

# LIBERAÇÃO DE Zn, Fe, Mn E Cd DE QUATRO CORRETIVOS DA ACIDEZ E ABSORÇÃO POR ALFACE EM DOIS SOLOS<sup>1</sup>

ALBERTO SILVEIRA DO AMARAL<sup>2</sup>, BRAZ VITOR DEFELIPO<sup>3</sup>,  
LIVOVANDO MARCIANO DA COSTA e MAURICIO PAULO FERREIRA FONTES<sup>4</sup>

**RESUMO** - Experimento em casa de vegetação foi conduzido, visando avaliar a liberação de zinco, ferro, manganês e cádmio de quatro corretivos da acidez do solo e absorção por plantas de alface, em dois solos de diferentes texturas. Os tratamentos foram obtidos com base no esquema fatorial 2 [2 (4+1) + 1]: dois solos, dois níveis de calagem, quatro corretivos de acidez do solo + CaCO<sub>3</sub> p.a. e tratamento adicional (testemunha), dispostos num delineamento em blocos causalizados, com três repetições. Após o cultivo houve redução dos valores de pH em água, aos níveis originais, e os valores de Al<sup>3+</sup> foram superiores aos encontrados nos solos virgens. Houve absorção e acúmulo de Zn, Fe, Mn e Cd na parte aérea da alface com a aplicação dos corretivos, nos dois solos estudados, e ocorreu maior disponibilidade, no solo de textura areia franca, dos micronutrientes Zn, Fe e Mn, não tendo havido diferença em relação ao cádmio.

Termos para indexação: micronutrientes, metais pesados.

## ZINC, IRON, MANGANESE AND CADMIUM RELEASED FROM FOUR LIMING MATERIALS AND THEIR ABSORPTION BY LETTUCE IN TWO SOILS

**ABSTRACT** - A greenhouse experiment was carried out to evaluate zinc, iron, manganese and cadmium release from four liming materials applied to two distinct soil textures and their absorption by lettuce. The treatments were based on factorial experiment 2 [2 (4+1) + 1]: two soils, two lime requirements, four liming materials + CaCO<sub>3</sub> and an additional treatment (control). They were arranged in the randomized blocks design with three replications. On the other hand, the soil pH decreased to original values after harvesting the lettuce, but the exchangeable aluminum was higher than that found in the control treatment. Absorption and accumulation of Zn, Fe, Mn and Cd in the lettuce shoots with lime materials increments was determined in both soils. The availability of Zn, Fe and Mn was higher in the sandy loam soil, but for Cd it was not observed.

Index terms: micronutrients, heavy metals.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo é o calcário. Todavia, a utilização de alguns resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade tem-se mostrado como alternativa viável para o aproveitamento de parte desses subprodutos da siderurgia. Dentre esses, as escórias têm sido mais

pesquisadas (Barber, 1984; Ribeiro et al., 1986; Louzada, 1987; Nogueira, 1990).

Além do Ca e do Mg, os calcários e os resíduos siderúrgicos apresentam outros nutrientes, normalmente micronutrientes (Allaway, 1968; Valadares et al., 1974), e podem também mostrar metais pesados (Parkian & Anderson, 1986; Amaral Sobrinho et al., 1992; Defelipo et al., 1992).

A ocorrência e distribuição de elementos-traços nos solos e plantas foi documentado por muitos autores (Hodgson, 1963; Allaway, 1968; Lisk, 1972), e é oportuno estudar a contribuição dos corretivos da acidez do solo como fonte de micronutrientes e outros elementos-traços indesejáveis, que façam parte de sua constituição química.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 4 de abril de 1994.

Extraído da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentado à Univ. Fed. de Viçosa.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Rua Melo Viana, 160 CEP 36900-000, Manhuaçu, MG.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., Dr.Sc., Prof.-Titular, Dep. de Solos, UFV, CEP 36570-000, Viçosa, MG.

<sup>4</sup> Eng.-Agr., Ph.D., Prof.-Titular, Dep. de Solos, UFV.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras superficiais (de 0 a 20 cm) de dois latossolos, coletadas nos Municípios de Monte Santo, MG e Paracatu, MG.

As amostras de solo, após destorroadas e homogeneizadas, foram secadas ao ar, passadas em peneira com malha de 2,0 mm de abertura, e caracterizadas química e fisicamente (Tabela 1).

Como corretivos da acidez do solo, utilizaram-se uma mistura de Gesso + Qmag-65 (produto com 91% de MgO), na relação 8:2 (G+Qmag-65), dois calcários dolomíticos ("A" e "B"), adquiridos no comércio do Estado de Minas Gerais, e uma escória de alto forno de siderurgia. Esses foram secados em estufa a 50°C durante doze horas, passados em peneira com malha de 0,25 mm de abertura (ABNT n° 60), considerando-se assim, uma reatividade de 100% (Meyer & Volk, 1952, Bellingeri, 1982), e caracterizados quimicamente (Tabela 2).

As amostras dos solos foram divididas em subamostras de 1,85 dm<sup>3</sup> (unidade experimental) e incubadas durante 16 dias, com a umidade em torno de 80% da capacidade de campo, com doses equivalentes a uma e duas vezes a necessidade de calagem do solo, segundo recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1989). As quantidades adicionadas de Zn, Fe, Mn e Cd pelos corretivos correspondentes às doses equivalentes aos níveis de calagem encontram-se na Tabela 3.

Findo o período de incubação, os solos receberam adubação básica com 340 mg/dm<sup>3</sup> de P, 150 mg/dm<sup>3</sup> de K e 100 mg/dm<sup>3</sup> de N, utilizando sais p.a., e no dia seguinte foram transplantadas para os vasos duas mudas selecionadas de alface, cultivar babá de Verão, com dez dias de idade, deixando, posteriormente, apenas uma muda por vaso. Em cobertura, foram aplicados 250 mg/dm<sup>3</sup> de N parcelados em cinco vezes, na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 50 mg/dm<sup>3</sup> de K na forma de KCl, e 0,81 mg/dm<sup>3</sup> de B; 1,33 mg/dm<sup>3</sup> de Cu e 0,15 mg/dm<sup>3</sup> de Mo, nas formas de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O e (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O.

Aos 43 dias do transplante, a parte aérea foi cortada à altura do coleto, secada a 70°C em estufa de circulação forçada de ar durante 72 horas, pesada, triturada e mineralizada, via úmida, digestão nítrico-perclórica. Nos extratos, foram feitas determinações dos teores de Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cd por espectrofotometria de absorção atômica; P, por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974); e K, por fotometria de chama (Defelipo & Ribeiro, 1981).

**TABELA 1. Características físicas e químicas das amostras de dois latossolos, coletadas nos municípios de Paracatu, MG e Monte Santo, MG.**

| Características  | PA             | MS           |
|--|----------------|--------------|
| C.O. (%) <sup>1</sup>                                    | 2,50           | 0,74         |
| pH em água (1:2,5)                                       | 5,20           | 4,80         |
| pH KCl 1 N <sup>2</sup>                                  | 4,20           | 3,94         |
| H + Al(meq)/100 cm <sup>3</sup> <sup>3</sup>             | 4,80           | 2,40         |
| Al <sup>3+</sup> (meq/100 cm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup> | 0,40           | 0,30         |
| Ca <sup>2+</sup> (meq/100 cm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup> | 0,20           | 0,70         |
| Mg <sup>2+</sup> (meq/100 cm <sup>3</sup> ) <sup>4</sup> | 0,20           | 0,54         |
| Na <sup>+</sup> (meq/100 cm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>  | 0,13           | 0,21         |
| K (ppm) <sup>5</sup>                                     | 46,00          | 80,00        |
| P (ppm) <sup>5</sup>                                     | 0,40           | 4,80         |
| Zn (ppm) <sup>5</sup>                                    | -              | -            |
| Fe (ppm) <sup>5</sup>                                    | 36,80          | 42,40        |
| Mn (ppm) <sup>5</sup>                                    | 4,98           | 6,52         |
| Soma de bases (meq/100 cm <sup>3</sup> )                 | 0,65           | 1,65         |
| CTC efetiva (meq/100 cm <sup>3</sup> )                   | 1,05           | 1,95         |
| CTC a pH 7,0 (meq/100 cm <sup>3</sup> )                  | 5,45           | 4,05         |
| Saturação de bases (%)                                   | 11,93          | 40,74        |
| Saturação de alumínio (%)                                | 38,09          | 15,38        |
| SiO <sub>2</sub> (%) <sup>6</sup>                        | 18,12          | 3,90         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) <sup>6</sup>          | 24,35          | 5,86         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) <sup>6</sup>          | 8,40           | 2,20         |
| TiO <sub>2</sub> (%) <sup>6</sup>                        | 2,98           | 1,21         |
| Ki <sup>17</sup>   | 1,26           | 1,13         |
| Kr <sup>18</sup>   | 1,03           | 0,91         |
| Areia grossa (%)   | 05             | 51           |
| Areia fina (%)   | 03             | 29           |
| Silte (%) <sup>19</sup>                                  | 26             | 09           |
| Argila (%) <sup>19</sup>                                 | 66             | 11           |
| Classe textural  | Muito argiloso | Areia franca |

<sup>1</sup> Método Walkley & Black (Defelipo & Ribeiro, 1981).

<sup>2</sup> Relação 1:2,5 (Defelipo & Ribeiro, 1981).

<sup>3</sup> Extraído com acetato de cálcio 1 N, pH 7,0.

<sup>4</sup> Extrator KCl 1 N (Defelipo & Ribeiro, 1981).

<sup>5</sup> Extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1981).

<sup>6</sup> Ataque sulfúrico (Vettori, 1969).

<sup>17</sup> Ki = 1,7 x [% SiO<sub>2</sub> / % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>].

<sup>18</sup> Kr = 1,7 x [% SiO<sub>2</sub> / (% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0,6375 x % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)].

<sup>19</sup> Método da pipeta, dispersão NaOH 1 N (EMBRAPA, 1979).

Depois do período de incubação e da colheita, foram retiradas subamostras de solo de cada unidade experimental, para determinação de pH em água, e Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, determinados conforme Defelipo & Ribeiro (1981); Zn, Fe, Mn e Cd, extraídos com Mehlich-1 na relação solo-solução de 1:10 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, num delineamento em blocos casualizados, com três repetições, e para as análises de variância utilizou-se um esquema fatorial 2 [2(4+1)+1]: dois solos, dois níveis de calagem, quatro corretivos da acidez mais CaCO<sub>3</sub> p.a., e testemunha como tratamento adicional, totalizando, assim, 22 tratamentos com 66 unidades experimentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela Tabela 4, observa-se que a aplicação dos corretivos nas amostras dos dois solos elevaram os valores de pH em água, após o período de incubação, e neutralizou o Al trocável. Estes resultados vêm mostrar que os quatro materiais utilizados comportaram-se eficientemente como corretivos da acidez do solo, o que foi justificado pelo poder de neutralização de cada um. Os valores de pH em água no solo de Monte Santo foram superiores aos mesmos para o solo de Paracatu, evidenciando o maior poder-tampão deste último, consequência de seus teores mais elevados de argila e matéria orgânica (Tabela 1). Após o cultivo, os valores de pH em água, nos dois solos, em todos os tratamen-

tos, se reduziram a valores menores que antes da incubação (Tabela 4). Tal fato provavelmente foi em virtude das aplicações de N em cobertura com sulfato de amônio; esse resultado se assemelha com o encontrado por Adams (1984).

**TABELA 2. Composição química e poder de neutralização das amostras dos corretivos (%).**

| Corretivos        | PN <sup>1</sup> |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | %               |                 |                 |                 |                 |
|                   | CaO             | MgO             |                 |                 |                 |
| CaCO <sub>3</sub> | 100,0           | 56,00           | -               |                 |                 |
| G+Qmag-65         | 41,5            | 28,25           | 17,00           |                 |                 |
| Dol "A"           | 106,0           | 39,22           | 17,39           |                 |                 |
| Dol "B"           | 91,5            | 31,38           | 16,37           |                 |                 |
| Escória           | 85,0            | 30,60           | 13,27           |                 |                 |
|                   | Zn <sup>2</sup> | Fe <sup>2</sup> | Mn <sup>2</sup> | Cd <sup>2</sup> | Pb <sup>2</sup> |
|                   | ppm             |                 |                 |                 |                 |
| CaCO <sub>3</sub> | -               | -               | -               | -               | -               |
| G+Qmag-65         | 13              | 3.086           | 1.082           | 0,61            | 4               |
| Dol "A"           | 30              | 1.621           | 84              | 2,94            | 39              |
| Dol "B"           | 12.948          | 46.434          | 3.125           | 107,20          | 2.851           |
| Escória           | 1.427           | 139.118         | 14.054          | 7,50            | 252             |

<sup>1</sup> Extrator HCl 1 N (Defelipo & Ribeiro, 1981).

<sup>2</sup> Extrator HF + HClO<sub>4</sub>, relação 5:1 (Tessier et al., 1979).

**TABELA 3. Quantidade total adicionada de Zn, Fe, Mn e Cd, em cada unidade experimental (vaso com 1,85 dm<sup>3</sup> de solo) em função dos teores de cada elemento nos corretivos e das doses NC e 2NC, colocadas nas amostras dos dois solos.**

| Corretivos | Solo de Paracatu, MG    |         |        |       |                   |         |        |       |
|------------|-------------------------|---------|--------|-------|-------------------|---------|--------|-------|
|            | NC*                     |         |        |       | 2NC**             |         |        |       |
|            | Zn                      | Fe      | Mn     | Cd    | Zn                | Fe      | Mn     | Cd    |
|            | -----mg/vaso-----       |         |        |       | -----mg/vaso----- |         |        |       |
| G+Qmag     | 0,065                   | 15,357  | 5,380  | 0,003 | 0,130             | 30,714  | 10,760 | 0,006 |
| Dol "A"    | 0,073                   | 3,955   | 0,205  | 0,007 | 0,146             | 7,916   | 0,410  | 0,014 |
| Dol "B"    | 36,643                  | 131,408 | 8,844  | 0,303 | 73,286            | 262,816 | 17,688 | 0,606 |
| Escória    | 4,352                   | 424,310 | 42,865 | 0,023 | 8,705             | 848,620 | 85,730 | 0,046 |
|            | Solo de Monte Santo, MG |         |        |       |                   |         |        |       |
|            | NC*                     |         |        |       | 2NC**             |         |        |       |
|            | Zn                      | Fe      | Mn     | Cd    | Zn                | Fe      | Mn     | Cd    |
|            | -----mg/vaso-----       |         |        |       | -----mg/vaso----- |         |        |       |
| G+Qmag     | 0,043                   | 10,218  | 3,580  | 0,002 | 0,086             | 20,440  | 7,160  | 0,004 |
| Dol "A"    | 0,049                   | 2,642   | 0,137  | 0,005 | 0,098             | 5,284   | 0,274  | 0,010 |
| Dol "B"    | 24,213                  | 86,832  | 5,844  | 0,200 | 48,425            | 173,663 | 11,688 | 0,400 |
| Escória    | 2,882                   | 281,018 | 28,389 | 0,015 | 5,765             | 562,036 | 56,778 | 0,032 |

\* NC - Necessidade de calagem.

\*\* 2 NC - Duas vezes a necessidade de calagem

**TABELA 4. Valores de pH em água, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>, extraídos das amostras de solo de Paracatu, MG e Monte Santo, MG, após o período de incubação e após o cultivo.**

| Tratamento            | Após incubação   |                         |                  |                  | Após 1 <sup>o</sup> cultivo |                         |                  |                  |
|-----------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
|                       | pH <sup>11</sup> | Ca <sup>2+</sup>        | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | pH <sup>11</sup>            | Ca <sup>2+</sup>        | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> |
|                       |                  | meq/100 cm <sup>3</sup> |                  |                  |                             | meq/100 cm <sup>3</sup> |                  |                  |
| <b>Solo PA</b>        |                  |                         |                  |                  |                             |                         |                  |                  |
| Testemunha            | 5,40             | 0,16                    | 0,16             | 0,38             | 4,60                        | 0,19                    | 0,15             | 0,62             |
| NC CaCO <sub>3</sub>  | 5,80             | 2,40                    | 0,17             | -                | 4,27                        | 2,06                    | 0,09             | 0,59             |
| NC G+Qmag-65          | 5,43             | 1,93                    | 2,80             | 0,10             | 4,33                        | 1,79                    | 1,58             | 0,52             |
| NC DOL "A"            | 5,83             | 1,09                    | 1,12             | -                | 4,30                        | 1,18                    | 0,78             | 0,69             |
| NC DOL "B"            | 6,00             | 1,50                    | 1,22             | -                | 4,37                        | 1,36                    | 0,59             | 0,66             |
| NC Escória            | 5,87             | 1,24                    | 1,36             | -                | 4,30                        | 1,16                    | 0,61             | 0,69             |
| 2NC CaCO <sub>3</sub> | 6,53             | 4,41                    | 0,17             | -                | 4,47                        | 3,97                    | 0,03             | 0,36             |
| 2NC G+Qmag-65         | 5,90             | 4,04                    | 3,79             | -                | 4,60                        | 4,11                    | 2,47             | 0,33             |
| 2NC DOL "A"           | 6,47             | 2,38                    | 2,45             | -                | 4,47                        | 2,08                    | 1,57             | 0,30             |
| 2NC DOL "B"           | 6,50             | 2,51                    | 1,81             | -                | 4,57                        | 2,52                    | 1,01             | 0,33             |
| 2NC Escória           | 6,37             | 2,36                    | 2,06             | -                | 4,50                        | 2,02                    | 1,25             | 0,36             |
| <b>Solo MS</b>        |                  |                         |                  |                  |                             |                         |                  |                  |
| Testemunha            | 4,97             | 0,95                    | 0,75             | 0,28             | 4,77                        | 0,83                    | 0,24             | 0,33             |
| NC CaCO <sub>3</sub>  | 6,33             | 2,67                    | 0,45             | -                | 4,33                        | 2,89                    | 0,33             | 0,36             |
| NC G+Qmag-65          | 5,80             | 2,99                    | 2,48             | -                | 4,57                        | 2,25                    | 1,27             | 0,29             |
| NC DOL "A"            | 6,43             | 2,02                    | 2,02             | -                | 4,47                        | 1,67                    | 0,93             | 0,30             |
| NC DOL "B"            | 6,30             | 1,69                    | 1,36             | -                | 4,47                        | 2,13                    | 0,66             | 0,26             |
| NC Escória            | 6,23             | 2,03                    | 1,50             | -                | 4,47                        | 1,93                    | 0,76             | 0,26             |
| 2NC CaCO <sub>3</sub> | 7,40             | 4,42                    | 0,31             | -                | 4,57                        | 5,24                    | 0,35             | 0,20             |
| 2NC G+Qmag-65         | 6,70             | 4,52                    | 3,86             | -                | 4,57                        | 3,73                    | 2,89             | 0,23             |
| 2NC DOL "A"           | 6,60             | 2,43                    | 2,14             | -                | 4,43                        | 2,72                    | 1,83             | 0,30             |
| 2NC DOL "B"           | 6,67             | 2,73                    | 1,93             | -                | 4,47                        | 3,06                    | 1,62             | 0,23             |
| 2NC Escória           | 7,00             | 3,02                    | 2,32             | -                | 4,53                        | 3,02                    | 1,22             | 0,30             |

<sup>11</sup> pH em água - Relação 1:2,5 (Defelipo & Ribeiro, 1981). Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> - KCl 1 N (Defelipo & Ribeiro, 1981).

Pela Tabela 5, dos conteúdos de Zn, Fe, Mn e Cd na parte aérea da alfaca e pela Tabela 6, da análise de variância deles, detecta-se que houve absorção e acúmulo significativo desses elementos na parte aérea da alfaca, diferenciando-se entre os corretivos, tendo sobressaído em cada corretivo certo elemento, conforme o teor deste em sua constituição, com exceção do corretivo dolomítico "A", provavelmente devido aos pequenos teores deles em sua constituição química. É importante salientar que altos teores destes micronutrientes nos corretivos da acidez do solo, de origem semelhante à dos do presente estudo, são potencial-

mente disponíveis para as plantas de alfaca com a diminuição do pH do solo.

A mistura G+QMAG-65 proporcionou valores no conteúdo de Mn de 822 µg/vaso acima dos encontrados no tratamento CaCO<sub>3</sub> p.a., quando cultivado no solo argiloso. Nos próximos cultivos, espera-se, com a acidificação do solo e o esgotamento de Mn nativo, que essa diferença deverá aumentar. O calcário dolomítico "B" aumentou os conteúdos de Zn e Cd em todos os tratamentos em nível de significância de 1% de probabilidade, e o conteúdo de Mn na dose 2NC do solo argiloso em nível de 5% de probabilidade (Tabela 6), o que

**TABELA 5. Valores de matéria seca da parte aérea; conteúdo de Zn, Fe, Mn, Cd, Ca, Mg, K e P na parte aérea, em função dos diferentes tratamentos após o cultivo com alface nos dois solos cultivados.**

| Tratamento                 | ms     | Zn       | Fe       | Mn       | Cd     | Ca      | Mg    | K     | P     |
|----------------------------|--------|----------|----------|----------|--------|---------|-------|-------|-------|
|                            | g/vaso | µg/vaso  |          |          |        | mg/vaso |       |       |       |
| <b>Solo de Paracatu</b>    |        |          |          |          |        |         |       |       |       |
| Testemunha *               | -      | -        | -        | -        | -      | -       | -     | -     | -     |
| NC CaCO <sub>3</sub>       | 3,96   | 159,16   | 1.442,23 | 2.642,22 | 1,05   | 91,28   | 11,82 | 54,22 | 9,87  |
| NC G+Qmag-65               | 4,76   | 178,54   | 1.875,19 | 3.464,34 | 0,34   | 48,09   | 27,82 | 50,47 | 10,06 |
| NC DOL "A"                 | 4,82   | 180,78   | 1.440,74 | 1.924,12 | 0,93   | 63,45   | 26,75 | 54,62 | 6,75  |
| NC DOL "B"                 | 4,32   | 739,20   | 829,67   | 2.259,05 | 44,42  | 62,80   | 20,94 | 43,79 | 7,30  |
| NC Escória                 | 3,66   | 239,89   | 1.003,93 | 2.536,91 | 0,33   | 33,42   | 16,19 | 37,71 | 9,55  |
| 2NC CaCO <sub>3</sub>      | 6,59   | 141,50   | 3.469,34 | 3.384,70 | 2,48   | 281,15  | 13,24 | 88,60 | 17,34 |
| 2NC G+Qmag-65              | 6,84   | 252,80   | 2.569,65 | 4.261,46 | 0,60   | 99,49   | 72,94 | 67,67 | 15,96 |
| 2NC DOL "A"                | 6,51   | 274,78   | 4.146,00 | 3.816,82 | 9,73   | 185,92  | 75,56 | 59,02 | 12,76 |
| 2NC DOL "B"                | 5,64   | 2.788,32 | 3.777,49 | 4.788,59 | 195,20 | 127,91  | 67,95 | 47,36 | 11,55 |
| 2NC Escória                | 6,70   | 438,17   | 6.377,66 | 5.456,93 | 4,51   | 103,47  | 53,44 | 52,49 | 21,08 |
| <b>Solo de Monte Santo</b> |        |          |          |          |        |         |       |       |       |
| Testemunha *               | -      | -        | -        | -        | -      | -       | -     | -     | -     |
| NC CaCO <sub>3</sub>       | 7,06   | 420,10   | 1.169,42 | 2.020,58 | 5,11   | 90,48   | 27,74 | 60,83 | 37,53 |
| NC G+Qmag-65               | 3,79   | 190,32   | 809,90   | 918,44   | 2,56   | 42,25   | 29,68 | 32,99 | 7,40  |
| NC DOL "A"                 | 7,13   | 424,47   | 1.037,31 | 1.634,33 | 8,72   | 60,94   | 39,10 | 62,98 | 27,56 |
| NC DOL "B"                 | 6,37   | 1.218,31 | 859,90   | 1.908,32 | 81,88  | 77,11   | 39,85 | 58,61 | 21,58 |
| NC Escória                 | 5,63   | 371,02   | 1.207,00 | 2.061,52 | 4,18   | 75,96   | 28,81 | 42,98 | 20,21 |
| 2NC CaCO <sub>3</sub>      | 8,02   | 412,94   | 964,80   | 2.478,44 | 7,30   | 169,52  | 23,34 | 74,94 | 41,57 |
| 2NC G+Qmag-65              | 6,63   | 277,69   | 769,18   | 1.633,56 | 1,96   | 42,98   | 33,51 | 31,93 | 13,11 |
| 2NC DOL "A"                | 7,95   | 395,61   | 987,28   | 1.658,52 | 9,87   | 119,16  | 49,62 | 58,29 | 23,58 |
| 2NC DOL "B"                | 6,79   | 1.575,56 | 835,98   | 2.301,20 | 151,51 | 86,22   | 48,33 | 48,20 | 14,75 |
| 2NC Escória                | 8,01   | 455,57   | 768,91   | 3.144,86 | 7,76   | 112,79  | 56,99 | 56,70 | 36,68 |

\* Não teve material suficiente para análise

reflete claramente a composição química deste corretivo. As concentrações encontradas de Zn (191,36 a 494,38 ppm) e Cd (10,28 a 34,61 ppm) na parte aérea da alface foram muito acima do permitido pela legislação brasileira de alimentos, 50 ppm e 1 ppm respectivamente, para Zn e Cd (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 1985), e mesmo assim as plantas não apresentaram sintomas de toxidez, mas provavelmente com doses crescentes desse material poderá vir a aparecer. Este resultado está de acordo com observações de Baker & Bowers (1988), que, utilizando um solo contaminado por Cd (135 µg/g), encontraram, na parte aérea de alface, 155 µg/g, e con-

sideraram o limite de toxidez para essa cultura de aproximadamente 35 µg/g.

A escória aumentou os conteúdos de Fe e Mn somente na dose 2NC no solo argiloso, em nível de significância de 1% de probabilidade. Tal fato indica que no solo de Monte Santo, textura areia franca, com menor sítio de absorção, terá maior concentração de outros íons na solução do solo, podendo ocorrer interação negativa entre o Mn e outros elementos. Willams & Vlamis (1957); Shuman & Anderson (1976), observaram que níveis crescentes de Ca no meio, freqüentemente reduzem a absorção de Mn pelas raízes das plantas ou pela redução do seu transporte para a parte aé-

**TABELA 6. Análise de variância para os valores de matéria seca (G/Vaso); conteúdo de Zn, Fe, Mn e Cd ( $\mu\text{g}/\text{vaso}$ ); por extração nitro-perclórica, após o cultivo com alface, nas amostras de solo de Paracatu, MG e Monte Santo, MG.**

| Fonte de variação                         | GL | Quadrado médio |                |                |                |            |
|---|----|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
|   |    | ms             | Zn             | Fe             | Mn             | Cd         |
| Blocos                                    | 2  | 5,34           | 207.127,8*     | 241.888,8      | 1.221.989,0    | 1.443,9*   |
| Solos                                     | 1  | 27,58**        | 18.211,3       | 46.054.050,0** | 32.746.720,0** | 67,73      |
| Doses d/PA                                | 1  | 34,62**        | 1.725.084,0**  | 56.705.200,0** | 23.666.270,0** | 8.210,73** |
| CaCO <sub>3</sub> vs G+Qmag-65 d/NC d/PA  | 1  | 0,97           | 563,4          | 281.181,5      | 1.013.814,5    | 0,7        |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-A d/NC d/PA      | 1  | 1,12           | 701,1          | 3,3            | 773.507,9      | 0,0        |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-B d/NC d/PA      | 1  | 0,20           | 504.675,5**    | 562.838,6      | 220.228,9      | 2.821,9**  |
| CaCO <sub>3</sub> vs Escória d/NC d/PA    | 1  | 0,13           | 9.776,8        | 288.160,3      | 16.636,6       | 0,8        |
| CaCO <sub>3</sub> vs G+Qmag-65 d/2NC d/PA | 1  | 0,09           | 18.581,5       | 1.214.163,0    | 1.153.070,0    | 5,3        |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-A d/2NC d/PA     | 1  | 0,01           | 26.644,0       | 686.797,0      | 280.091,5      | 78,8       |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-B d/2NC d/PA     | 1  | 1,35           | 10.508.484,2** | 142.430,9      | 2.956.360,7*   | 55.711,5** |
| CaCO <sub>3</sub> vs Escória d/2NC d/PA   | 1  | 0,02           | 132.016,7      | 12.687.487,0** | 6.441.224,4**  | 6,2        |
| Doses d/MS                                |    | 16,53**        | 72.959,1       | 172.092,5      | 2.144.109,0    | 1.730,36*  |
| CaCO <sub>3</sub> vs G-Qmag-65 d/NC d/MS  | 1  | 16,07**        | 79.200,5       | 193.881,8      | 1.822.068,5    | 9,8        |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-A d/NC d/MS      | 1  | 0,01           | 28,7           | 26.179,6       | 223.780,1      | 19,5       |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-B d/NC d/MS      | 1  | 0,72           | 955.708,8**    | 143.703,9      | 18.903,5       | 8.839,7**  |
| CaCO <sub>3</sub> vs Escória d/NC d/MS    | 1  | 3,07           | 3.613,8        | 2.118,7        | 2.513,8        | 1,3        |
| CaCO <sub>3</sub> vs G+Qmag-65 d/2NC d/MS |    | 2,88           | 27.438,8       | 57.400,8       | 1.070.715,0    | 42,8       |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-A d/2NC d/MS     | 1  | 0,01           | 450,7          | 758,0          | 1.008.410,6    | 9,9        |
| CaCO <sub>3</sub> vs DOL-B d/2NC d/MS     | 1  | 2,27           | 2.027.527,9**  | 24.893,2       | 47.119,4       | 31.193,4** |
| CaCO <sub>3</sub> vs Escória d/2NC d/MS   | 1  | 0,00           | 2.726,4        | 57.557,4       | 666.167,4      | 0,3        |
| Resíduo                                   | 38 | 1,47           | 33.214,3       | 909.146,9      | 624.865,7      | 282,5      |
| CV (%)                                    |    | 20,03          | 32,7           | 52,5           | 29,12          | 62,197     |

\* e \*\* - Significativos a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

rea, segundo Ouellette & Dessureaux (1958). A sílica também parece ter o mesmo efeito, segundo Horst & Marsehner (1978) e Kluthcouski & Nelson (1980). Olsen (1972) e Knezek & Ellis (1980) destacam a existência de uma interação negativa do Mn com Fe.

## CONCLUSÕES

1. O calcário dolomítico "B" liberou, para as plantas de alface, Zn, Mn e Cd; porém os níveis de Cd e Zn adicionados às amostras dos dois solos, em estudo, pelo calcário dolomítico "B" não provocaram sintomas de toxidez na parte aérea da alface e nem limitaram sua produção, apesar de os teores de Cd e Zn encontrados serem muito acima

do permitido pela legislação brasileira de alimentos em vigor.

2. A escória liberou Fe e Mn para plantas de alface no solo argiloso.

3. A mistura G+QMAG-65 promoveu aumento no conteúdo de Mn na alface cultivada no solo argiloso.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, F. Crop response to lime in the Southern United States. In: ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. Madison: Amer. Soc. of Agron., 1984. p.211-266.
- ALLAWAY, W. H. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. **Advances in Agronomy**, New York, v.20, p.235-274, 1968.

- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Heavy metals in fertilizers and liming materials in the State of Minas Gerais. In: ANNUAL CONFERENCE ON TRACE SUBSTANCES IN ENVIRONMENTAL HEALTH, 25, 1991. **Proceedings...** Columbia, MO: [s.n.], 1992. p.95-103.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Compêndio da legislação dos alimentos**. São Paulo, 1985. n.p.
- BAKER, D. E.; BOWERS, M. E. Human health effects of cadmium predicted from growth and composition of lettuce in gardens contaminated by emissions from zinc smelters. In: ANNUAL CONFERENCE ON TRACE SUBSTANCES IN ENVIRONMENTAL HEALTH, 22, 1988. **Proceedings...** Missouri: [s.n.], 1988. p.281-295.
- BARBER, S. A. Liming materials and practices. In: ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. Madison: Amer. Soc. of Agron., 1984. p.171-209.
- BELLINGIERI, P. A. **Avaliação, em laboratório, da eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcário, na neutralização da acidez dos solos**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1982. 99p. Tese de Doutorado.
- BRAGA, J. H.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extrato de solos e plantas. **Revista Ceres, Viçosa**, v.21, p.73-85, 1974.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª aproximação**. Lavras: Ed. Nagy, 1989. 159p.
- DEFELIPO, B. V.; NOGUEIRA, A. V.; LOURES, E. G.; ALVAREZ V., V. H. Eficiência agrônômica de um resíduo de indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.127-131, 1992.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.15, p.119-159, 1963.
- HORST, W. H.; MARSEHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v.50, p.287-303, 1978.
- KLUTHCOWSKI, J.; NELSON, L. E. The effect of silicon on the manganese nutrition of soybeans [*Glycine max* (L.) Merril]. **Plant and Soil**, The Hague, v.56, p.157-160, 1980.
- KNEZEK, B. D.; ELLIS, B. G. Essential micronutrients IV: copper, iron, manganese, and zinc. In: DAVIES, B. E. **Applied soil trace elements**. New York: John Wiley, 1980. 482p.
- LISK, D. J. Trace metals in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.267-325, 1972.
- LOUZADA, P. T. C. **Efficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 52p. Tese de Mestrado.
- MEYER, T. A.; VOLK, G. W. Effect of particle size of limestones on soil reaction, exchangeable cations, and plant growth. **Soil Science**, Baltimore, v.73, p.37-52, 1952.
- NOGUEIRA, A. V. **Eficiência agrônômica, como fertilizante de um lodo de esgoto e de dois resíduos provenientes de indústria siderúrgica**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 85p. Tese de Mestrado.
- OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
- OUELLETTE, G. J.; DESSUREAUX, L. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.38, p.206-214, 1958.
- PARKPIAN, P.; ANDERSON, W. B. Iron availability from a steel industry by-product. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.9, p.1027-1038, 1986.

- RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATTOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez do solo. *Revista Ceres*, Viçosa, v.33, p.242-246, 1986.
- SHUMAN, L. M.; ANDERSON, O. E. Interactions of manganese with other ions in wheat and soybeans. *Communications Soil Science Plant Analysis*, New York, v.7, p.547-557, 1976.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, Amsterdam, v.51, p.844-850, 1979.
- VALADARES, J. M. A. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. *Bragantia*, Campinas, v.33, p.147-152, 1974.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WILLAMS, D. E.; VLAMIS, J. The effect of silicon on yield and Mn<sup>54</sup> uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. *Plant Physiology*, New York, v.32, p.404-409, 1957.