

# MÉTODOS EXTRATORES E FITODISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA MILHO EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO

## CAPACITY OF THE EXTRATION METHODS AND BIOAVAILABILITY OF ZINC FOR CULTURE OF THE MAIZE CULTIVATED IN EUTROPHIC YELLOW RED ARGISOL

Affonso Celso GONÇALVES JR<sup>\*(1,3)</sup>  
Ângela Lemos PRESTES<sup>(2,3,4)</sup>  
Ossival Lolato RIBEIRO<sup>(2,3)</sup>  
Alexandre Leseur dos SANTOS<sup>(2,3)</sup>

### RESUMO

O aumento da produtividade de grãos, com redução dos custos, depende atualmente do uso de micronutrientes como complementação da adubação convencional. Neste estudo foram testados dois extratores químicos (Mehlich-1 e DTPA), na extração de Zn disponível em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, além de verificar os teores deste metal no tecido foliar de milho cultivado neste solo, com aplicação de diferentes doses de Zn sob diferentes tratamentos com NPK. O experimento foi conduzido na cidade de Palotina - PR (Setembro/2002 – Janeiro/2003), em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial constituído de três formas de adubação NPK: sem adubação (testemunha); uma vez a recomendação de adubação para a cultura do milho e o dobro da dose recomendada de adubação. As fontes de P, K e Zn na base foram fosfato bicálcico, nitrato de potássio e sulfato de zinco, respectivamente. As doses de Zn utilizadas foram: 0,0; 5,0 e 10,0 mg dm<sup>-3</sup>. Para análise química, coletou-se 10 folhas por parcela num total de 36 amostras, e também amostras de solo na linha e entrelinha, perfazendo num total 72 amostras. A determinação de N, P e K foi realizada segundo metodologia do IAPAR, e a determinação de Zn foi realizada por digestão nitro-peróxido e técnicas de espectrometria de absorção atômica de chama. Os extratores mais utilizados para determinação dos teores de Zn no solo são o Mehlich-1 e DTPA, sendo que ambos demonstraram uma boa correlação entre os teores presentes no solo e sua fitodisponibilidade no tecido foliar do milho.

**Palavras-chave:** Extratores; Zinco; Milho.

### ABSTRACT

Increasing grain yield, with reduction of costs, depends currently on the use micronutrients as complementation of the conventional fertilization. In this study two chemical extractors were tested (Mehlich-1 and DTPA), in the extraction of Zn available in eutrophic Yellow Red Argisol, besides verifying amount of this metal in the foliate fabric of maize cultivated in this soil, with application of different doses of Zn under different treatments with NPK. The experiment was lead in the city of Palotina - PR (September/2002 - January/2003), in a randomized block delineation, with four replication. The treatments had been made in constituted factorial project of three forms of fertilization NPK: without fertilization (check); one time the recommendation of fertilization for the culture of the maize and the double of the recommended dose of fertilization. The sources of P, K and Zn in the base had been phosphate bicalcium potassium nitrate and zinc sulphate, respectively. The used doses of Zn were: 0,0; 5,0 and 10,0 mg dm<sup>-3</sup>. For chemical analysis, it was collected 10 leaves for parcel in a total of 36 samples, and also soil samples in the line and space between lines, totalizing a total 72 samples. The determination of N, P and K were accomplished to methodology of the IAPAR, and the determination of Zn was accomplished by digestion nitro-peroxide and techniques of spectrometry of atomic absorption of flame. The extractors used for determination of amount of Zn in the soil are the Mehlich-1 and DTPA, being that both had demonstrated a good correlation among the present amount in the soil and its bioavailability in the foliate fabric of the maize.

**Key-words:** Extractors; Zinc; Maize.

<sup>1</sup>Químico Dr., Professor do Centro de Ciências Agrárias - UNIOESTE (\*e-mail: affonso133@hotmail.com)

<sup>2</sup>Acadêmico do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE.

<sup>3</sup>Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (GESOMA). Endereço: Rua Pernambuco, 1777, CEP 85.960-000. Marechal Cândido Rondon – PR.

<sup>4</sup>Trabalho de Conclusão de Curso/ PIBIC.

## INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade dos grãos deve-se atualmente também à prática do uso de micronutrientes, que tem se intensificado nos últimos. As pesquisas sobre disponibilidade de nutrientes, particularmente micronutrientes em solos tem apresentado resultados contraditórios. Isto se deve, em grande parte, às numerosas inter-relações entre as características do solo e a porção do nutriente tida com disponível para as culturas (1, 2). Tais resultados indicam a necessidade de maior refinamento das interpretações que melhor expressem a disponibilidade de micronutrientes e a resposta das plantas (13).

O Zn, em especial na cultura do milho, está relacionado com enzimas responsáveis pelo crescimento da planta, pois o milho armazena todos os seus compostos no caule e folha desde a germinação até a fase reprodutiva, que é quando os compostos serão utilizados no enchimento de grão (6). O teor de Zn nas plantas varia bastante, dependendo das espécies e de fatores do solo. Normalmente, os teores encontram-se na faixa de 20 a 50 mg kg<sup>-1</sup>, sendo freqüentes sintomas de deficiência quando as plantas apresentam teores menores do que 20 mg kg<sup>-1</sup>. É clássica na literatura, a deficiência de Zn induzida por altos níveis de P no substrato, principalmente em solos ricos em óxido de Fe e Al, devido à adsorção do Zn (3, 4). Entretanto, a adubação com micronutrientes não pode ser feita de maneira indiscriminada, deve-se avaliar a sua disponibilidade para evitar gastos desnecessários e efeitos fitotóxicos pelo excesso de aplicação (10).

Para proceder-se à análise dos nutrientes no solo para fins de adubação, utilizam-se reagentes químicos geralmente soluções diluídas, que simulam a ação das raízes das plantas, ou seja, devem extrair do solo apenas as formas químicas dos nutrientes que as raízes extraem. A força extratora dessas soluções varia conforme a substância utilizada, sua concentração e a proporção solo/solução que se utiliza durante a extração (14).

Um bom extrator, conforme McLaughlin (12) deverá: (a) ser relativamente simples e de baixo custo; (b) ser calibrado sobre condições de campo em diferentes tipos de solos; (c) considerar o maior número de fatores do ambiente que reconhecidamente influenciam as concentrações dos metais nas culturas; e (d) ser preditivo - além de avaliar a disponibilidade atual dos metais, ele deverá prever a disponibilidade ao longo do desenvolvimento da cultura.

Diversos trabalhos, citados por Galrão (5), relatam a busca de extratores confiáveis para diversas culturas, defrontando-se com a influência do próprio extrator no pH do solo. Assim, extratores ácidos, como Mehlich-1, podem extrair mais Zn do solo, podendo extrair níveis superiores aos disponíveis para as plantas, já os extratores complexantes, como o DTPA, extraem menos Zn do solo, apontando para maior eficácia do primeiro em solos mais ácidos e do segundo para solos mais alcalinos.

De acordo com Abreu e Raji (1), que estudaram o efeito da reação do solo no Zn extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1, o extrator DTPA mostrou melhores resultados com valores altos e positivos de correlação entre os teores de Zn na planta e no solo que o extrator Mehlich-1, concluindo que a mudança na disponibilidade de Zn, decorrente da reação do solo, foi mais bem avaliada pela solução de DTPA.

De acordo com Korndörfer (9), que testou formas de adição de Zn a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho, os resultados mostraram que o Zn agregado ao adubo NPK não teve efeito sobre a produção de grãos de milho, nem sobre a produção de matéria seca, independentemente da dose ou da fonte empregada. Os teores de Zn na folha do milho aumentaram significativamente com as doses de Zn aplicadas.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de testar dois extratores químicos, Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup>) e o agente complexante DTPA (Diétileno triamino penta-acético), na extração do Zn disponível em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura média, além de verificar os teores de Zn no tecido vegetal de milho cultivado neste solo, com diferentes doses de Zn sob diferentes tratamentos com NPK.

## METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Cidade de Palotina - PR, em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico textura média (24,2 % de argila, 64,0 % de areia e 11,8 % de silte).

O híbrido de milho empregado foi Agroeste, híbrido simples 1544 de ciclo precoce. Cada bloco apresentava 6 m de largura por 33 m de comprimento. Utilizou-se como parcela útil, as duas linhas centrais (3 m de cada linha), das quatro sementeiras em espaçamento de 0,90 m, descartando-se 1,5 m de bordadura das duas linhas centrais. A população de plantas foi de 6,5 sementes por metro linear e o experimento foi instalado em setembro de 2002.

Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial constituído de três formas de adubação NPK: sem adubação (testemunha); uma vez a recomendação de adubação para a cultura do milho através da análise de rotina (30 - 100 - 50 kg ha<sup>-1</sup>) e o dobro da dose recomendada de adubação (60 - 200 - 100 kg ha<sup>-1</sup>). As doses de Zn utilizadas foram: 0,0; 5,0 e 10,0 mg kg<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram aplicados no momento da sementeira. As fontes de N, P, K e Zn na base foram uréia, fosfato bicálcico, nitrato de potássio e sulfato de Zn.

A sementeira do milho foi em sistema convencional, com uma subsolagem e duas gradagens, além de capinas manuais para o controle de plantas daninhas. Com 45 dias após a emergência, foi aplicada em cobertura a adubação nitrogenada

sendo utilizada como fonte a uréia (45% N), com dose igual para todas as parcelas, 90 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Realizou-se análise química completa do solo

antes da semeadura, a qual apresentou os resultados contidos na Tabela 1, segundo metodologia utilizada pelo IAPAR (8).

TABELA 1 – Análise química do solo.

P	MO	pH	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al	Cu	Zn	Fe	Mn
Mg.dm <sup>-3</sup> Mehlich-1	g.dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----				%	-----mg.dm <sup>-3</sup> -----			
2,41	15,41	5,01	6,21	0	0,19	5,29	2,51	7,9	14,2	56	0	2,0	2,7	19	61

A coleta do material vegetal para análise química foi realizada no florescimento, coletando-se 10 folhas por parcela (folha oposta e abaixo da espiga principal), num total de 36 amostras, que foram secas, moídas e armazenadas. Juntamente com a coleta de tecido vegetal foram realizadas coletas de amostras de solo sendo três sub-amostras na linha de plantio e três sub-amostras na entrelinha. As amostras da linha foram misturadas formando uma amostra composta. O mesmo foi feito com as amostras da entrelinha, perfazendo num total 72 amostras. Estas foram secas (48 h a 65°C) e peneiradas (< 0,2 mm).

A extração de Zn do solo foi realizada nas 72 amostras utilizando-se os extratores Mehlich-1 e DTPA. As determinações dos teores de N, P e K no tecido foliar foram realizadas segundo metodologia do IAPAR (7), e a determinação de Zn foliar foi realizada por digestão nitro-peróxida e técnica de espectrometria de absorção atômica

modalidade chama.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de variância demonstrou efeito da interação entre as doses de Zn e adubação NPK (Tabela 2). Pelo desdobramento da interação, verificou-se que na maior dose de Zn (10 mg dm<sup>-3</sup>) aplicada no solo, ocorreu maior disponibilização deste elemento no tecido foliar mas de acordo com o incremento da adubação NPK, pois a medida que aumentaram-se as doses de NPK diminuíram-se os teores de Zn na folha. Isso pode ser justificado pelo efeito da diluição do Zn em relação à adubação com NPK ou a efeitos antagônicos entre P e Zn.

TABELA 2 – Teores de Zn no tecido foliar de acordo com o desdobramento da interação adubação NPK - Zn.

Zn aplicado (mg.dm <sup>-3</sup> )		N – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – K <sub>2</sub> O (kg.ha <sup>-1</sup> )	
	0	30 - 100 - 50	60 - 200 - 100
0	21,8 b B	24,0 b AB	26,0 a A
5	33,5 a A	25,0 b B	28,7 a AB
10	40,2 a A	37,2 a AB	30,0 a B
DMS		4,6655	
CV (%)		15,59	

É freqüente na literatura a deficiência de Zn causada por altos níveis de P no substrato, principalmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al, devido à adsorção do Zn. Malavolta (11) cita que a deficiência de Zn induzida pelo P é conhecida na literatura há muito tempo e a aplicação de adubos fosfatados freqüentemente intensifica uma deficiência marginal de Zn limitando a produção. Segundo o autor várias explicações são utilizadas para entender esse fenômeno: o P diminui a absorção do Zn por um processo de inibição; o excesso de P absorvido reduz a quantidade de Zn que da raiz vai para a parte aérea, dependendo do pH e da concentração de fosfato no

meio poderá haver precipitação do Zn pelo P na superfície das raízes; a adição do P provoca maior produção de matéria seca e, portanto, diluição no teor de Zn no tecido que pode cair abaixo do nível adequado quando então a deficiência aparece e o crescimento fica limitado pela falta do micronutriente.

Os resultados de Zn obtidos no solo com os diferentes extratores (Mehlich-1 e DTPA) são apresentados nas tabelas 3 e 4. Com relação ao Zn extraído por Mehlich-1 (Tabela 3), as doses de 5 e 10 mg.dm<sup>-3</sup> de Zn foram as que apresentaram os valores mais elevados deste metal, diferenciando-se estatisticamente da testemunha.

TABELA 3 – Teores médios de Zn extraídos do solo pelo extrator Mehlich-1.

Variável Zn extraído por Mehlich-1		
Doses (mg.dm <sup>-3</sup> )	Médias (mg.dm <sup>-3</sup> )	Comparações a 5 %
10	30,3	A
5	22,4	A
0	6,1	B
DMS	11,9975	
CV (%)	60,68	

Letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os valores de Zn extraídos por DTPA (Tabela 4) demonstraram diferenças significativas também entre a testemunha e os tratamentos 5 e 10 mg dm<sup>-3</sup>. Pode-

se verificar que os teores de Zn disponível no solo, tanto para Mehlich-1 como para DTPA, apresentaram-se de forma crescente conforme o incremento da dose.

TABELA 4 – Teores médios de Zn extraídos do solo pelo extrator DTPA.

Variável Zn extraído por DTPA		
Doses (mg.dm <sup>-3</sup> )	Médias (mg.dm <sup>-3</sup> )	Comparações a 5 %
10	26,8	A
5	17,9	A
0	2,8	B
DMS	10,8567	
CV (%)	67,72	

Letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Nas três doses de Zn pode se verificar que o Mehlich se sobressaiu quando comparado ao DTPA (Tabelas 3 e 4). Segundo Galvão (5), pode ocorrer influência do próprio extrator no pH do solo. Assim extratores ácidos como o Mehlich-1, podem extrair mais Zn do solo, podendo extrair níveis superiores ao disponível para a planta, já os extratores complexantes como o DTPA, extraem menos Zn do solo, apontando para maior eficácia do primeiro em solos mais ácidos e do segundo em solos alcalinos.

A concentração do Zn disponível pode ser explicada devido ao pH ácido determinado no solo (Tabela 1), pois segundo Brady (3), a grande variabilidade dos solos é um fator importante na diferenciação da concentração de Zn disponível de um

solo para outro, sendo a disponibilidade e a solubilidade altamente dependentes do pH, ao ponto que para cada unidade de aumento deste, a concentração de Zn na solução de solo decresce 100 vezes.

A análise de variância demonstrou diferença estatística nos teores de Zn em função das doses aplicadas com relação à fitodisponibilidade (Tabela 5). Com o incremento das doses de Zn no solo, independentemente da adubação NPK, houve acréscimos significativos de Zn no tecido foliar. Korndörfer (9) também verificou que os teores de Zn na folha do milho aumentaram significativamente com as doses de Zn aplicada. No tratamento com 10 mg dm<sup>-3</sup>, ocorreu a maior disponibilidade do elemento para a planta.

TABELA 5 – Teores médios de Zn no tecido foliar (fitodisponibilidade) em função das doses deste micronutriente.

Doses de Zn (mg.dm <sup>-3</sup> )	Zn (Teores médios em mg.dm <sup>-3</sup> )	Comparações a 5%
10	35,87	A
5	29,10	B
0	23,93	C
CV (%)	14,285 %	

Letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

De acordo com Buzetti (4), o teor de Zn nas plantas varia bastante, dependendo das espécies e de fatores do solo. Normalmente, os teores encontram-se na faixa de 20 a 50 mg.dm<sup>-3</sup>, sendo freqüentes sintomas de deficiência quando as plantas apresentam teores menores do que 20 mg.dm<sup>-3</sup>.

Assim, pode-se verificar na tabela 5 que os teores de Zn no tecido foliar encontram-se na faixa verificada

normalmente nas plantas. Na dose 0 mg.dm<sup>-3</sup> de Zn verifica-se teores adequados do elemento no tecido foliar, demonstrando possivelmente que o teor original do solo já apresentava índices adequados.

Observando as figuras 1 e 2 nota-se que ambos os extratores proporcionam correlação entre Zn extraído do solo com o Zn acumulado na parte aérea da planta, com valor maior de R<sup>2</sup> para o DTPA.

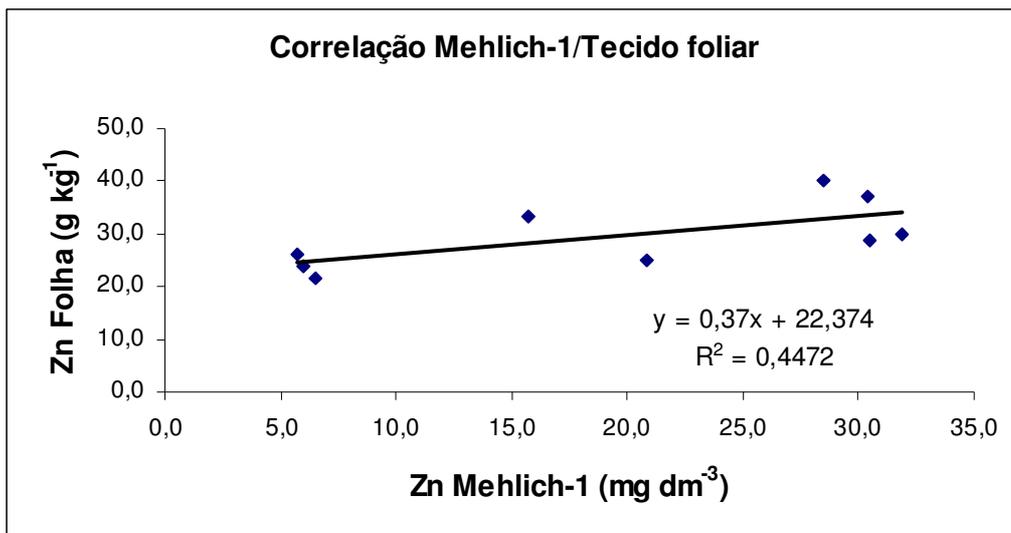


FIGURA 1 – Correlação entre os teores de Zn extraídos pelo método Mehlich-1 e teores de Zn presentes no tecido foliar do milho.

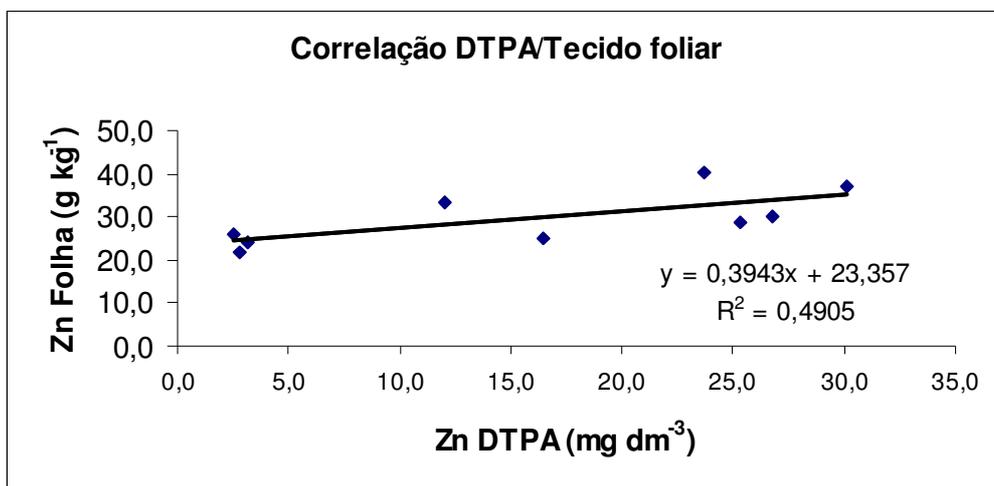


FIGURA 2 – Correlação entre os teores de Zn extraídos pelo método DTPA e teores de Zn presentes no tecido foliar do milho.

De acordo com Abreu e Rajj (1), que estudaram o efeito da reação do solo no Zn extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1, o extrator DTPA mostrou melhores resultados com valores altos e positivos de correlação entre os teores de Zn na planta e no solo que o extrator Mehlich-1. Concluindo que a mudança na disponibilidade de Zn, decorrente da reação do solo, foi mais bem avaliada pela solução de DTPA.

Os resultados apresentados para os extratores são médias compostas dos valores do elemento extraídos pelo Mehlich -1 e DTPA, oriundos de

amostras coletadas nas linhas e entrelinhas, com o objetivo de se obter uma média geral para parcela. Correlacionando-se os valores de Zn obtidos pelos extratores, observa-se uma alta relação entre ambos os métodos, sendo o  $R^2$  igual a 98% sugerindo pouca diferença entre os métodos de extração (Figura 3). Ao se analisar a figura 3, nota-se que os valores extraídos pelo DTPA e Mehlich foram altamente significativos. Portanto, ambos os extratores podem ser utilizados na determinação dos teores de Zn em solos de textura média.

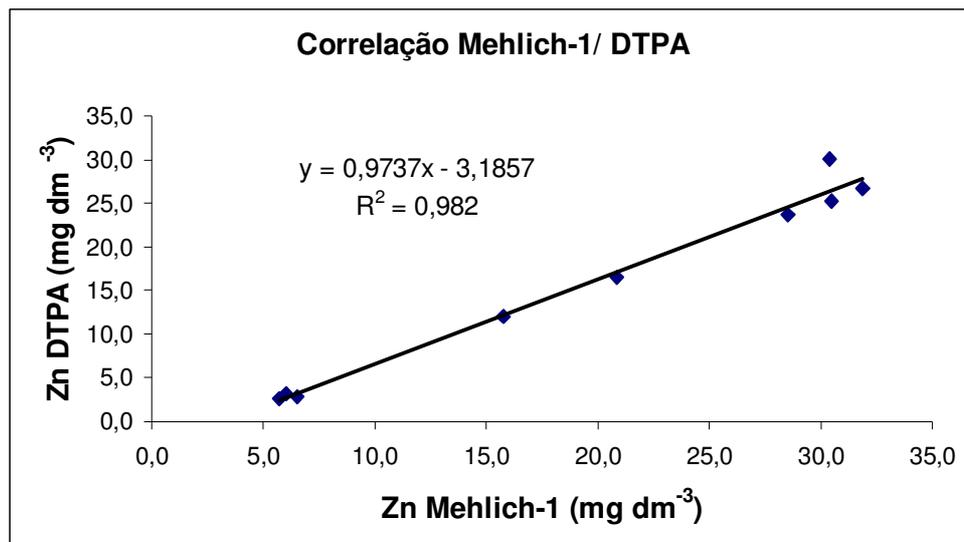


FIGURA 3 – Correlação entre os teores de Zn extraídos do solo por Mehlich-1 e DTPA.

### CONCLUSÃO

Os extratores Mehlich-1 e DTPA demonstraram uma boa correlação entre os teores de Zn presentes

no solo e sua fitodisponibilidade no tecido foliar do milho. Os valores de Zn extraídos por Mehlich-1 e DTPA foram altamente significativos mostrando a excelente correlação entre os mesmos para este solo.

### REFERÊNCIAS

1. ABREU, C.A. & RAIJ, B.V. **Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1.** Campinas: Bragantia, v. 55, p. 357-363, 1996.
2. BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B.V. **Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo.** Campinas: Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 13, p. 205-212, 1989.
3. BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, p. 506, 1983.
4. BUZETTI, S. **Estudo da eficiência de extratores químicos de zinco, no solo, para milho.** Campinas: Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 16, p. 367-372, 1991.
5. GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 19, p. 255-260, 1995.
6. HENDRICKSEN, R.E.; GILBERT, M.A. & PUNTER, L.D. **Effect of superphosphate application on macronutrient and micronutrient concentrations in grazed stytonative grass pasture in tropical Austrália.** Aust. J. Agric. Rés., v. 43, p. 1725-1738, 1992.
7. IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Análise química de tecido vegetal.** Londrina: IAPAR, 1992. 17 p. Circular, 74.
8. IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade.** Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. Circular 76.
9. KORNDÖRFER, G.H.; ALCANTARA, C.B.; HOROWITZ, N. & LANA, R.M.Q. **Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho.** Revista Scientia Agrícola, v. 52, n. 3, 1999.
10. LUCHESE, E.B.; LENZI, E.; RAUBER, T.; NAKASHIMA, P. & GALLI, D. **Levantamento preliminar dos teores de zinco e ferro nos solos do Paraná.** Arq. Biol. Tcnol., Curitiba, v. 33, p. 691-700, 1990.
11. MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.
12. McLAUGHLIN, M.J.; ZARCINAS, B.A.; STEVENS, D.P. & COOK, N. **Soil Testing for heavy metals.** Comm. Soil Sei. Plant . Anal., v. 31, p. 1661-1700, 2000.
13. OLIVEIRA, M.E.G.; NOVAIS, R.E.; NEVES, J.C.L.; VASCONCELOS, C.A. & ALVES, V.M.C. **Relação entre o zinco “disponível”, por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos.** Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 23, p. 827-836, 1999.
14. TOMÉ JR, J.B. **Manual para Interpretação de Análise de Solo.** Guaíba: Agropecuária Ltda. 1997. 240 p.

Recebido em 30/04/2004  
Aceito em 25/07/2006