de N dentro de PkCaMg na dose zero, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	171,1250*	2628,125**
Regressão quadrática	1	40,0420	77,0417*
Tratamento	(2)	105,5835	1352,5833
Resíduo	9	23,7500	33,7503

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 26. Desdobramento das análises de variância, para doses de N dentro de PKCaMg na dose um em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	6,1250	66,1250*
Regressão quadrática	1	70,0417**	1,0417
Tratamento	(2)	38,0834	37,5834
Resíduo	9	13,6389	14,8244

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 27. Desdobramento das análises de variância, para doses de N dentro de PKCaMg na dose dois em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	0,1250	55,1250
Regressão quadrática	1	108,3750**	77,0416*
Tratamento	(2)	54,2500	66,0833
Resíduo	9	13,6389	14,8244

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

vel de Zn no solo e pH do solo, além dos coeficientes de correlação simples (r), coeficiente de determinação (R^2) e variâncias residuais (w), encontram-se nas Tabelas 28, 29 e 30. Na Figura 04 encontram-se as equações de regressão, pontos de máximo e mínimo e as respectivas curvas, referente à variação na concentração de Zn na planta em relação às doses de N dentro de PKCaMg nas doses zero, um e dois.

Com relação ao solo LE (Tabela 24), verifica-se o efeito significativo das doses de N e PKCaMg, além da interação N x PKCaMg, o que indica que as doses de N estão influenciando a mistura PKCaMg. Face a isto, foi feito o desdobramento da análise de variância para doses de N dentro de cada nível de PKCaMg (Tabelas 25, 26 e 27), detectando-se um efeito linear na concentração de Zn na planta, quando se testou doses de N dentro de PKCaMg na dose zero (Tabela 25), fenômeno este, ilustrado na Figura 04 (Y_1). Na Tabela 28, consta o efeito direto das doses de N sobre a concentração de Zn na planta, onde se verifica um efeito negativo ($-0,838$), o que quer dizer, que se os outros parâmetros interferentes nessa relação, permanecessem constantes, à medida que se aumentasse as doses aplicadas de N, haveria uma diminuição na concentração de Zn na planta. Como efeito indireto, evidenciou-se a porcentagem na planta de N, K, Ca e o teor disponível de Zn no solo. A concentração de N e K exerceram um efeito negativo na relação concentração de Zn na planta x doses de N ($-0,673$ e $-0,682$

Tabela 28. Desdobramento das correlações simples, em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de N dentro da dose zero de PKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de N						
Efeito direto	-0,838	0,174				
Efeito indireto via % N			-0,673	-0,056		
Efeito indireto via % P			0,063	-0,001		
Efeito indireto via % K			-0,682	-0,180		
Efeito indireto via % Ca			1,160	0,099		
Efeito indireto via % Mg			0,016	-0,033		
Efeito indireto via teor de m.s.			-0,034	-0,015		
Efeito indireto via Zn disponível			0,826	0,018		
Efeito indireto via pH			-0,044	-0,294		
Total (r, Zn na planta x doses de N)					-0,206	-0,284
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,913	0,971		
$R^2_{10w} = W$			0,087	0,029		

Tabela 29. Desdobramento das correlações simples, em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta e doses aplicadas de N dentro da dose um de PKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta e doses de N						
Efeito direto	0,719	-0,145				
Efeito indireto via % N			-0,576	0,170		
Efeito indireto via % P			-0,378	-0,052		
Efeito indireto via % K			+0,003	-0,108		
Efeito indireto via % Ca			-0,065	0,152		
Efeito indireto via % Mg			-0,093	-0,064		
Efeito indireto via teor de m.s.			0,149	-0,160		
Efeito indireto via Zn disponível			0,080	0,146		
Efeito indireto via pH			-0,001	0,094		
Total (r, Zn na planta e doses de N)					-0,160	0,033
$R^2_{10} (1, 2, 3, \dots, 9) = R^2$			0,820	0,994		
$R^2_{10w} = W$			0,180	0,006		

Tabela 30. Desdobramento das correlações simples, em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses aplicadas de N dentro da dose dois de PKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de N						
Efeito direto	0,352	0,179				
Efeito indireto via % N			-0,418	0,372		
Efeito indireto via % P			0,063	-0,649		
Efeito indireto via % K			-0,673	-0,003		
Efeito indireto via % Ca			0,486	-0,049		
Efeito indireto via % Mg			-0,360	0,110		
Efeito indireto via teor de m.s.			-0,511	-0,207		
Efeito indireto via Zn disponível			0,503	0,081		
Efeito indireto via pH			0,346	0,00		
Total (r, Zn na planta x doses de N)					-0,248	-0,166
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,948	0,938		
$R^2_{10w} = W$			0,052	0,062

FIGURA 04 - Curvas, equações de regressão, pontos de máximo e mínimo, referente a concentração de Zn na planta para doses de N dentro de PKCaMg.

respectivamente), ou seja; a medida que há um aumento na concentração de N e K na planta, há uma diminuição nesta relação. Para a concentração de Ca na planta e Zn disponível no solo, o efeito na relação foi positivo (1,160 e 0,826 respectivamente), o que quer dizer que a medida que há um aumento na concentração de Ca na planta ou no teor de Zn disponível no solo, há um aumento na relação concentração de Zn na planta x doses de N; desde que os outros parâmetros permaneçam constantes. Com relação aos outros parâmetros analisados, os efeitos foram de menor magnitude e quando se verifica a somatória de todos os efeitos estudados, nota-se que prevaleceu o efeito negativo, ou seja, à medida que se aumentou a dose de N aplicada, houve diminuição na concentração de Zn na planta ($r = -0,206$), conforme ilustrado na Figura 04 (Y_1).

Para o cultivo no solo PV, verifica-se pela Tabela 24, o efeito significativo das doses de N, PKCaMg, assim como da interação N x PKCaMg. Na Tabela 25, consta o efeito quadrático das doses de N dentro de PKCaMg na dose zero, em relação à concentração de Zn na planta e na Tabela 28, verifica-se que o efeito direto das doses de N sobre a concentração de Zn na planta foi positivo (0,174). Como efeito indireto, os parâmetros de maior magnitude foram a concentração na planta de K (0,180), Ca (0,099) e pH do solo (-0,294). Os outros parâmetros analisados tiveram um efeito ainda menor, prevalecendo entretanto o efeito negativo, ou seja, a medida que se

aumentou as doses de N aplicadas, houve uma diminuição na concentração de Zn na planta ($r = -0,284$), como se verifica pela Figura 04 (Y_2).

Com relação aos coeficientes de determinação (0,913 e 0,971, respectivamente para o solo LE e PV), isto indica que 91,3% e 97,1% da variação na concentração de Zn na planta foi explicada pelas variáveis consideradas e apenas 8,7% e 2,9%, pela variável residual.

Para doses de N dentro de PKCaMg na dose um, o desdobramento da análise de variância se encontra na Tabela 26, onde se verifica o efeito quadrático no solo LE e efeito linear no solo PV, para a concentração de Zn na planta. Na Tabela 29 consta os efeitos diretos e indiretos das doses de N dentro de PKCaMg na dose um, onde se verifica que para o solo LE, o efeito direto das doses de N sobre a concentração de Zn na planta, foi positivo (0,719), mas totalmente neutralizado pelos efeitos indiretos via porcentagem na planta de N (-0,576) e P (-0,378); os outros parâmetros exerceram efeitos de menor magnitude, de tal modo que a correlação simples entre a concentração de Zn na planta x doses aplicadas de N, foi negativa e não significativa ($r = -0,160$). Na Figura 04 (Y_3) é ilustrado o pequeno efeito das doses aplicadas de N sobre a concentração de Zn na planta. Para o solo PV, o efeito direto das doses aplicadas de N sobre a concentração de Zn na planta foi negativo (-0,145) e de uma magnitude bem menor quando com

parado ao efeito direto no solo LE. Os efeitos indiretos positivos de maior evidência, se referem a concentração na planta de N (0,170) , Ca (0,152) e teor disponível de Zn no solo, e como efeito indireto negativo, o teor de matéria seca da parte aérea (-0,160) , o que sugere um efeito diluição. Como o efeito direto e o teor de matéria seca foram contrabalançados pela concentração de N e Ca na planta e o teor disponível de Zn no solo, o coeficiente de correlação simples foi não significativo ($r = 0,033$) . Na Figura 04 (Y_4) consta a pequena variação na concentração de Zn na planta, quando se confronta com as doses aplicadas de N.

Os coeficientes de determinação 0,820 e 0,994 , respectivamente para o solo LE e PV , indicam que para o solo LE outros parâmetros podem ter atuação significativa na concentração de Zn na planta, o mesmo não ocorrendo para o PV.

Para as doses de N dentro de PKCaMg na dose dois, o desdobramento da análise de variância encontra-se na Tabela 27, tendo a concentração de Zn na planta um comportamento quadrático, tanto no solo LE como no PV. Na Tabela 30 consta o efeito direto positivo das doses aplicadas de N na concentração de Zn na planta, para o cultivo no solo LE (0,352) , ao passo que o coeficiente de correlação simples foi negativo (-0,248), isto devido aos efeitos indiretos negativos de maior magnitude que o efeito direto, como os efeitos indiretos via porcentagem na planta de N (-0,418) , K (-0,673) , Mg (-0,360) e o teor de

matéria seca (-0,551) . Por outro lado, houve efeitos indiretos positivos como a porcentagem na planta de P (0,063) , Ca (0,486) , o teor disponível de Zn no solo (0,503) e o pH(0,346), mas todos eles neutralizados pelos efeitos indiretos negativos, conferindo assim, pequena variação na concentração de Zn na planta (Figura 04, Y_5). Para o solo PV, houve a mesma tendência, com efeito direto positivo (0,179) e o coeficiente de correlação simples negativo (-0,166). Isto devido principalmente aos efeitos indiretos via porcentagem de P na planta (-0,649) e o teor de matéria seca (-0,207) , embora efeitos indiretos positivos também tenham ocorrido, como a concentração de N e Mg na planta (0,372 e 0,110 , respectivamente) , além do teor disponível de Zn no solo (0,081) , resultando numa pequena variação na concentração de Zn na planta, conforme ilustrado na Figura 04 (Y_6).

Os coeficientes de determinação (0,948 e 0,938 , respectivamente no solo LE e PV) indicam que 94,8% e 93,8% da variação na concentração de Zn na planta, foi explicada pelos parâmetros analisados.

Esses resultados, em que aumentando-se as doses aplicadas de N diminui-se a concentração de Zn na planta, como se observa pela Figura 04 (Y_1 , Y_2 , Y_3 até 45,73 ppm de N , Y_4 , Y_5 até 49,51 ppm de N e Y_6 a partir da aplicação de 38,69 ppm de N) , encontram respaldos nos trabalhos de REUTHER e SMITH (1950) , BOAWN e CRAWFORD (1957) , CHAUDHRY e LONERAGAN

(1972) , concordando que essa diminuição foi devido ao maior desenvolvimento das plantas, apenas quando se testou doses de N dentro de PKCaMg na dose um, no solo PV e, doses de N dentro de PKCaMg na dose dois, nos dois solos. OZANNE (1955) cita que o Zn absorvido pode ficar retido nas raízes como complexo Zn-proteína, embora isto possa ter ocorrido, tal fato se torna inconsistente uma vez que neste trabalho o sistema radicular não foi analisado.

Como explicação para o trabalho em estudo, no que tange à diminuição na concentração de Zn na planta, ela depende do tipo de solo e não somente das doses de N, assim como da mistura PKCaMg. Para doses de N dentro de PKCaMg na dose zero no solo LE, os efeitos negativos de maior evidência se deve às doses aplicadas de N e a concentração de N e K na planta, e no PV, à concentração de K na planta e ao pH do solo. Para doses de N dentro de PKCaMg na dose um, no LE, foram as concentrações de N e P, na planta e, no solo, PV, as doses aplicadas de N, K na planta e ao teor de matéria seca (efeito diluição). Para doses de N dentro de PKCaMg na dose dois, no LE houve mais fatores interagindo, ou seja, N, K e Mg na planta e teor de matéria seca e no PV, principalmente a concentração de P na planta e o teor de matéria seca.

Com relação ao aumento na concentração de Zn na planta, ilustrado na Figura 04 (Y_3 a partir de 45,73 ppm de N, Y_5 a partir de 49,51 ppm de N e Y_6 até a aplicação de 38,69 ppm

de N), esses resultados concordam com os obtidos por SINGH e SINGH (1981) quando trabalharam com doses de até 80 ppm de N, THOMPSON (1962) verificou também um aumento na concentração de Zn em plantas de milho, o mesmo ocorrendo com Terman e Allen (1974), SINGH e FRANKLIN (1974), PARKER (1962), PUMPREY *et alii* (1963). STANTON e BURGER (1970) verificaram o mesmo em painço; SOLTANPOUR (1969) com a cultura da batata; CHAUDHRY *et alii* (1977) com plantas de arroz cultivada em dois solos calcários inundados e MURAOKA (1981) em experimento de vasos com a cultura do feijoeiro. No presente trabalho, o efeito positivo de maior destaque na concentração de Zn na planta, para os tratamentos doses de N dentro do PKCaMg na dose um, no solo LE, foi o efeito direto das doses de N. Para os tratamentos doses de N dentro de PKCaMg na dose dois, no solo LE foi mais proeminente o efeito direto das doses de N, porcentagem de Ca na planta, teor de Zn disponível e pH do solo e, para o solo PV, o efeito direto das doses de N e a porcentagem na planta de N e Mg.

4.2.2. Efeito de doses de P e NKCaMg na concentração de Zn na planta

As análises de variância dos dados da concentração de Zn na planta, estão apresentadas na Tabela 31. Os desdobramentos das análises de variância encontram-se nas Tabe-

las 32 , 33 e 34 e nas Tabelas 35 , 36 e 37 estão apresentados os efeitos diretos, indiretos, coeficientes de correlação simples, coeficientes de determinação e variâncias residuais, para os cultivos nos solos LE e PV. Na Figura 05, encontram-se as equações de regressão, pontos de máximo e mínimo, e as respectivas curvas, referente à variação na concentração de Zn na planta, quando se confronta doses de P dentro da dose zero, um e dois de NKCaMg.

Para o solo LE, verifica-se que houve efeito significativo das doses de P, NKCaMg e da interação P x NKCaMg (Tabela 31), no que se refere à concentração de Zn na planta. Como a interação foi significativa, fez-se os desdobramentos com os dados da concentração de Zn tendo um comportamento quadrático, quando se desdobrou doses de P dentro de NKCaMg na dose zero (Tabela 32). Com relação ao desdobramento da correlação simples (Tabela 35), verifica-se que o efeito direto das doses de P sobre a concentração de Zn na planta, foi positivo (0,326), ou seja, a medida que fosse aumentada as doses de P haveria um aumento na concentração de Zn na planta, desde que outros fatores não estivessem interferindo. Como existem vários outros fatores atuantes, isto não ocorreu e a medida que houve aumento nas doses aplicadas de P, diminuiu-se a concentração de Zn na planta, até a aplicação de 161,46 ppm de P, aumentando-se com a aplicação de doses mais elevadas, como está ilustrado na Figura 05 (Y_1). Os fatores que fizeram com que o coeficiente de correlação simples fosse negativo, foram principalmente a concentração na planta de P e K

Tabela 31. Análises de variância e coeficientes de variação, referente aos dados da concentração de Zn na planta (ppm) em relação a doses de P e NKCaMg, em um LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
P	2	332,1115**	1561,3333**
NKCaMg	2	1317,3615**	20012,5817**
P x NKCaMg	4	45,9442**	1342,2950**
Tratamento	(8)	435,3404**	6064,6250**
Resíduo	27	7,8333	67,3704
Coeficiente de variação		5,86	10,43

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 32. Desdobramento das análises de variância, para doses de P dentro de NKCaMg na dose zero, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	406,1250**	6105,1250**
Regressão quadrática	1	100,0416**	1488,3750**
Tratamento	(2)	253,0833	3796,7500
Resíduo	9	7,8333	67,3704

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 33. Desdobramento das análises de variância para doses de P dentro de NKCaMg na dose um, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	18,0000	12,500
Regressão quadrática	1	0,6666	240,6666
Tratamento	(2)	9,3333	126,5833
Resíduo	9	7,8333	67,3704

Tabela 34. Desdobramentos das análises de variância, para doses de P dentro de NKCaMg na dose dois, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	253,1250**	253,1250
Regressão quadrática	1	70,0426**	392,0426**
Tratamento	(2)	161,5833**	322,5833*
Resíduo	9	7,8333	67,3704

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 35. Desdobramento das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de P dentro da dose zero de NKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de P						
Efeito direto	0,326	-0,028				
Efeito indireto via % N			-0,024	0,004		
Efeito indireto via % P			-0,689	-0,290		
Efeito indireto via % K			-0,522	0,438		
Efeito indireto via % Ca			0,018	0,000		
Efeito indireto via % Mg			-0,020	0,068		
Efeito indireto via teor de m.s			0,483	0,167		
Efeito indireto via Zn disponível			0,220	0,007		
Efeito indireto via pH			0,018	-0,022		
Total (r, Zn na planta x doses de P)					-0,190	0,346
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,942	0,996		
$R^2_{10w} = W$			0,058	0,004		

Tabela 36. Desdobramento das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos para a concentração de Zn na planta x doses de P dentro da dose um de NKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (r)		Efeito indireto (p x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de P						
Efeito direto	+0,092	-0,118				
Efeito indireto via % N			-0,033	-0,358		
Efeito indireto via % P			-0,095	0,529		
Efeito indireto via % K			-0,154	0,106		
Efeito indireto via % Ca			0,672	0,048		
Efeito indireto via % Mg			-0,430	0,010		
Efeito indireto via teor de m.s			-0,148	-0,527		
Efeito indireto via Zn disponível			-0,063	0,208		
Efeito indireto via pH			-0,023	-0,262		
Total (r, Zn na planta x doses de P)					-0,186	-0,340
$R^2_{10}(1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,831	0,986		
$R^2_{10w} = W$			0,169	0,014		

Tabela 37. Desdobramento das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de P dentro da dose dois de NKCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de P						
Efeito direto	-0,110	0,180				
Efeito indireto via % N			0,015	+0,024		
Efeito indireto via % P			-0,036	-0,016		
Efeito indireto via % K			-0,022	-0,193		
Efeito indireto via % Ca			-0,007	-0,155		
Efeito indireto via % Mg			0,056	-0,008		
Efeito indireto via teor de m.s.			0,003	0,553		
Efeito indireto via Zn disponível			-0,058	0,000		
Efeito indireto pH			-0,007	-0,036		
Total (r, Zn na planta x doses de P)					-0,166	0,343
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,978	0,972		
$R^2_{10w} = W$			0,022	0,028

FIGURA 05 - Curvas, equações de regressão e pontos de máximo e mínimo, referente a concentração de Zn na planta para doses de P dentro de NKCaMg.

(-0,689 e -0,522 , respectivamente) , ou seja, a medida que se aumenta a concentração de P e K na planta, há uma diminuição na relação concentração de Zn e doses de P. Por outro lado, o teor de matéria seca e o Zn disponível no solo, mantiveram um efeito positivo nesta relação (0,483 e 0,220 , respectivamente), mas foram neutralizados pelo efeito das concentrações de P e K. Os outros parâmetros analisados tiveram efeitos insignificantes.

Quando o cultivo se deu no solo PV , houve também um efeito significativo das doses de P, NKCaMg e da interação, sobre a concentração de Zn na planta (Tabela 31). Feito o desdobramento, verificou-se um comportamento quadrático das doses de P dentro de NKCaMg na dose zero, na concentração de Zn na planta (Tabela 32), fenômeno este ilustrado na Figura 05 (Y_2). No desdobramento do coeficiente de correlação simples (Tabela 35), verifica-se que o efeito direto das doses de P sobre a concentração de Zn na planta foi negativo (-0,028) , mas o coeficiente de correlação simples foi positivo (0,346) , isto devido principalmente aos efeitos indiretos da concentração de K na planta (0,438) e ao teor de matéria seca (0,167) . A concentração de P teve um efeito indireto negativo (-0,290) , como ocorreu com o cultivo no solo LE, evidenciando desta maneira, a relação inversa entre as concentrações de P e a relação Zn na planta x doses de P.

Os coeficientes de determinação foram respectivamente 0,942 e 0,996 para o solo LE e PV, indicando que ape-

nas 5,8% e 0,4% da variação na concentração de Zn na planta, não foi explicada pelas variáveis estudadas.

Com relação ao desdobramento das doses de P dentro de NKCaMg na dose um, não se verificou efeitos significativos dessa interação no solo LE (Tabela 33), o que quer dizer que neste caso as doses de P não estão influenciando a concentração de Zn na planta. Mesmo assim foi feito o desdobramento da correlação simples (Tabela 36), verificando-se um efeito direto das doses de P, de pequena magnitude no solo LE (0,092) e um coeficiente de correlação simples negativo (-0,186). Como efeito indireto positivo, verificou-se apenas o da concentração de Ca (0,672), sendo todos os outros parâmetros negativos, ressaltando a concentração de Mg (-0,430), os quais neutralizaram totalmente o efeito direto e, o indireto via porcentagem de Ca.

Para o solo PV, também não houve efeito significativo das doses de P dentro de NKCaMg na dose um, para a concentração de Zn na planta (Tabela 33). O desdobramento do coeficiente de correlação simples encontra-se na Tabela 36, onde se verifica o efeito direto negativo (-0,118) das doses de P sobre a concentração de Zn na planta, e um coeficiente de correlação simples também negativo (-0,340). Para os efeitos indiretos positivos, os de maior magnitude foram a porcentagem de P na planta (0,529) e o Zn disponível no solo (0,208) e como efeitos indiretos negativos a porcentagem de N (-0,358), o

teor de matéria seca ($-0,527$) e o pH do solo ($-0,262$), explicando desta forma o coeficiente de correlação simples negativo. Os coeficientes de determinação ($0,831$ e $0,986$) respectivamente para o LE e PV, indicam o quanto a variação de Zn na planta é explicada pelos parâmetros analisados.

Para o solo LE, houve efeito significativo quadrático, quando se desdobrou os tratamentos doses de P dentro de NKCaMg na dose dois (Tabela 34), como se verifica na Figura 05 (Y_3). Na Tabela 37 constata-se o efeito direto negativo das doses de P sobre a concentração de Zn ($-0,110$), o mesmo ocorrendo com o coeficiente de correlação simples ($-0,166$), uma vez que os efeitos indiretos foram de pequena magnitude e se anularam.

Para o solo PV, os dados sobre a concentração de Zn na planta tiveram um efeito quadrático, quando se variou doses de P dentro de NKCaMg na dose dois (Tabela 34), conforme ilustrado na Figura 05 (Y_4). Quando se desdobrou o coeficiente de correlação simples (Tabela 37) verificou-se um efeito direto positivo nas doses de P sobre a concentração de Zn ($0,180$), o mesmo ocorrendo com o coeficiente de correlação simples ($0,343$). Dos efeitos indiretos positivos, apenas o teor de matéria seca se sobressaiu ($0,553$), e como negativo a porcentagem de K ($-0,193$) e Ca ($-0,153$); os outros efeitos indiretos foram inexpressivos. Para o coeficiente de determinação, $0,978$ no solo LE e $0,972$ para o PV, isto indica que a

quase totalidade da variação na concentração de Zn na planta, foi explicada pelas variáveis estudadas.

Os resultados em que aumentando-se as doses aplicadas de P, diminui-se a concentração de Zn na planta, como se observa na Figura 05 (Y_1 até a aplicação de 161,46 ppm de P, Y_2 até a aplicação de 41,57 ppm de P, Y_3 até a aplicação de 158,75 ppm de P e Y_4 a partir da aplicação de 123,25 ppm de P) corroboram os resultados obtidos por BURLESON e PAGE (1967); STUKENHOLTZ *et alii* (1966); WARNOCK (1970), SHARMA *et alii* (1968 a, b); PAULSEN e ROTIMI (1968), os quais sugerem o problema de mobilidade do Zn para a parte aérea. KHAN (1969); MARINHO e IGUE (1972); LOPEZ GOROSTIAGA e MALAVOLTA (1974), relatam o efeito diluição. BAHIA e BRAGA (1974); BOAWN e LEGGET (1964) e MILLIKAN (1963) citam que o desequilíbrio nas plantas entre o P e Zn é devido a distúrbios metabólicos nas células da planta, através da interferência do P na função metabólica do Zn. Outros autores citam a precipitação do Zn pelo P na superfície das raízes, como STUKENHOLTZ *et alii* (1966), ELLIS *et alii* (1964) e MOTSARA (1974). Também BROWN *et alii* (1970); BROWN e TIFFIN (1962), BURLESON *et alii* (1961), CHAUDHRY e SHARIF (1974), CHRISTENSEN e JACKSON (1982), ELLIS *et alii* (1964), FAGERIA e ZIMMERMANN (1979), JACKSON *et alii* (1967), LANGIN *et alii* (1962), LO e REISENAUER (1968), PATIL e SOMAWANSHI (1982), RUDGERS *et alii* (1970), SHARMA *et alii* (1968a), Terman e ALLEN (1974), THOMPSON (1962) e

GANIRON *et alii* (1968), citam o P causando diminuição na concentração de Zn nos tecidos das plantas, dando como explicação desse efeito, a atuação do P no sítio de absorção, limitação na translocação e efeito diluição. Citam ainda, alguns deles, que essa diminuição depende de vários fatores como tipo de planta, efeito da temperatura, umidade e outros.

No presente ensaio não foi estudado o efeito da umidade, temperatura, diferentes tipos de plantas, sistema radicular e outros, mas pode-se verificar que a diminuição da concentração de Zn na planta, variou com o tipo de solo e com a aplicação de P e outros nutrientes. Com relação à aplicação de P dentro de NKCaMg na dose zero, a concentração de P e K na planta (no solo LE) e apenas a concentração de P (no solo PV), exerceram efeitos negativos consideráveis na relação Zn na planta x doses de P.

Para a aplicação de doses de P dentro de NKCaMg na dose dois, as concentrações de P, K e Ca na planta, o teor de Zn disponível e o pH do solo (LE) e as concentrações de P, K, Ca e Mg na planta e pH do solo (PV), mantiveram um efeito negativo na relação Zn na planta x doses de P.

Para o aumento na concentração de Zn na planta, conforme se verifica na Figura 05 (Y_1 a partir de 161,46 ppm de P, Y_2 a partir da aplicação de 41,57 ppm de P, Y_3 a partir de 158,75 ppm de P e Y_4 até a aplicação de 123,25 ppm de P), esse incremento encontra respaldos no trabalho de WALLACE *et alii*

(1974), em que é citado que em altas doses de P, quando o solo não era deficiente em Zn, a planta absorvia mais zinco. Também ORABI *et alii* (1981) obtiveram aumentos na absorção e conteúdo de Zn em plantas de milho, com a aplicação de P, BASAK *et alii* (1982) com a cultura do arroz, WALLACE e ALEXANDER (1978) com cinco cultivares de soja, em solução nutritiva, quando o pH era baixo e LONERAGAN *et alii* (1979) em solo podzólico com a cultura do trevo. No presente trabalho, o efeito direto das doses de K sobre a concentração de Zn na planta, o teor de matéria seca e o teor de Zn disponível, quando o cultivo se deu no solo LE e a concentração de K na planta no solo PV, exerceram efeitos positivos, nos tratamentos doses de P dentro de NKCaMg na dose zero. Para doses de P dentro de NKCaMg na dose dois, os parâmetros que exerceram efeitos positivos foram a concentração de N e Mg na planta, para o solo LE e principalmente o teor de matéria seca para o solo PV.

4.2.3. Efeito de doses de K e NPCaMg na concentração de Zn na planta.

As análises de variância sobre os dados da concentração de Zn na planta, se encontram na Tabela 38. Nas Tabelas 39, 40 e 41 encontram-se os desdobramentos das análises de variância e nas Tabelas 42, 43 e 44 constam os efeitos diretos, indiretos, coeficientes de correlação simples, coefi -

Tabela 38. Análises de variância e coeficientes de variação, referente aos dados da concentração de Zn na planta (ppm) em relação a doses de K e NPCaMg, em um LE e PV.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
K	2	20,3300	598,6950**
NPCaMg	2	1770,5800**	3652,0300**
K x NPCaMg	4	187,1700**	936,8200**
Tratamento	(8)	541,3125**	1531,0911**
Resíduo	27	7,9352	51,7593
Coeficiente de variação		5,28	9,32

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 39. Desdobramento das análises de variância, para doses de K dentro de NPCaMg na dose zero, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	200,0000**	391,1250*
Regressão quadrática	1	140,1667**	51,04166
Tratamento	(2)	170,0934**	201,0831
Resíduo	9	7,9352	51,7593

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 40, Desdobramento das análises de variância, para doses de K dentro de NPCaMg na dose um, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	0,0000	325,1250*
Regressão quadrática	1	130,6667**	3825,3750**
Tratamento	(2)	65,3334	2075,2500
Resíduo	9	7,9352	51,7593

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 41, Desdobramento das análises de variância, para doses de K dentro de NPCaMg na dose dois, em regressão linear e quadrática.

Causas de variação	G.L.	Q M	
		LE	PV
Regressão linear	1	24,5000	8,0000
Regressão quadrática	1	294,0000**	384,0000**
Tratamento	(2)	159,2500	196,0000
Resíduo	9	7,9352	51,7593

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 42 . Desdobramentos das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de K dentro da dose zero de NPCaMg, coeficientes de determinação e variancias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de K						
Efeito direto	0,300	-0,295				
Efeito indireto via % N			-0,037	-0,030		
Efeito indireto via % P			0,008	0,000		
Efeito indireto via % K			-0,228	-0,292		
Efeito indireto via % Ca			0,005	0,120		
Efeito indireto via % Mg			0,023	0,013		
Efeito indireto via teor de m.s.			-0,034	0,002		
Efeito indireto via Zn disponível			0,024	-0,085		
Efeito indireto via pH			0,000	0,172		
Total (r, Zn na planta x doses de K)					0,032	-0,397
<hr/>						
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,949	0,926		
$R^2_{10w} = W$			0,051	0,074		

Tabela 43 Desdobramento das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de K dentro da dose um de NPCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de K						
Efeito direto	-0,128	0,323				
Efeito indireto via % N			-0,056	-0,311		
Efeito indireto via % P			0,154	0,285		
Efeito indireto via % K			-0,015	-0,396		
Efeito indireto via % Ca			-0,123	-0,243		
Efeito indireto via % Mg			0,010	0,107		
Efeito indireto via teor de m.s.			-0,016	0,381		
Efeito indireto via Zn disponível			-0,010	0,097		
Efeito indireto via pH			-0,060	-0,087		
Total (r, Zn na planta x dados de K)					-0,244	0,164
$R^2_{10} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,836	0,304		
$R^2_{10w} = W$			0,164	0,196		

Tabela 44 . Desdobramento das correlações simples em componentes de efeitos diretos e indiretos, para a concentração de Zn na planta x doses de K dentro da dose dois de NPCaMg, coeficientes de determinação e variâncias residuais, nos solos LE e PV.

Modo de ação	Efeito direto (P)		Efeito indireto (P x r)		Correlação (r)	
	LE	PV	LE	PV	LE	PV
Zn na planta x doses de K						
Efeito direto	0,035	-0,128				
Efeito indireto via % N			0,500	-0,015		
Efeito indireto via % P			-0,033	-0,061		
Efeito indireto via % K			-0,016	-0,114		
Efeito indireto via % Ca			-0,236	-0,088		
Efeito indireto via % Mg			-0,084	-0,014		
Efeito indireto via teor de m.s.			0,067	0,150		
Efeito indireto via Zn disponível			-0,279	0,022		
Efeito indireto via pH			-0,156	-0,011		
Total (r, Zn na planta x dose de K)					-0,203	-0,033
$R^2_{1G} (1, 2, \dots, 9) = R^2$			0,908	0,902		
$R^2_{10w} = W$			0,092	0,098		

cientes de determinação e variâncias residuais, nos cultivos realizados nos solos LE e PV. As equações de regressão, pontos de máximo e mínimo, e as respectivas curvas referentes a concentração de Zn na planta estão inseridas na Figura 06.

Com relação ao solo LE, constata-se o efeito significativo da mistura NPCaMg e da interação K x NPCaMg, ou seja, embora as doses de K isoladamente não tenham sido significativas no que concerne a concentração de Zn na planta, elas exerceram influência na mistura NPCaMg (Tabela 38). Feito o desdobramento (Tabela 39), verifica-se que os dados da concentração de Zn na planta, tiveram um comportamento quadrático em relação a doses de K dentro de NPCaMg na dose zero; tal fato pode ser observado na Figura 06 (Y_1). No desdobramento da correlação simples (Tabela 42) verifica-se para o solo LE, um efeito direto positivo (0,300) das doses de K em relação ao Zn na planta, e um coeficiente de correlação simples também positivo, mas de menor magnitude (0,032), isto devido principalmente ao efeito indireto via concentração de K (-0,228); os outros parâmetros foram insignificantes. Para o solo PV, também houve efeito significativo da interação K x NPCaMg (Tabela 38). O desdobramento em regressão para doses de K dentro de NPCaMg na dose zero, se encontra na Tabela 39, onde pode se observar que a concentração de Zn na planta teve um comportamento linear em relação a esses tratamentos, conforme ilustrado na Figura 06 (Y_2). No desdobramento da correlação simples entre a

FIGURA 06 - Curvas, equações de regressão, ponto de máximo e mínimo, referente a concentração de Zn na planta para doses de K dentro de NPCaMg.

concentração de Zn na planta x doses de K (Tabela 42), verifica-se um efeito direto negativo (-0,295), o mesmo ocorrendo para o coeficiente de correlação simples (-0,397), devido principalmente ao efeito indireto negativo via concentração de K (-0,292). O coeficiente de determinação foi alto (0,949 e 0,926) respectivamente para o solo LE e PV, o que indica que a variação na concentração de Zn na planta é explicado em 94,9% e 92,6 pelas variáveis consideradas.

Para doses de K dentro de NPCaMg na dose um, o desdobramento da análise de variância se encontra na Tabela 40, onde se verifica o efeito quadrático para a concentração de Zn na planta, nos dois solos em estudo, conforme se observa na Figura 06 (Y_3 para o LE e Y_4 para o PV). Na Tabela 43 consta o desdobramento das correlações simples onde se verifica um efeito direto negativo (-0,128) das doses de K sobre a concentração de Zn na planta, cultivada no solo LE, o mesmo ocorrendo para o coeficiente de correlação simples (-0,244), isto devido ao equilíbrio entre os efeitos indiretos, com realce para a concentração de P (0,154) e Ca (-0,123), o que explica o baixo coeficiente de correlação simples. Para o solo PV, o efeito direto foi positivo (0,323), assim como os efeitos indiretos via porcentagem de P (0,285), Mg (0,107), teor de matéria seca (0,381) e o Zn disponível (0,097). Os outros parâmetros analisados tiveram efeitos indiretos negativos, neutralizando dessa maneira os efeitos positivos e conferindo um baixo

coeficiente de correlação simples (0,164) . Os coeficientes de determinação (0,836 e 0,804) respectivamente para o solo LE e PV , indicam que 83,6% e 80,4% na variação da concentração de Zn na planta é explicada pelas variáveis estudadas .

Para doses de K dentro de NPCaMg na dose dois, verifica-se pela Tabela 41, que houve efeito quadrático para a concentração de Zn na planta, fenômeno ilustrado na Figura 06, como Y_5 para o LE e Y_6 para o PV. Na Tabela 44 encontram-se os desdobramentos das correlações simples, verificando-se um efeito direto positivo (0,035) , no solo LE , para doses de K x concentração de Zn na planta, e como efeito indireto positivo, a concentração de N teve uma grande magnitude (0,500), o mesmo não ocorrendo para o teor de matéria seca (0,067) ; os outros parâmetros tiveram um efeito indireto negativo de pequena magnitude, excetuando-se a concentração de Ca (-0,236) e o teor de Zn disponível (-0,279) , o que conferiu um baixo coeficiente de correlação simples e negativo (-0,203). No solo PV, o efeito direto foi negativo (-0,128) , assim como os efeitos indiretos via concentração de N (-0,015) , P (-0,061), K(-0,114), Ca (-0,088) , Mg (-0,014) e pH do solo (-0,011); como efeito indireto positivo o teor de matéria seca (0,150) teve maior participação que o Zn disponível (0,022) , conferindo assim um baixo coeficiente de correlação simples (-0,033) , para as doses de K x concentração de Zn na planta. Os coeficientes de determinação (0,908 e 0,902) , respectivamente para o solo

LE e PV, indicam que 90,8% e 90,2% da variação na concentração de Zn na planta foi explicada pelas variáveis estudadas.

Com relação à diminuição na concentração de Zn na planta, mediante a aplicação de K, como se observa na Figura 06 (Y_1 até a aplicação de 32,76 ppm de K, Y_3 até a aplicação de 50 ppm de K, Y_4 até a aplicação de 54,21 ppm de K, Y_5 a partir da aplicação de 45,83 ppm de K e Y_6 a partir da aplicação de 52,08 ppm de K); encontram respaldos nos trabalhos de STUKENHOLTZ *et alii* (1966) onde é citado que altas doses de K diminuíram a absorção de Zn pela cultura do milho. WARD *et alii* (1963), Terman e ALLEN (1974) e SHUKLA e MUKHI (1979) relatam o mesmo efeito do K diminuindo a concentração de Zn nas plantas de milho.

Neste trabalho, os efeitos negativos exercidos na relação concentração de zinco x doses de K foram devido a concentração de K no solo LE e ao efeito direto das doses de K além da concentração de K, no solo PV, quando se testou doses de K dentro de NPCaMg na dose zero. Para doses de K dentro de NPCaMg na dose um, esse efeito negativo foi devido principalmente ao efeito direto das doses de K e a concentração de Ca na planta, quando cultivada no solo LE e a concentração de N, K e Ca na planta, quando cultivada no PV. Para doses de K dentro de NPCaMg na dose dois, os efeitos negativos foram devido principalmente a concentração de Ca, Zn disponível e pH do solo, no LE e ao efeito direto das doses de K, e a concentração de

K, no solo PV.

Com relação ao aumento na concentração de Zn na planta, como se verifica na Figura 06 (Y_1 a partir de 32,76 ppm de K, Y_3 a partir de 50 ppm de K, Y_4 a partir de 54,21 ppm de K, Y_5 até a aplicação de 45,83 ppm de K e Y_6 até a aplicação de 52,08 ppm de K), concorda com os dados obtidos por WEAR e PATTERSON (1965), os quais atribuíram ao efeito indireto do K na relação P - Zn; de GALLO *et alii* (1975) que verificaram aumentos na concentração de Zn, nas diferentes partes da planta de milho, com a aplicação de K; de TIWARI *et alii* (1982), que concluíram que com o aumento no suprimento de K em batata, havia uma maior absorção e utilização do Zn. THOMPSON (1982) também verificou aumento na concentração de Zn em folhas de milho mediante a aplicação de doses baixas de K, o mesmo não ocorrendo quando se aumentava as doses de K.

No presente ensaio, para o solo LE, quando se testou doses de K dentro de NPCaMg na dose zero, as doses de K exerceram um efeito direto positivo na concentração de Zn na planta. A concentração de Mg na planta e o teor de Zn disponível no solo também exerceram efeitos positivos. Para doses de K dentro de NPCaMg na dose um, os efeitos diretos foram devido a concentração de P e Mg na planta, quando cultivada no LE e, devido principalmente ao efeito direto das doses de K na concentração de Zn na planta, além da concentração de P, Mg, teor de matéria seca e Zn disponível, no solo PV.

Para doses de K dentro de NPCaMg na dose dois, os efeitos positivos foram devido principalmente a concentração de N na planta, quando cultivada no solo LE e ao teor de matéria seca e ao Zn disponível, quando a planta foi cultivada no solo PV.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi realizado pode-se concluir:

Experimento I :

- As doses de N, na omissão da aplicação de PKCaMg, não influenciaram o teor de Zn disponível e exerceram um efeito linear decrescente na concentração de Zn na planta, quando cultivada no solo LE. Quando o cultivo se deu no solo PV, as doses de N aumentaram o teor de Zn disponível e exerceram um efeito quadrático na concentração deste elemento na planta.
- Na presença da dose um de PKCaMg, as doses de N aumentaram o teor de Zn disponível e exerceram um efeito quadrático na concentração de Zn na planta, para o solo LE e; não influen-

ciaram o teor de Zn disponível mas, exerceram um efeito linear decrescente na concentração de Zn na planta no cultivo no solo PV.

- Quando as doses de N foram aplicadas dentro da dose dois de PKCaMg, elas exerceram um efeito quadrático no teor de Zn disponível e na sua concentração na planta, quando cultivada no solo LE; e não influenciaram o teor de Zn disponível mas exerceram um efeito quadrático na concentração do elemento na planta, quando cultivada no solo PV.

Experimento II :

- Na omissão da aplicação de NKCaMg, as doses de P diminuíram o teor de Zn disponível no solo e exerceram um efeito quadrático na sua concentração na planta, quando utilizou-se o solo LE. Para o solo PV, as doses de P não influenciaram o teor de Zn disponível no solo e exerceram um efeito quadrático na concentração do micronutriente na planta.
- As doses de P dentro de NKCaMg na dose um, não exerceram efeitos no teor de Zn disponível e na concentração de Zn na planta, em ambos os solos estudados.
- Na presença da dose dois de NKCaMg, as doses de P exerceram um efeito quadrático, tanto no teor de Zn disponível no solo

quanto na sua concentração na planta, no cultivo do solo LE. No solo PV, as doses de P não afetaram o teor de Zn disponível e exerceram um efeito quadrático na concentração do elemento na planta.

Experimento III :

- Na ausência da aplicação de NPCaMg, as doses de K não exerceram efeitos no teor de Zn disponível no solo LE e exerceram um efeito quadrático na concentração de Zn na planta. No solo PV, as doses de K aumentaram o teor de Zn disponível e diminuíram a concentração do elemento na planta.
- As doses de K dentro da dose um de NPCaMg não influenciaram o teor de Zn disponível e exerceram um efeito quadrático na concentração deste elemento na planta, quando cultivada tanto no solo LE, quanto no solo PV.
- Quanto às doses de K dentro de NPCaMg na dose dois, elas não afetaram o teor de Zn disponível no solo LE e exerceram um efeito quadrático na concentração de Zn na planta. No solo PV, as doses de K exerceram um efeito quadrático tanto no teor de Zn disponível, quanto na sua concentração na planta.

6. LITERATURA CITADA

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, 1984. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio de Janeiro, V. 44, p. 1 - 918 .

BADANUR, V.P. e B.V. VENKATA RAO, 1980. Influence of phosphorus building on availability on micronutrients red soil of Bangalore. Soil Sci., Baltimore, 130(5):251-257.

BAHIA, F.G.F.T.C. e J.M. BRAGA, 1974. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção do zinco em dois solos de Minas Gerais. Revista Ceres. Viçosa, 21(115):167-192.

BASAK, A.; L.H. MANDAL e M. HALDAR, 1982. Interaction of phosphorus and molybdenum in relation to uptake and utilization of molybdenum, phosphorus, zinc, copper and manganese by rice. Plant and Soil, The Hague , 68(2) : 261-269.

- BINGHAN, F.T., 1963. Relation between phosphorus and micro-nutrients in plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison , 27:389-391.
- BINGHAN, F.T. e M.J. GARBER, 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 24(3):209-213.
- BINGHAN, F.T.; J.P. MARTIN e J.A. CHASTAIN, 1958. Effects of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of citrus. Soil Sci., Baltimore, 86:24-31.
- BOAWN, L.C.; B.A. KRANTZ e J.L. EDDINGS, 1970. Zinc-phosphorus fertilization in the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 34:365-368.
- BOAWN, L.C. e G.E. LEGGET, 1964. Phosphorus and zinc concentrations in russet burbank potato tissue in relation to development of zinc deficiency sytoms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28:229-232.
- BOAWN, L.C.; F.G. VIETS e C.L. CRAWFORD, 1954. Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. Soil Sci., Baltimore 78:1-7.

BOAWN, L.C.; F.G. VIETS JR.; C.L. CRAWFORD e J.L. NELSON, 1960.

Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate, and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes, and sugar betts.

Soil Sci., Baltimore, 90:329-337.

BROWN, A.L.; B.A. KRANTZ e J.L. EDDINGS, 1970. Zinc-Phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis.

Soil Sci., Baltimore, 110(6):415-420.

BROWN, J.C. e L.O. TIFFIN, 1962. Zinc deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient - element balance in Tulare clay. Agron., J., Madison, 54 : 356 - 358.

BURLESON, C.A.; A.D. DACUS e C.J. GERARD, 1961. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 25 : 365 - 368.

BURLESON, C.A. e H.R. PAGE, 1967. Phosphorus and zinc interactions in flax. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 31:510-513.

CATANI, R.A. e A.O. JACINTHO, 1974. Avaliação da fertilidade do solo. Métodos de análise. Piracicaba, Livroceres Ltda. 57 p.

CHAUDHRY, F.M.; M.A. KAUSAR; A. BASHIR e R.A.H. MATULLAH, 1977. Mechanism of N effect on Zn nutrition of flooded rice. Plant and Soil, The Hague, 46 : 649 - 654.

CHAUDHRY, F.M. e J.F. LONERAGAN, 1970. Effects of nitrogen, copper and zinc fertilizers on the copper and zinc nutrition of wheat plants. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 21(6) : 865 - 879.

CHAUDHRY, F.M. e J.F. LONERAGAN, 1972. Zinc absorption by wheat seedlings: I. Inhibition by macronutrient ions in short-term experiments and its relevance to long term zinc nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Michigan, 36(2):323-327.

CHAUDHRY, F.M. e M. SHARIF, 1974. Micronutrient problems of crops in Pakistan with special reference to zinc and copper deficiency in rice production. Isotope aided micronutrient studies in rice production with special reference to zinc deficiency. FAO / IAEA, Viena, p. 1 - 24.

CHRISTENSEN, N.W. e T.L. JACKSON, 1982. Potential for phosphorus toxicity in zinc - stressed corn and potato. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 45(5):904-909.

ELLIS Jr., R.; J.F. DAVIS e D.L. THURLOW, 1964. Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28:83-86.

ELSOKKARY, I.H.; H.A. EL-ATTAR e M.A. AMER, 1981. Influence of phosphorus and zinc fertilizers on the uptake of P and Zn by corn plants grown in highly calcareous soils. Plant and Soil, The Hagues, 59:227-236.

FAGERIA, H.K. e F.J.P. ZIMERMANN, 1979. Interação entre fósforo, zinco e calcário em arroz de sequeiro. Rev. Bras. Ci. do Solo, Campinas, 3(2):88-92.

GALLO, J.R.; K. IGUE; O.C. BATAGLIA; A.M. FURLANI e L.E.C. MIRANDA, 1975. Influência do uso contínuo de fertilizantes na nutrição mineral do milho híbrido IAC Hmd/6999 B. Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas, SP. p. 245-254.

GANIRON, R.B.; D.C. ADRIANO; G.M. PAULSEN e L.S. MURPHY, 1969. Effect of phosphorus - zinc interaction in corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 33(2):306-309.

GIORDANO, P.M.; J.J. MORTVEDT e R.J. PAPENDICK, 1966. Responses of corn (*Zea mays* L.) to zinc as affected by placement and nitrogen source. Soil Sci. Amer. Proc., Madison, 30:767-778.

HULAGUR, B.F.; R.T. DANGARWALA e B.V. MENTA, 1975.

Interrelationship among available zinc, copper and phosphorus in soil. J. Indian Soc. Soil Sci., 23(2):231 - 235.

JACKSON, T.L.; J. HAY e D.P. MOORE, 1967. The effect of zinc on yield and chemical composition of sweet corn in the willamette valley. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., Madison, 91: 462-471.

KALYANASUNDARAN, N.K. e B.V. MEHTA, 1970. Availability of zinc, phosphorus and calcium in soils treated with varying levels of zinc and phosphate - A soil incubation study. Plant and Soil, The Hague, 33(3):699-706.

KEEFER, R.F. e R.N. SINGH, 1968. The mecanism of P and Zn interaction in soils as revealed by corn growth and composition. Int. Congr. Soil Sci., Adelaide, Trans. 9th, II : 367 - 374.

KHAN, D.H., 1969. Response of sweet corn and rice to phosphorus, zinc and calcium carbonate on acid Glenniew soil of California. Soil Sci., Baltimore, 108:424-428.

LAKER, M.C., 1967. Uptake of zinc and phosphorus by plants from a sandy soil. J. Afr. J. Agr. Sci., 10:323-330.

LANGIN, E.J.; R.C. WARD; R.A. OLSON e H.F. RHOADES, 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., Madison, 26:574 - 578.

LINDSAY, W.L., 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. MORTVEDT, J.J.; P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY, ed. Micronutrientes in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, USA, p. 41 - 57.

LINDSAY, W.L. e W.A. NORVELL, 1969. Development of a DTPA micronutrient soil test. Agron. Abstr., Madison, p. 84.

LO, S.Y. e H.M. REISENAUER, 1968. Zinc nutrition of alfafa. Agr. J., Madison, 60:464-466.

LONERAGAN, J.F.; D.L. GRUNES; R.M. WELCH; E.A. ADUAYI; A. TENGAH; V.A. LAZAR e E.E. CARY, 1979. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 43:966-972.

LOPEZ GOROSTIAGA, O.E. e E. MALAVOLTA, 1974. Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição de plantas. Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz, Piracicaba, 31:467-483.

MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Ed. Agronômica Ceres Ltda., SP. 251 p.

MANDAL, L.N. e M. HALDAR, 1980. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soils. Soil Sci., Baltimore, 130(5): 251-257.

- MARINHO, M.L. e L. IGUE, 1972. Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic and soils. Agrón. J., Madison, 64:3-8.
- MILLIKAN, C.K., 1963. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 14: 180-205.
- MOTSARA, M.R., 1974. Micronutrient research in India - The identification and understanding of the problem with particular reference to zinc deficiency. Isotope - aided micronutrient studies in rice production with special reference to zinc deficiency - FAO / IASA, Vienna, p. 51-74.
- MURAOKA, T., 1981. Solubilidade do zinco e do manganês em diversos extratores e disponibilidade desses dois micronutrientes para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba, 141 p.
- OLSEN, S.R., 1972. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY (eds.). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, 1a. edição, 243-264 p.

- OLSON, R.A.; D.D. STUKENHOLTZ e C.A. HOOVER, 1965. Phosphorus-zinc relations in corn and sorghum production. Bether Crops. Plant Food, 44(1):19-24.
- ORABI, A.A.; A. ABDALLAH; H. MASHADI e H. BARAKAT, 1981. Zinc-phosphorus relationship in the nutrition of corn plants (*Zea mays* L.) grown on some calcareous soils. Plant and Soil, The Hague, 59(1):51-59.
- ORABI, A.A.; A.S. ISMAIL e H. MASHADI, 1982. Zinc-phosphorus relationship in the nutrition of tomato plants as affected both by the soil and by the rate of applied zinc. Plant and Soil, The Hague, 69(1):67-72.
- OZANNE, P.G., 1955. The effect of nitrogen on zinc deficiency in subterranean clover. Aust. J. biol. Sci., Melbourne, 8: 47-55.
- PARKER, D.T., 1962. Influence of mulching on the manganese of corn plant tissue. Agron. J., Madison, 54:303-305.
- PATIL, D.S. e R.B. SOMAWANSHI, 1982. Beneficial effects of combination of P and Zn for green gram (*Phaseolus aureus* L.). Plant and Soil, The Hague, 165(1):125-128.

- PAULI, A.W.; R. ELLIS Jr. e H.C. MOSER, 1968. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agron. J., Madison, 60:394-396.
- PAULSEN, G.M. e D.A. ROTINI, 1968. Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensibility to phosphorus nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 32:73-76.
- PIMENTEL GOMES F., 1982. Curso de Estatística Experimental, 10a. edição. Livraria Probel, São Paulo.
- PRASAD, K.G.; H. SINHA e N.C. DAS, 1968. Phosphorus-zinc relation as affected by soil application of phosphorus and zinc at various moisture levels. J. Proc. Inst. Chem., India, 40 : 118 -122.
- PUMPHREY, F.V.; F.E. KUHLE; R.R. ALLMARAS e S. ROBERTS , 1963. Method and rate of applying zinc sulphate for corn on zinc deficient soil in western Nebraska. Agron. J., Madison, 55: 235 -238.
- RAMOS, M. 1973. Efeitos do nitrogênio e fósforo sobre características agronômicas da variedade de trigo IAS 54 e suas relações com a produção. Pesquisa agronômica brasileira, série agronômica, Brasília, 8:213-216.
- REDDY, G.D.; V. VENKATASUBRIAH e J. VENKATESHWORALU, 1973. Zinc-phosphorus interactions in maize. J. Indian Soc. Soil Sci., New Delhi, 11:433.

- REHM, G.W.; R.A. WIESE e G.W. HERGERT, 1980. Response of corn to zinc source and rate of zinc band applied with either orthophosphate or polyphosphate. Soil Sci., Baltimore, 129 (1):36-44.
- REUTHER, R. e P.F. SMITH, 1950. A preliminary report on the relation of nitrogen, phosphorus and magnesium fertilization to yield, leaf composition and the incidence of zinc deficiency in oranges. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. Baltimore, 56:27-33.
- RUDGERS, L.A.; J.L. DEMETRIO e R. ELLIS, 1970. Interaction among atrazine, temperature and phosphorus-induced zinc deficiency in corn (*Zea mays* L.). Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34:240-244.
- SAFAYA, N.M. e B. SINGH, 1977. Differential susceptibility of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*(L.) Walp) to phosphorus - induced zinc deficiency. Plant and Soil, The Hague, 48:279 - 290.
- SANTOS, H.L., 1971. Efeitos do zinco, boro, molibdênio e calagem na soja perene (*Glycine max* L.) em solos sob vegetação de cerrado, em condições de estufa. U.F.V., Viçosa, Curso de Fitotecnia. (Dissertação de Mestrado).
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Livroceres Ltda. 57 p.

SEATZ, L.F. e J.J. JURINAK, 1957. Zinc and soil fertility.
Yearbook of Agriculture, Washington D.C., p. 115-121.

SEATZ, L.F.; A.T. STEGES e J.C. KRAMER, 1959. Crop response to zinc fertilization as influenced by line and phosphorus applications. Agron. J., Madison, 51(8):457-459.

SHARMA, K.C.; B.A. KRANTZ e A.L. BROWN, 1968a. Interaction of P and Zn on two dwarf wheats. Agron. J., Madison, 60(3): 329-330.

SHARMA, K.C.; B.A. KRANTZ; A.L. BROWN e J. QUICK, 1968b. Interactions of Zn and P with soil temperatures in rice. Agron. J., Madison, 60(6):652-655.

SHUKLA, V.C., 1971. Plant growth, Zn concentration and uptake in corn (*Zea mays*) under different zin rates, zincsources, lime and phosphorus conditions. Indian J. Agric. Chem., New Delhi, 5:19-24.

SHUKLA, V.C. e A.K. MUKHI, 1979. Sodium, potassium and zinc relationship in corn. Agron. J., Madison, 71(2):235-237.

SINGH, M. e R.E. FRANKLIN, 1974. Availability of native and applied zinc (^{65}Zn) as affected by nitrogen carriers in normal and saline soils. Plant and Soil, The Hague, 40:699-702.

- SINGH, M. e S.P. SINGH, 1980. Yield of submergil paddy and uptake of Zn, P and N as affected by liming and Zn fertilizers. Plant and Soil, Hissar, 56(1):81-92.
- SINGH, M. e S.P. SINGH, 1981. Effect of nitrogen and zinc on the yield of submerged rice and uptake of N and Zn on unlimed and limed soils. Plant and Soil, The Hague, 62(2): 183-192.
- SOLTANPOUR, P.N., 1969. Effect of nitrogen, phosphorus and zinc placement on yield and composition of potatoes. Agr. J., Madison, 6(2):288-289.
- 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., Baltimore, 89:311-318.
- STANTON, D.A. e R.DU T. BURGER, 1970. Studies on zinc in selected orange free state soils - IV. Factors affecting the availability of zinc. Agrochemophysica Pretoria, 2: 33-40.
- STUKENHOLTZ, D.D.; R.J. OLSEN; G. GOGAN e R.A. OLSON, 1966. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 30:759-763.

- TANAKA, A. e Y. ISHIZUKA, 1969. Zinc deficiency as the case of 'Akagare' in the rice plant. J. Sci. Soil Manure, Japan, 40:415-419.
- TERMAN, G.L. e S.E. ALLEN, 1974. Accretion and dilution of nutrients in young corn, as affected by yield response to nitrogen, phosphorus and potassim. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 38:455-460.
- THOMPSON, J.W., 1962. Effects of fertilizers and soil amendments on the mineral constituents of maize. Soil Sci., Baltimore, 94(1):323-330.
- THORNE, W., 1957. Zinc deficiency and its control. In: A.G. NORMAN (Ed.). Advances in agronomy. Academic Press Inc. New York, 9:31-65.
- TIWARI, K.N.; V. NIGAM e A.N. PATHAK, 1982. Effect of potassium and zinc applications on dry-matter production and nutrient uptake by potato variety 'Kufri chandramukhi' (*Solanum tuberosum* L.) in an alluvial soil of Uttar Pradesh. Plant and Soil, The Hague, 65(1):141-147.
- VIETS, F.G. Jr.; L.C. BOAWN e C.L. CRAWFORD, 1957. The effect of nitrogen and type of nitrogen carrier on plant uptake of indigenous and applied zinc. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21:197-201.

WALLACE, A.; A.A. ELGAZZAR; J.W. CHA e G.V. ALEXANDER , 1974 .

Phosphorus levels versus concentrations of zinc and other elements in bush bean plants. Soil Sci., Baltimore, 117(6): 347-351.

WALLACE, A.; R.T. MUELLER e G.V. ALEXANDER, 1978. Influence of phosphorus on zinc, iron, manganese and copper uptake by plants. Soil Sci., Baltimore, 126(6):336-341.

WARD, R.C.; E.J. LANGIN; R.A. OLSON e D.D. STUKENHOLTZ, 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. Madison, 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., Madison, 34: 765-769.

WEAR, J.I. e R.M. PATTERSON, 1965. Potassium and phosphorus zinc relationships. Crops and Soils, Madison, 18:11.

WRIGHT, S., 1921. Correlation and Causation. J. Agric. Res., Washington D.C., 20 (7):557-585.

YADAV, O.P. e V.C. SHUKLA, 1982. Effect of applied phosphorus and zinc on their absorption and distribution in chickpea plant. Soil Sci., Baltimore, 134(4):239-243.