

RESPOSTAS DO MILHO À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO E ZINCO¹

EUCLIDES CAXAMBU A. DE SOUZA, EDSON LUIZ MENDES COUTINHO²,
WILLIAM NATALE³ e JOSÉ CARLOS BARBOSA⁴

RESUMO - Com o objetivo de verificar os efeitos isolados e combinados da adubação com fósforo (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e zinco (0, 5, 10, 15 e 20 kg ha⁻¹ de Zn) na cultura do milho, conduziu-se um experimento num Latossolo Vermelho-Escuro textura média, com 5 mg dm⁻³ de P e 0,39 mg dm⁻³ de Zn (DTPA). Pelos resultados obtidos, vê-se que a adição de P e Zn aumentou significativamente a produção de grãos de milho. O efeito da adubação fosfatada foi mais pronunciado que o da adubação com Zn. Pôde-se obter produções de até 6.000 kg ha⁻¹ utilizando-se somente o macronutriente; para produções acima deste valor, é necessário, além do P, a inclusão do Zn na adubação. A máxima produção de grãos esteve associada a uma concentração de P no solo de 30 mg dm⁻³. A adubação fosfatada não alterou significativamente as concentrações de Zn nas folhas.

Termos para indexação: *Zea mays*, interação fósforo-zinco.

RESPONSE OF CORN TO PHOSPHORUS AND ZINC FERTILIZATION

ABSTRACT - With the objective of evaluating the effects of phosphorus (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and zinc (0, 5, 10, 15 and 20 kg ha⁻¹ of Zn) fertilization in the maize crop, a field experiment was conducted on a Haplustox soil with 5 mg dm⁻³ of P and 0.39 mg dm⁻³ of Zn (DTPA). From the results, it was observed that the fertilization with P and Zn resulted in significant increments of corn grain yield. The effect of P fertilization was higher than the fertilization with Zn. It was possible to obtain a production of grain up to 6,000 kg ha⁻¹ with P alone; higher yield than it was achieved only with both P and Zn fertilization. The maximum corn grain yield was associated with P contents in soil about 30 mg dm⁻³. Phosphorus did not alter the contents of Zn in the leaves.

Index terms: *Zea mays*, P-Zn interaction.

INTRODUÇÃO

No Brasil, como em diversos outros países, a necessidade de produção de alimentos para uma população crescente coexiste com a geração de excedentes exportáveis. Este desafio será vencido com a exploração de novas áreas e com o aumento da produtividade em áreas já plantadas. Nas duas situações é fundamental a utilização racional dos diversos insumos agrícolas, entre os quais, os corretivos e fertilizantes.

Para a cultura do milho, dentro dos dois enfoques, a importância da adubação fosfatada, como um fa-

tor de incremento na produção, é sobejamente conhecida (Yost et al., 1979; Rajj et al., 1981; Souza et al., 1985; Coutinho et al., 1991).

Com relação ao Zn, os problemas têm surgido mais recentemente, em face da incorporação ao processo produtivo de áreas de fertilidade marginal, e, ainda, em decorrência do esgotamento gradativo de alguns solos em áreas de cultivo tradicional, onde não existia a reposição desse micronutriente. Dessa maneira, vários trabalhos conduzidos em casa de vegetação e campo, têm demonstrado que a adição desse micronutriente promoveu incrementos significativos na produção de milho (Galvão & Mesquita Filho, 1981a, 1981b; Souza et al., 1985; Ritchey et al., 1986; Coutinho et al., 1987; Coutinho et al., 1992a, 1992b; Galvão, 1995).

A disponibilidade de Zn para as plantas pode ser afetada por várias características do solo, tais como o pH, teor de matéria orgânica, textura, conteúdo de óxidos, mineralogia da fração argila. Também a li-

¹ Aceito para publicação em 29 de outubro de 1997.

² Eng. Agr., Prof. Titular, Dep. de Solos e Adubos, UNESP/Câmpus de Jaboticabal, CEP 14870-000 Jaboticabal, SP. E-mail: coutinho@fcav.unesp.br

³ Eng. Agr., Dr., Dep. de Solos e Adubos, UNESP.

⁴ Eng. Agr., Prof. Adjunto, Dep. de Ciências Exatas, UNESP.

teratura tem documentado sintomas de carência de Zn induzidos pela adição de P em doses elevadas.

A interação P-Zn é bastante estudada, porém é um fenômeno complexo e pouco entendido, visto que existem resultados mostrando que: o P não exerce influência sobre a absorção de Zn (Bingham, 1963); o P pode aumentar a absorção de Zn (Pauli et al., 1968); o P pode diminuir a absorção de Zn (Adriano et al., 1971; Olsen, 1972); pode existir um antagonismo mútuo entre o P e Zn, particularmente quando um dos elementos excede o nível crítico (Boawn & Legget, 1963); o P pode diminuir o transporte do Zn da raiz para a parte aérea (Olsen, 1972); a adição de P em solo deficiente nesse micronutriente poderá estimular o crescimento das plantas, e com isso, diluir a concentração de Zn no tecido da planta (Olsen, 1972). Mais recentemente, uma hipótese alternativa sobre a deficiência de Zn induzida pelo P foi sugerida: um alto teor de P na solução pode aumentar a acumulação desse macronutriente nas folhas velhas, em concentrações que causem toxicidade, sendo estes sintomas de toxicidade erroneamente identificados como carência de Zn (Loneragan et al., 1982; Webb & Loneragan, 1988).

Em condições de campo, Corrêa (1987) e Coutinho et al. (1987) verificaram que a aplicação de doses elevadas de P reduzem as concentrações de Zn nas folhas de sorgo, sendo esse resultado atribuído ao "efeito de diluição". Em ambos os trabalhos, a produção não foi afetada pela redução nos teores do micronutriente. Na cultura do milho, Souza et al. (1985) e Coutinho et al. (1991), empregando doses até 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, não observaram alterações significativas nos teores de Zn nas folhas, se comparadas as doses mais elevadas de P e a testemunha (sem P).

Este trabalho, conduzido em condições de campo, teve o objetivo de verificar os efeitos isolados e combinados da adubação com o P e Zn na produção de grãos de milho, concentrações de P no solo e teores de P e Zn nas folhas; procurou-se, ainda, estabelecer relação entre a produção de grãos e as variáveis independentes: doses de P e de Zn.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em condições de campo, em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, locali-

zado no município de Jaboticabal, SP. A análise química para fins de fertilidade do solo, na camada de 0-20 cm, foi a seguinte: pH (CaCl₂) = 5,6; matéria orgânica = 12,4 g dm⁻³; P (resina) = 5 mg dm⁻³; K, Ca, Mg e H+Al = 2,9, 24, 12, e 23 mmol_c dm⁻³ respectivamente; V = 63%. O teor de Zn extraído com DTPA-TEA pH 7,3, conforme Lindsay & Norvell (1978) foi de 0,39 mg dm⁻³.

O experimento foi realizado de acordo com um esquema fatorial 5² (cinco doses de P combinadas com cinco doses de Zn), no delineamento em blocos casualizados, com duas repetições. As doses utilizadas de P e Zn, aplicadas no sulco de semeadura, foram, respectivamente, 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0, 5, 10, 15 e 20 kg ha⁻¹ de Zn, tendo-se como fontes o superfosfato triplo e o sulfato de zinco heptahidratado. Todas as parcelas receberam na semeadura uma adubação constante de 15 kg ha⁻¹ de N, como uréia, e 30 kg ha⁻¹ de K₂O, como cloreto de potássio. Aplicou-se em cobertura, aos 35 dias após a emergência das plantas, 40 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio. A cultura anterior foi soja.

A semeadura do milho híbrido duplo Braskalb XL 678 foi realizada em 14/10/93, visando uma população final de 55.500 plantas. As parcelas eram constituídas de seis linhas de 7 m de comprimento, a espaços de 0,9 m, correspondendo a uma área total de 37,8 m² e uma área útil de 25,2 m².

Para avaliar o estado nutricional das plantas, nove semanas após a emergência das mesmas, foram coletadas em dez plantas a quarta folha, a partir do ápice, cuja inserção da bainha com o colmo era visível (folha +4), de acordo com o recomendado por Trani et al. (1983).

A produção de grãos foi avaliada pela colheita das duas linhas centrais de cada parcela. A amostragem de solo foi realizada nessa mesma época.

Para a determinação de P e Zn nas folhas, foram utilizados métodos descritos por Bataglia et al. (1983). As concentrações de P no solo foram determinadas segundo Ferreira et al. (1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adubação fosfatada aumentou significativamente a produção de grãos e os teores de P no solo e nas folhas (Tabela 1). Esse incremento na produção era esperado, por serem, as plantas de milho, sensíveis a baixos teores desse nutriente no solo, o que corrobora os resultados obtidos por Coutinho et al. (1991), Raji et al. (1981), Souza et al. (1985), Yost et al. (1979). A máxima produção de milho esteve

associada a concentrações de P no solo ao redor de 30 mg dm⁻³ (Fig. 1).

Com relação aos teores foliares de P, somente houve diferença entre o tratamento sem P e os que receberam esse nutriente. Essas concentrações, independentemente do tratamento considerado, estavam abaixo dos teores mínimos sugeridos por Trani et al. (1983) e dos obtidos por Coutinho et al. (1991) nesse mesmo tipo de solo, utilizando o milho híbrido AG-403-B. Acredita-se que o resultado obtido possa ser atribuído à variabilidade genética, uma vez que têm sido verificadas variações na utilização e nas concentrações de P entre diferentes híbridos (Bruetsch & Estes, 1976; Elliot & Lauchli, 1985).

Observa-se, ainda, na Tabela 1, que as doses de P não alteraram significativamente os teores de Zn nas folhas. Este resultado reforça as controvérsias sobre a interação P-Zn. Recentemente, num amplo estudo crítico sobre o assunto, Loneragan & Webb (1993) relataram que altas concentrações de P associadas à deficiência de Zn são raramente encontradas em plantas cultivadas. Esta questão é um artifi-

cio de procedimentos experimentais em casa de vegetação, e tem pouca importância para a produção das culturas.

A adição de Zn promoveu incrementos significativos na produção de grãos de milho e nas concentrações desse micronutriente nas folhas (Tabela 1), mas não houve vantagens em empregar doses superiores a 5 kg ha⁻¹ de Zn. Esses resultados confirmam os obtidos por Ritchey et al. (1986), Coutinho et al. (1992a, 1992b) e Galvão (1995), onde solos com teores de Zn menores que 0,73 mg dm⁻³ (DTPA-TEA pH 7,3) apresentaram alta probabilidade de resposta a esse micronutriente. Por outro lado, apesar desse baixo teor no solo, e, ainda, pelo fato de as plantas do tratamento sem Zn apresentarem teores foliares ao redor de 16 mg kg⁻¹, próximos, portanto, aos observados pelos autores acima citados, em condições de deficiência de Zn, não se verificaram os sintomas de carência desse micronutriente. Deve-se mencionar, ainda, que a utilização das doses mais elevadas de Zn não provocaram nenhuma anomalia visível nas plantas e nem prejudicaram a produção de grãos.

TABELA 1. Efeitos principais das doses (kg ha⁻¹) de P e Zn na produção de grãos, teor de P no solo e teores foliares de P e Zn.

Doses de fósforo	Produção de grãos (kg ha ⁻¹)	P no solo (mg dm ⁻³)	P nas folhas (g kg ⁻¹)	Zn nas folhas (mg kg ⁻¹)
0	2.862,8a	6,8a	1,1b	30,1a
50	5.007,8b	10,6b	1,6a	32,2a
100	5.944,6c	18,1c	1,6a	32,7a
150	6.875,7d	21,7d	1,6a	31,3a
200	7.750,7e	26,1e	1,6a	33,0a
Teste F	707,68**	92,52**	31,38**	1,85NS
dms (5%)	295,1	3,4	0,1	3,6
Zinco				
0	5.143,5a	16,6a	1,5a	16,1a
5	5.955,9b	16,5a	1,5a	35,0b
10	5.592,5c	16,9a	1,5a	34,2b
15	5.808,6bc	17,1a	1,5a	34,8b
20	5.941,1b	16,2a	1,5a	39,2c
Teste F	22,76**	0,18NS	0,31NS	109,03**
dms (5%)	295,1	3,4	0,1	3,6
Teste F (P x Zn)	5,66**	2,01NS	0,93NS	0,88NS
CV (%)	3,9	15,6	8,3	8,6

A análise de variância da produção de grãos revelou, ainda, significância no tocante à interação P e Zn, o que indica que o comportamento das doses de P foi diferente em função da dose de Zn considerada (Fig. 2).

A resposta do milho à adubação com P e Zn (Fig. 3) foi determinada por meio de uma superfície de resposta de segunda ordem, considerando-se como variável dependente a produção de grãos, e,

como variáveis independentes, as doses de P e as doses de Zn. A equação obtida: $Y = 2918,45 + 34,60 P + 41,19 Zn - 0,07 P^2 - 2,23 Zn^2 + 0,32 P Zn$ ($R^2 = 0,95^{**}$) foi utilizada para estimar a produção de grãos de milho (Y). A Fig. 4 apresenta as combinações de P e Zn, que induzem a uma mesma produtividade (isolinhas), e representa cor-

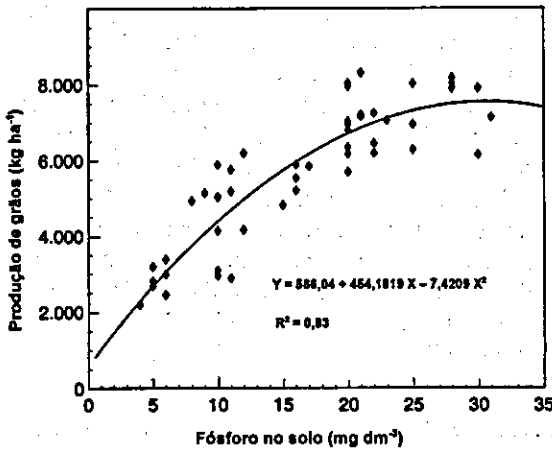


FIG. 1. Produção de grãos de milho em função dos teores de P no solo.

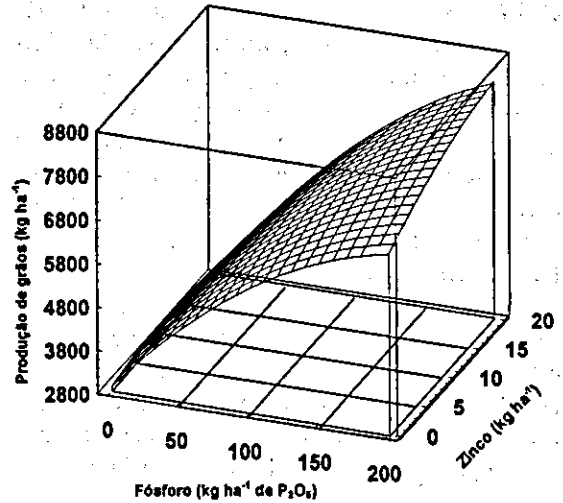


FIG. 3. Produção de grãos de milho (kg/ha) em função da dose de P e Zn.

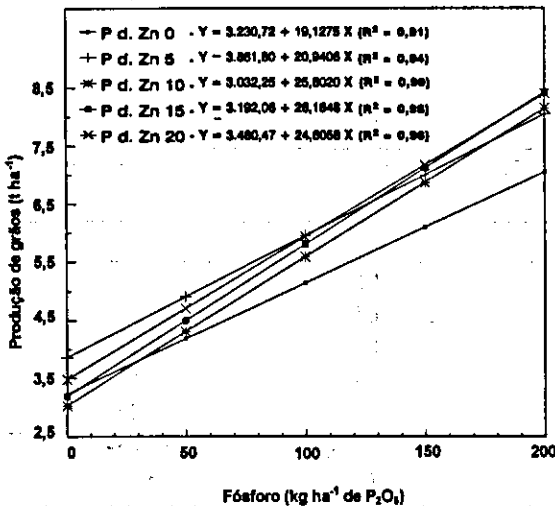


FIG. 2. Produção de grãos de milho em função de doses de P.

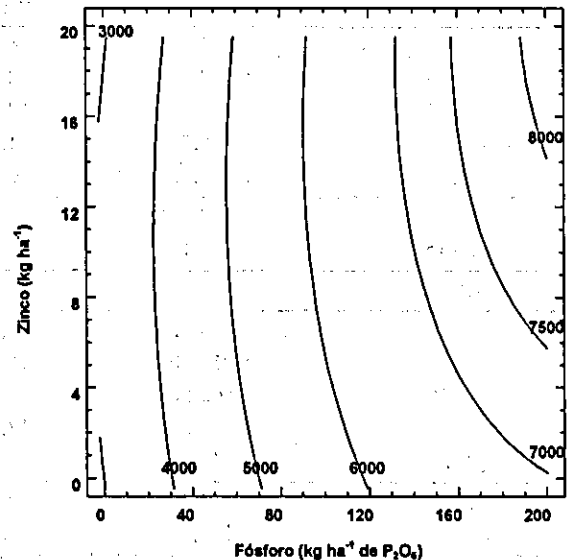


FIG. 4. Isolinhas da produção de grãos de milho, em função de doses de P e Zn.

tes realizados na Fig. 3 nas produtividades apresentadas.

Nota-se, nessas Figuras, que o efeito da adubação fosfatada é mais pronunciado que o da adubação com Zn. Assim, podem ser atingidas produções de grãos de até 6.000 kg ha⁻¹, utilizando-se somente P; para produções superiores a este valor, é necessário, além do P, a inclusão do Zn na adubação.

CONCLUSÕES

1. A adição de P aumenta significativamente a produção de grãos de milho; esse efeito é mais expressivo na presença de Zn.

2. A adubação fosfatada não altera significativamente as concentrações de Zn nas folhas.

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D.C.; PAULSEN, G.M.; MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus zinc relationships in corn seedlings as affected by mineral nutrition. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.36-39, 1971.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).
- BINGHAM, F.T. Relation between phosphorus and micronutrients in plants. *Soil Science Society of America. Proceedings*, Madison, v.27, p.389-391, 1963.
- BOAWN, L.C.; LEGGET, G.E. Zinc deficiency of the Russet Burbank potato. *Soil Science Society of America. Proceedings*, Madison, v.27, p.137-141, 1963.
- BRUETSCH, T.F.; ESTES, G.O. Genotype variation in nutrient uptake efficiency in corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.68, p.521-523, 1976.
- CORRÊA, C.M.D. Efeitos do fósforo e do zinco na cultura do sorgo sacarino. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1987. 45p. Trabalho de Graduação.
- COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; STUPIELLO, J.J.; CARNIER, P.E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. *Científica*, São Paulo, v.19, n.2, p.93-104, 1991.
- COUTINHO, E.L.M.; NEPTUNE, A.M.L.; SOUZA, E.C.A.; GIMENES, J.D.; NATALE, W.; BANZATTO, D.A. Diagnose da nutrição fosfatada na cultura do sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, p.451-457, 1987.
- COUTINHO, E.L.M.; SITTA, D.S.X.; NATALE, W. Efeitos da calagem e do zinco nas culturas da soja e do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992a. p.322-323.
- COUTINHO, E.L.M.; VELINE, E.D.; LEMUS ERASMO, E.A.; FLOREZ RONCANCIO, V.J.; MARTINS, D. Resposta do milho pipoca à adubação com zinco em condições de casa de vegetação. *Ciência Agrônômica*, Jaboticabal, v.7, p.31-36, 1992b.
- ELLIOT, G.C.; LAUHLI, A. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. *Agronomy Journal*, Madison, v.77, p.399-403, 1985.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA JUNIOR, M.E. Avaliação da fertilidade do solo empregando o sistema IAC de análise de solo. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1990. 94p.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, p.255-260, 1995.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.5, p.167-170, 1981a.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz e do milho em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, p.72-75, 1981b.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America. Journal*, v.42, n.3, p.421-428, 1978.
- LONERAGAN, J.F.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; ADUAYI, E.A.; TENGAH, A.; LAZAR, V.A.; CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. *Soil Science Society of America. Journal*, v.46, p.345-352, 1982.

- LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.119-134.
- OLSEN, S.R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
- PAULI, A.W.; ELLIS, R.; MOSER, H.C. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, p.394-396, 1968.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.P.; PENTINELLI, A.; NERY, C. O emprego da análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v.40, p.57-76, 1981.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, p.215-225, 1986.
- SOUZA, E.C.A.; SANTIAGO, G.; OLIVEIRA, L.C.L.; COUTINHO, E.L.M.; LIMA, L.A. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Científica**, São Paulo, v.13, p.39-49, 1985.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar: amostragem e interpretação**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 18p.
- WEBB, M.J.; LONERAGAN, J.F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.52, p.1676-1680, 1988.
- YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E.; NADERMAN, G. Phosphorus response of corn on an Oxisol as influenced by rates and placement. **Soil Science Society of America. Journal**, v.43, p.338-343, 1979.