

## Resposta de milho a Cd, Pb, Cu, Zn e Ni adicionados a 3 latossolos.<sup>(1)</sup>

**Nayara Nolasco Madeira<sup>(2)</sup>; Webert Saturnino Pinto<sup>(3)</sup>; Renildes Lucio Ferreira Fontes<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

<sup>(2)</sup> Estudante de Mestrado; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa; Minas Gerais; nayaranolasco@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Estudante de Agronomia; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa; Minas Gerais; webert.pinto@ufv.br

<sup>(4)</sup> Professor Associado; Depto de Solos; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa; Minas Gerais; renildes@ufv.br

**RESUMO:** A disponibilidade de metais pesados depende, entre outros fatores, das características do solo. Três latossolos Vermelho-amarelo (argiloso - Viçosa, arenoso - Três Marias, argilo-arenoso - João Pinheiro) com pH corrigido para 6,0 receberam nitratos de Cd, Pb, Zn, Cu e Ni nos níveis 0, 0,5, 1, 2, 4 e 8 combinados em 26 tratamentos (Matriz Baconiana com o nível 1 definido com (mg/dm<sup>3</sup>): 2 Cd, 46 Pb, 16 Cu, 46 Zn e 8 Ni. Plantas de milho (*Zea mays*) foram cultivadas 45 dias, colhidas, secas em estufa (75 °C, 72 horas) sendo o peso da matéria seca determinado. Após digestão nítrico-perclórica, os metais foram analisados (ICP-OES). O solo com maiores teores de argila, matéria orgânica e óxidos de Fe transferiu menores quantidades de metais para as plantas. Plantas cultivadas no LVA<sub>TG</sub> (5,40 dag/kg MO, 73 dag/kg argila) acumularam menos metais, refletindo a maior adsorção nesse solo. No solo LVA<sub>TM</sub> (1,80 dag/kg MO, 24 dag/kg argila) os metais nas plantas atingiram níveis mais altos. Os maiores teores de metais nas plantas crescidas no solo LVA<sub>TM</sub> resultaram em diminuição na produção de matéria seca em alguns tratamentos.

**Termos de indexação:** disponibilidade, metais pesados, solo.

### INTRODUÇÃO

Acúmulo de metais pesados em sistemas bióticos pode ocorrer por deposição atmosférica e atividades antrópicas. As características do solo controlam reações que podem favorecer esse acúmulo e refletir na transferência de metais para as plantas. Essa transferência deve ser avaliada considerando a disponibilidade do metal no solo a qual depende de sua solubilidade e mobilidade, assim como da eficiência de absorção e translocação pela planta (Alleoni et al., 2005). A absorção depende das propriedades do solo, espécie cultivada, cultivares, fertilizantes, manejo, e características da fonte do metal (Chaney, 2010). O Cd não é essencial para as plantas, entretanto, pode ser facilmente absorvido e translocado para a parte aérea (Green et al, 2003) sendo tolerado pelas plantas, em geral, na faixa de 0,05 a 0,2 µg g<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias, 2010). A suficiência de Zn

ocorre na faixa 27-150 µg g<sup>-1</sup> na matéria seca da folha (Kabata-Pendias, 2010), já para Pb, Ni e Cu, os níveis normais são 5-10, 0,1-5 e 5-30 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente (Kabata-Pendias, 2010).

O trabalho teve como objetivos: avaliar a transferência de Cu, Zn, Ni, Cd e Pb para plantas de milho cultivadas em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica; seu efeito no crescimento das plantas; e a determinação da disponibilidade desses metais por extração com Mehlich-3.

### MATERIAL E MÉTODOS

Três dm<sup>3</sup> de latossolos de três regiões de Minas Gerais (coletados na camada de 0-20 cm, secos ao ar e passados em peneira 4 mm) (Quadro 1) foram corrigidos por calagem, elevando-se a saturação por bases para 60 %. Em vasos plásticos, os solos receberam doses de Cd, Pb, Zn, Cu e Ni (nitratos), incubando-se por 25 dias (capacidade de campo), sendo adubados conforme recomendação para o milho em Minas Gerais (CFSEMG, 1999). Cd, Pb, Zn, Cu e Ni (níveis 0, 0,5, 1, 2, 4 e 8) foram combinados em Matriz Baconiana (26 tratamentos com nível 1 = 2 para Cd, 46 para Pb, 16 para Cu, 46 para Zn e 8 mg/dm<sup>3</sup> para Ni). As plantas foram colhidas 45 dias após semeadura, secas em estufa a 75 ° C por 72 horas, pesou-se a matéria seca e, após digestão nítrico-perclórica, determinou-se os teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni (ICP-OES). Em amostras de solo de cada vaso foram determinados (extração com Mehlich-3 e dosagem por ICP-OES) Cd, Pb, Zn, Ni e Cu. Foi feita análise de variância e testados os modelos linear, quadrático e cúbico para ajuste das equações de regressão para as relações entre o peso de matéria seca e teores de metais nas plantas e as doses dos metais aplicadas aos solos, por meio do SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) (Ribeiro Jr, 2001)

**Quadro 1. Características dos solos.**

Característica	LVA <sub>TG</sub>	LVA <sub>TM</sub>	LVA <sub>JP</sub>
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (1:2,5)	4,11	5,12	5,05
MO (dag/kg) <sup>1/</sup>	5,40	1,80	2,01
Areia (%) <sup>2/</sup>	20,00	25,00	41,00
Areia fina (%) <sup>2/</sup>	6,00	45,00	17,00
Silte (%) <sup>2/</sup>	1,00	6,00	3,00
Argila (%) <sup>2/</sup>	73,00	24,00	39,00

LVA<sub>TG</sub> = Viçosa; LVA<sub>TM</sub> = Três Marias; LVA<sub>JP</sub> = João Pinheiro;  
<sup>1/</sup>Walkley-Black (Defelipo e Ribeiro, 1981); <sup>2/</sup>Método Pipeta (EMBRAPA, 1997).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO****Produção de Matéria Seca**

A produção de matéria seca das plantas diminuiu em resposta a Cd, Pb, Zn, Ni e Cu adicionados ao solo (modelo quadrático, exceto para Zn onde o ajuste foi linear) (Quadro 2). Essa diminuição não foi seguida pelo aparecimento de sintomas visuais de toxidez. Provavelmente, as doses dos metais adicionadas ao solo foram suficientes para que as plantas absorvessem quantidades que interferissem negativamente no seu metabolismo, diminuindo o crescimento, mas não o suficiente para fazer com que os sintomas visuais de toxidez aparecessem.

**Quadro 2. Equações para matéria seca (MS) de milho em função de Cd, Pb, Ni, Cu and Zn adicionados aos solos.**

Metal	Equação	R <sup>2</sup>
CdMS-TG	$y = 0,5653 X^2 - 4,2797 X + 38,577$	0,9219
CdMS-TM	$y = 0,7148 X^2 - 5,2923 X + 34,758$	0,8026
CdMS-JP	$y = 0,4012 X^2 - 3,7691 X + 32,947$	0,8591
CdS-TG	$y = 6,3160 X - 1,1581$	0,9944
CdS-TM	$y = 1,4351 X + 1,7144$	0,9982
CdS-JP	$y = 4,6316 X - 1,0066$	0,9972
PbMS-TG	$y = 0,0009 X^2 - 0,1930 X + 40,843$	0,8629
PbMS-TM	$y = 0,0002 X^2 - 0,0908 X + 33,874$	0,8966
PbMS-JP	$y = 0,0002 X^2 - 0,0916 X + 35,082$	0,7166
PbS-TG	$y = 1,3239 X + 1,35$	0,9952
PbS-TM	$y = 0,8626 X - 2,2481$	0,9965
PbS-JP	$y = 1,3668 X - 13,139$	0,9732
CuMS-TG	$y = 0,0031 X^2 - 0,0218 X + 35,46$	0,7867
CuMS-TM	$y = 0,0024 X^2 - 0,0581 X + 31,47$	0,8750
CuMS-JP	$y = 0,0048 X^2 - 0,2276 X + 31,872$	0,9613
CuS-TG	$y = 0,7022 X - 0,0086$	0,9933
CuS-TM	$y = 0,7038 X - 5,1914$	0,9597
CuS-JP	$y = 0,6290 X - 1,6657$	0,9968
ZnMS-TG	$y = 0,1225 X + 38,819$	0,8811
ZnMS-TM	$y = 0,0851 X + 37,813$	0,8797
ZnMS-JP	$y = 0,0125 X + 32,613$	0,7191
ZnS-TG	$y = 0,8690 X + 18,571$	0,9759
ZnS-TM	$y = 0,5879 X + 8,1514$	0,9810
ZnS-JP	$y = 1,3668 X - 13,139$	0,9732
NiMS-TG	$y = 0,0053 X^2 - 0,5635 X + 40,597$	0,9139
NiMS-TM	$y = 0,0447 X^2 - 1,3231 X + 34,758$	0,8026
NiMS-JP	$y = 0,0172 X^2 - 0,8313 X + 34,059$	0,7967
NiS-TG	$y = 0,3661 X + 1,4343$	0,9896
NiS-TM	$y = 0,3113 X + 0,6657$	0,9966
NiS-JP	$y = 0,2849 X + 0,7114$	0,9740

e<sup>\*\*\*</sup> = Significativo aos níveis de 5% e 1%, respectivamente.

**Metais no Solo**

Os teores de Cd, Pb, Zn, Ni e Cu no solo (extração com Mehlich-3), aumentaram com a dose do metal adicionado (Quadro 2). Para os três solos esse aumento foi linear, mostrando que o extrator é sensível à evolução das formas dos metais no solo após a adição dos mesmos nas doses utilizadas.

Malavolta (1994) reporta como faixas de teores totais de metais que podem causar fitotoxidez: 3-8, 100-400, 60-125, 70-400 e 100 mg/dm<sup>3</sup> para Cd, Pb, Cu, Ni e Zn, respectivamente. Recentemente, Kabata-Pendias (2010) apresentou informações semelhantes com base nos teores máximos admissíveis de elementos traço em solos agrícolas de vários países, referenciados em anos diferentes para cada país. Esse autor reportou as médias dos limites superiores das faixas (informações para nove países) em mg/dm<sup>3</sup>: 6,5, 331, 171, 72, e 362 para Pb, Cd, Cu, Ni e Zn, respectivamente. Referências para as concentrações críticas de metais em solos também são encontradas em Hooda (2010), sendo periodicamente atualizadas com base nos avanços da pesquisa com elementos traços.

O extrator Mehlich-3 foi desenvolvido para determinação da disponibilidade de nutrientes essenciais no solo e, devido à sua formulação, permite uma análise multielementar. Tem sido usado para determinação da biodisponibilidade de elementos não essenciais como Cd e Pb, em trabalhos que avaliam o risco de transferência desses elementos potencialmente tóxicos do solo para as plantas. Entretanto, faltam valores de referências para faixas de disponibilidade desses elementos e solos, em relação ao crescimento das plantas. Para os metais estudados no presente trabalho, valores de referência para a comparação dos valores disponíveis são encontrados apenas para Zn e Cu [extração com Mehlich-1 (Alvarez V. et al, 1999 e DTPA (Raj et al, 1996)]. Na extração com Mehlich-1, com base nos valores de referência, teores acima de 2,2 mg/dm<sup>3</sup> Cu e 1,8 mg/dm<sup>3</sup> Zn são considerados altos (Alvarez V. et al, 1999), já para DTPA, a partir de 1,2 mg/dm<sup>3</sup> Zn e 0,8 mg/dm<sup>3</sup> Cu, são considerados elevados (Raj et al, 1996). O Mehlich-3 tem características comuns às do Mehlich-1 e do DTPA e tem sido proposto como alternativa para análise multielementar (em um mesmo extrato) na análise de rotina para avaliação da fertilidade do solo.

No solo TG, após extração com Mehlich-1, foram encontrados os maiores teores de Cu, Zn, Cd, Pb e Ni, para a maioria dos tratamentos, em comparação com os solos TM e JP. Esses resultados foram devidos aos teores de matéria orgânica e argila (5,4 e 73 dag/kg) desse solo, responsáveis pela maior

adsorção das formas iônicas dos metais à fração coloidal, mais expressiva no solo TG.

### Metais nas plantas

Os teores de metais na parte aérea e raízes aumentaram em resposta ao Cd, Pb, Cu, Ni e Zn aplicados ao solo (Quadro 3). Na parte aérea esse aumento foi linear para o Zn. Para todos os metais, tanto na parte aérea como na raiz, houve aumento dos teores dos metais que apresentou ajuste quadrático em resposta às doses adicionadas aos solos (Quadro 3). No solo TM que tem teores de argila e matéria orgânica em comparação a TG e JP (Quadro 1), as concentrações de Cd, Pb, Cu, Ni e Zn nas plantas de milho foram maiores. Com frações coloidais menos expressivas, o solo TM permitiu que uma maior quantidade de formas absorvíveis dos metais chegasse à região de absorção das raízes. Similarmente, os menores teores dos metais foram encontrados nas plantas cultivadas no solo TG onde a retenção catiônica é mais intensa devido à maior presença de colóides. Araújo e Nascimento (2005), em solos tratados com lodo de esgoto, mostraram esse efeito de colóides do solo na dinâmica das formas disponíveis de Zn.

**Quadro 3.** Equações para teores de Cd, Pb, Ni, Cu e Zn na parte aérea (PA) e raízes (R) (milho) em função de doses dos metais aplicadas aos Latossolos TG, TM e JP.

Metal	Equação	R <sup>2</sup>
CdPATG	$y = -0,0267 X^2 + 0,8057 X + 0,4847$	0,9629
CdPATM	$y = -0,1544 X^2 + 3,1817 X + 0,0138$	0,9806
CdPAJP	$y = -0,4427 X^2 + 3,3192 X + 1,2389$	0,9776
CdRTG	$y = -0,7533 X^2 + 3,6911 X + 4,6192$	0,9987
CdRTM	$y = -1,8296 X^2 + 59,561 X - 4,9162$	0,9992
CdRJP	$y = -1,0714 X^2 + 6,1354 X + 12,896$	0,9955
PbPATG	$y = -0,0006 X^2 + 0,1045 X + 1,9409$	0,9636
PbPATM	$y = -0,0005 X^2 + 0,0731 X + 1,707$	0,9744
PbPAJP	$y = -0,0004 X^2 + 0,0797 X + 2,8511$	0,962
PbRTG	$y = 0,073 X^2 + 0,4629 X + 62,109$	0,9966
PbRTM	$y = 0,0833 X^2 + 2,4231 X + 72,809$	0,9923
PbRJP	$y = 0,096 X^2 - 0,1263 X + 116,320$	0,9900
CuPATG	$y = -0,013 X^2 + 0,6873 X + 9,6078$	0,9827
CuPATM	$y = -0,0078 X^2 + 0,5181 X + 20,304$	0,9484
CuPAJP	$y = -0,0088 X^2 + 0,4747 X + 25,206$	0,9703
CuRTG	$y = -0,0079 X^2 + 0,5057 X + 19,911$	0,9927
CuRTM	$y = -0,0694 X^2 + 4,8623 X - 1,8017$	0,9726
CuRJP	$y = -0,0355 X^2 + 2,6197 X + 11,652$	0,9695
ZnPATG	$y = 2,6055 X - 13,133$	0,9837
ZnPATM	$y = 3,0643 X + 38,911$	0,9924
ZnPAJP	$y = 3,4675 X + 5,6143$	0,9933
ZnRTG	$y = -0,0079 X^2 + 8,3069 X - 2,9198$	0,9965
ZnRTM	$y = -0,0154 X^2 + 11,973 X + 134,21$	0,9656
ZnRJP	$y = -0,0133 X^2 + 10,87 X + 158,14$	0,9728
Ni PATG	$y = -0,0131 X^2 + 1,1404 X + 4,369$	0,9759
Ni PATM	$y = -0,0033 X^2 + 3,1072 X - 3,6897$	0,9530
Ni PAJP	$y = -0,0297 X^2 + 3,353 X - 4,6$	0,9901
Ni RTG	$y = 0,3022 X^2 - 1,8522 X + 12,495$	0,9913
Ni RTM	$y = 0,2997 X^2 - 1,2093 X + 11,647$	0,9969
Ni RJP	$y = 0,2338 X^2 + 0,0208 X + 9,6439$	0,9834

e = Significativo aos níveis de 5% e 1%, respectiv.

As concentrações de Cd, Zn, Cu, Ni e Pb nas raízes foram maiores do que na parte aérea em todos os tratamentos, contrariando o processo natural de mobilidade dos metais nos tecidos das plantas, que ocorre, geralmente, seguindo o fluxo da transpiração. A retenção dos metais nas raízes observada no presente trabalho indica diminuição da translocação das formas iônicas dos metais do sistema radicular para a parte aérea. Para elementos traço potencialmente tóxicos, essa inibição do transporte das formas iônicas é um possível mecanismo de defesa para a planta, que contribui para preservação do aparelho fotossintético que se localiza na parte aérea. No presente trabalho, este mecanismo, provavelmente, estará contribuindo para preservar a qualidade do grão de milho devido à menor possibilidade de translocação dos metais para os grãos, que resultaria em excesso na parte da planta usada como alimento.

### Correlação entre os metais no solo e sua absorção pelas plantas

Apenas no latossolo de Três Marias, onde se adicionou Cd, não houve correlação significativa entre o metal recuperado do solo por Mehlich-3 e o determinado na parte aérea do milho. Para todos os outros tratamentos com Pb, Zn, Cu e Ni, os teores na parte aérea das plantas correlacionaram com as doses aplicadas aos solos (Quadro 4).

Considerando-se os coeficientes de correlação para cada solo em separado, o Zn no LVATM apresentou o maior e o Cd, também no LVATM, apresentou o menor valor. Esse resultado se repetiu para os metais Zn e Cd quando se fez o cálculo dos coeficientes de correlação para o conjunto dos solos (Quadro 4) sendo as correlações significativas a 1% para Cu e Zn, a 5 % para Ni e a 10 % para Cd e Pb, mostrando que o extrator Mehlich-3 tem potencial para avaliação da disponibilidade desses metais para a cultura do milho. A maior confiabilidade seria para Zn e Cu e a menor para Cd e Pb, estando o Ni em posição intermediária.

Para se consolidar o Mehlich-3 como efetivo na rotina dos laboratórios de análise de solos, principalmente para elementos traço, essenciais ou não, mais estudos, com um maior número de solos e com outras culturas, são necessários. Os resultados do presente trabalho contribuem para o aumento da base de dados nessa área de pesquisa.

Para o Cu, os resultados aqui encontrados corroboram os resultados que mostram boa correlação entre Cu extraído por Mehlich-3 no solo e o Cu determinados em plantas de milho e soja por Cancela et al. (2001). Fontes et al. (2008) mostraram que Mehlich-3 é eficiente para extração



das frações disponíveis de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni para feijão e de Cd e Ni para alface em latossolos com características iguais às dos solos aqui utilizados. Por outro lado, Abreu et al. (1995) encontraram baixa eficácia do Mehlich-3 para a avaliação da disponibilidade de Ni para o trigo. Deve-se ressaltar que para várias culturas e em diferentes tipos de solos, o Mehlich-3 tem mostrado bons resultados.

O extrator Mehlich-3 pode contribuir para a avaliação da disponibilidade de Zn, Cu e Ni para as plantas, importante para a recomendação de adubação visando a disponibilização correta dos nutrientes para a nutrição das culturas. Já para Cd e Pb, o objetivo das análises é ter o controle de quanto desses elementos químicos podem ser transferidos para a planta em solos agrícolas.

**Quadro 4.** Coeficientes de correlação entre teores de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni na parte aérea e teores dos metais recuperados do solo (Mehlich-3).

	LVA <sub>TG</sub>	LVA <sub>TM</sub>	LVA <sub>JP</sub>	LVA <sub>TG, TM, JP</sub>
Cd-s x Cd-p	0,952 <sup>**</sup>	0,559 <sup>**</sup>	0,932 <sup>**</sup>	0,612 <sup>*</sup>
Pb-s x Pb-p	0,879 <sup>**</sup>	0,919 <sup>**</sup>	0,844 <sup>**</sup>	0,633 <sup>***</sup>
Cu-s x Cu-p	0,913 <sup>**</sup>	0,947 <sup>**</sup>	0,937 <sup>**</sup>	0,724 <sup>**</sup>
Zn-s x Zn-p	0,966 <sup>**</sup>	0,993 <sup>**</sup>	0,865 <sup>*</sup>	0,835 <sup>***</sup>
Ni-s x Ni-p	0,805 <sup>*</sup>	0,989 <sup>**</sup>	0,961 <sup>**</sup>	0,667 <sup>**</sup>

, \* e \*\* = Significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente (teste t).

## CONCLUSÕES

- Em solos arenosos, pobres em matéria orgânica e com altos teores de Cd, Pb, Zn, Cu e Ni, a transferência desses metais em excesso para as plantas representa um risco à qualidade do produto agrícola.

- Mehlich-3 é eficiente para extração de Cd, Pb, Zn, Cu e Ni disponíveis para o milho.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo suporte financeiro. RLFF agradece ao CNPq pela Bolsa Produtividade em Pesquisa. WSP agradece à FAPEMIG pela Bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; RAIJ, B. VAN; ABREU, M.F.; ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrients extractants for determination of available copper in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 763-771, 1996.

ALLEONI, L.R. F.; BORBA, R.P.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Torrado, P.V., Alleoni, L.R.F., Silva, M.A.L., Cardoso, E.J. (Eds.), *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2005. pp. 01-42.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro et al. eds. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: CFSEMG. 1999.p. 25-32.

CHANEY, R. 2010. Cadmium and Zinc. In: Hooda, P. S. (ed.). *Trace Elements in Soils*. Blackwell Publishing Ltd, UK. p. 410-439.

FONTES, R. L. F.; PEREIRA, J. M. N.; NEVES, J. C. L.; FONTES, M. P. F. Cadmium, lead, copper, zinc and nickel in lettuce and dry beans as related to Mehlich-3 extraction in three Brazilian latossols. *J. Plant Nutr.*, 31 (05): 884-901, 2008.

GREEN, C. E.; CHANEY, R. L. and BOUWKAMP, J. Interactions between cadmium uptake and phytotoxic levels of zinc in Hard Red Spring Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 26 (2): 417-430, 2003.

HOODA, P.. *Trace Elements in Soils*. Blackwell Publishing Ltd, UK. 2010. 616 p.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace elements in soils and plants*. Fourth Edition. Boca Raton, Flórida, CRC Press. 2010. 548p.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. ProduQuímica, São Paulo. 1994. 153p.

RAIJ, B. VAN. New diagnostic techniques, universal soil extractants. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 799-816, 1994..

RIBEIRO Jr., J. I. *Análise estatísticas no SAEG*. Viçosa, Minas Gerais: Imprensa Universitária-UFV. 2001.