

ADUBAÇÃO DE CAFEIEIRO CONILON COM FERTILIZANTE MINERAL MISTO GRANULADO, FONTE DE MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES

Arieli Altoé¹, Felipe Vaz Andrade², Eduardo Stauffer³, José Carlos Polidoro⁴,
Renato Ribeiro Passos⁵, Lucas Santos Satiro⁶

(Recebido: 28 de setembro de 2015 ; aceito: 01 de março de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e a micronutrientes (zinco e boro), na forma de fertilizante granulado sobre o pH do solo, e os teores de cálcio e magnésio no solo, produção de matéria seca e conteúdo de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta, em experimento conduzido em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, distribuído em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por seis tratamentos (controle sem adubação; N + P + K; gesso agrícola; óxido de magnésio; gesso/MgO (70/30); gesso/MgO (70/30) + Zn + B; e as subparcelas compostas por nove períodos de amostragem. Os resultados mostraram teores superiores de cálcio ($1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio ($1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e zinco ($7,33 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo para os tratamentos com aplicação de gesso agrícola, granulados gesso/MgO (70/30) e gesso/MgO (70/30) + Zn + B, respectivamente. A aplicação de gesso agrícola também promoveu maiores conteúdos de cálcio (89,66 e 27,74 mg/planta nas folhas e nos caules, respectivamente) e maior produção de matéria seca de folhas (11,22 g/planta), de caules (5,67 g/planta) e de raízes (9,88 g/planta). O tratamento com granulado gesso/MgO (70/30) promoveu maiores conteúdos de Mg nas folhas (33,86 mg/planta), nos caules (13,36 mg/planta) e nas raízes (62,97 mg/planta). Os maiores conteúdos de B nas folhas (2,83 mg/planta) e nos caules (0,24 mg/planta) foram encontrados no tratamento gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Termos para indexação: Nutrição mineral, café, crescimento, fertilidade do solo.

COFFEE CONILON MANURING WITH MINERAL FERTILIZER MIXED GRANULES, MAGNESIUM SOURCE, SULPHUR AND MICRONUTRIENTS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the influence of the application of magnesium oxide associated with phosphogypsum and micronutrients (zinc and boron) in the form of granular fertilizer on the soil pH, calcium and magnesium in the soil, dry matter production and contents of calcium, magnesium, zinc and boron in plant, in an experiment carried out in a greenhouse. The experimental design was a randomized block with three replicates distributed in a split plot in time, the main plots consisting of six treatments (without fertilization control; N + P + K; phosphogypsum; magnesium oxide; phosphogypsum/MgO (70/30); phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B); and the split composed of nine sampling periods. The results show higher levels of calcium ($1.19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnesium ($1.87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and zinc (7.33 mg dm^{-3}) in the soil for treatments with application of phosphogypsum, granulated phosphogypsum/MgO (70/30) and phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B respectively. The application of phosphogypsum also shows higher calcium content (89.66 and 27.74 mg/plant leaves and stem, respectively) and higher dry matter production of leaves (11.22 g/plant), stem (5.67 g/plant) and roots (9.88 g/plant). Treatment with granulated phosphogypsum/MgO (70/30) show higher contents of magnesium (33.86 mg/plant), stem (13.36 mg/plant) and roots (62.97 mg/plant). The greatest contents in leaves B (2.83 mg/plant) and stem (0.24 mg/plant) are found in the treatment phosphogypsum/MgO (70/30) + Zn + B.

Index terms: Mineral nutrition, coffee, growth, soil fertility.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das lavouras cafeeiras no Brasil foi implantada em solos que apresentam limitações relacionadas à nutrição de plantas, tais como elevada acidez, toxidez de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (OLIVEIRA et al., 2005; SERAFIM et al., 2011), que prejudicam o crescimento de raízes superficiais e subsuperficiais.

Em culturas perenes, como o café, o calcário é o principal corretivo da acidez do

solo e fonte de Ca e Mg. Os efeitos da calagem (elevação do pH, dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , e neutralização do Al^{3+}) (PÁDUA; SILVA; DIAS, 2008; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007), normalmente restringem-se às zonas de aplicação ou imediatamente abaixo delas (VOLNEI et al., 2014). Os valores de pH e teores de Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} pouco se alteram em profundidade, devido às características químicas do calcário. A taxa de movimentação do Ca^{2+} e do Mg^{2+} no perfil é dependente da existência de ânions acompanhantes, principalmente, cloretos, nitratos

¹Incaper - Escritório Local de Desenvolvimento Rural/ELDR - Rua Constante Casagrande - n° 485 - Centro - 29.950-000 Jaguaré - ES - arielialtoe@yahoo.com.br

^{2,3,5,6}Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro de Ciências Agrárias/CCA - Rua Alto Universitário - Guararema 29.500-000 - Alegre - ES - felipe.andrade@ufes.br, eduardostauffer@hotmail.com, renato.passos@ufes.br, santosatiro@hotmail.com

⁴Embrapa Solos - Rua Jardim Botânico - n° 1.024 - Jardim Botânico - 22460-000 - Rio de Janeiro - RJ - polidorojc@gmail.com

e sulfatos, adicionados no solo (MORAES et al., 2007; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem sido utilizado como um subproduto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade do Al^{3+} e aumentar a concentração de Ca^{2+} , em profundidade (CUSTÓDIO et al., 2005; RAMPIM et al., 2011). A grande mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso se deve à maior solubilidade desse subproduto, em relação aos calcários e pela presença do íon sulfato na sua composição química (CAIRES et al., 2006).

Outro subproduto que apresenta potencial para ser utilizado na agricultura é o óxido de magnésio, produto intermediário do processo industrial de produção de refratários obtido da calcinação da magnesita (MgCO_3). A associação do óxido de magnésio com o gesso agrícola apresenta benefícios para o solo, pois o óxido de magnésio, além de fornecer Mg tem a capacidade de elevar o pH (corretivo de acidez do solo) e reduzir a saturação de alumínio trocável, enquanto o gesso agrícola fornece S e Ca, além de favorecer a movimentação de cálcio e de magnésio no perfil de solo (RAMOS et al., 2013).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar, em experimento conduzido em casa de vegetação, a influência da aplicação de óxido de magnésio associado ao gesso agrícola e aos micronutrientes (Zn e B), na forma de fertilizante granulado, sobre o pH do solo, e os teores de cálcio, magnésio e zinco no solo, produção de matéria seca e conteúdo de cálcio, magnésio, zinco e boro na planta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA - UFES) em Alegre - ES. O local situa-se a uma altitude aproximada de 250 m, com coordenadas geográficas $20^\circ 45' 48''$ de latitude Sul e $41^\circ 31' 57''$ de longitude Oeste. O clima predominante na região é do tipo Cwa (clima subtropical, quente e úmido no verão e seco no inverno), conforme classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23°C .

Para a realização deste experimento, foram coletadas amostras de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, na profundidade de 0,20 - 0,40 m. Após coletadas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar

(TFSA) e caracterizadas química e fisicamente, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) e Ruiz (2005), apresentando os seguintes resultados: : pH (em H_2O) = 5,4; P = $0,29 \text{ mg dm}^{-3}$; K = $35,18 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca = $0,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg = $0,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Zn = $1,36 \text{ mg dm}^{-3}$; Al = $0,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al = $1,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Soma de Bases = $1,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC potencial = $3,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC efetiva = $1,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V = $34,44 \%$; Areia = $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$; Silte = $0,05 \text{ kg kg}^{-1}$; Argila = $0,70 \text{ kg kg}^{-1}$.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, distribuído em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais compostas por seis tratamentos: controle sem adubação (T1); N + P + K (T2); gesso agrícola (T3); óxido de magnésio (T4); gesso/MgO (70/30) (T5); gesso/MgO (70/30) + Zn + B (T6); e as subparcelas compostas por nove tempos de coleta (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 e 180 dias após transplantio das mudas), totalizando 162 unidades experimentais.

O fertilizante granulado gesso/MgO (70/30) corresponde a 70 % de gesso agrícola e 30 % de óxido de magnésio. O granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B corresponde ao gesso/MgO (70/30), acrescido de 6 % de Zn (óxido de zinco) e 4 % de B (ulexita).

O gesso agrícola (28 % de CaO) foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 136 mg dm^{-3} de Ca. O óxido de magnésio (60 % de MgO), subproduto da calcinação da magnesita, foi aplicado na superfície do solo na forma de pó, com dose equivalente a 75 mg dm^{-3} de Mg.

As quantidades aplicadas do granulado gesso/MgO (70/30) e do granulado gesso/MgO (70/30) + Zn + B foram baseadas na quantidade de Mg aplicada no tratamento com óxido de magnésio, equivalendo a $6,82 \text{ g/vaso}$. Os granulados foram aplicados na superfície do solo.

Para todos os tratamentos, à exceção do controle, foram realizadas adubações com nitrogênio, fósforo e potássio. A adubação fosfatada e potássica foi realizada com 200 e 252 mg dm^{-3} de P e K (fosfato de potássio P. A.), respectivamente, em uma única aplicação, incorporando-se ao volume total de solo do vaso. A adubação nitrogenada foi realizada com 100 mg dm^{-3} de N (sulfato de amônio, P. A.) aplicado parcelado em doses de 20 mg dm^{-3} aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplantio das mudas, aplicado na forma de solução na superfície do solo.

O experimento foi conduzido utilizando-se uma muda do clone 02, da variedade clonal de café Incaper 8142 - Conilon Vitória por vaso. A muda foi plantada em vaso com o fundo vedado, com capacidade para 12 dm³, contendo 10 dm³ de solo. A irrigação foi realizada com água deionizada. A quantidade de água aplicada, por meio da pesagem diária, foi calculada através da capacidade de campo, determinada pelo extrator de placa porosa, a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988), mantendo o solo com a umidade de 60 % na capacidade de campo. O período experimental foi de seis meses.

Após cada período de coleta, os vasos de cada subparcela foram retirados e as plantas seccionadas a cerca de 0,01 m do solo, separando folhas, caules e raízes e secas em estufa (65 °C), para posterior determinação da produção de matéria seca de folhas (MSF), de caules (MSC) e de raízes (MSR), do cafeeiro.

Os teores de Ca, Mg e Zn nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica da matéria seca. Os teores de B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram determinados pelo método colorimétrico da azometina H, após digestão via seca por processo de incineração da matéria seca (EMBRAPA, 1997).

Os conteúdos de Ca, Mg, Zn e B nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro foram calculados multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos respectivos valores do peso da matéria seca, obtidos em cada amostragem ($C = MS \times T$, em que C = conteúdo do nutriente; MS = peso da matéria seca; e T = teor do nutriente).

Após cada período de amostragem, o solo dos vasos de cada subparcela foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm, procedendo-se às seguintes análises: pH em água, cálcio, magnésio e zinco, conforme EMBRAPA (1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos, dentro dos fatores qualitativos (aplicação de adubos) foram desdobrados em contrastes (ALVAREZ; ALVAREZ, 2006) e para o fator quantitativo (tempos de coleta), ajustados modelos de regressão. Ambos testados pelo teste F, nos níveis de 1 e 5 % de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos Nutricionais

Ao final do experimento foram observados valores de pH mais elevados para o T1, T5 e T6

(Figura 1). Para o T1 este fato pode estar relacionado à não realização da adubação nitrogenada (sulfato de amônio). Costa et al. (2008), trabalhando em pastagem de capim-marandu, verificaram que o sulfato de amônio promoveu maior acidificação do solo que a ureia, em todas as doses aplicadas.

Os valores de pH mais elevados nos T5 e T6 estão relacionados à presença do MgO na formulação do granulado; esse apresenta características de correção da acidez do solo.

A diminuição nos valores de pH, ao longo dos tempos de coleta, para T2, T3 e T4 (Figura 1) pode ser justificada pela maior produção de MSF, MSC e MSR (Figura 4) e aumento da absorção de nutrientes pelas plantas de café, ocorrendo a remoção de cátions de caráter básico do solo, resultando no aumento de formas trocáveis de H⁺ e Al³⁺ no complexo sortivo, conforme relatado por Araújo, Demattê e Garbuio (2009).

Não houve ajuste para os modelos de regressões com coeficientes significativos para os valores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Zn²⁺ no solo, em função do tempo de coleta (Figura 1).

O solo inicialmente se encontra com níveis baixos de Ca²⁺ e Mg²⁺ e médios de Zn²⁺ (PREZOTTI; DADALTO; OLIVEIRA, 2007) e, observando o contraste 1 (C1, Tabela 1), verifica-se que a adição de alguma forma de adubação favorece o incremento dos teores destes nutrientes no solo.

Os teores de Ca²⁺ no solo foram superiores nos T3, T4, T5 e T6, quando contrastados ao T2 (C2, Tabela 1). Esse resultado está relacionado ao maior teor de Ca²⁺ no solo no T3, que proporcionou aumento na média dos teores de Ca²⁺ nos T3, T4, T5 e T6.

Nos T4, T5 e T6, os teores de Ca²⁺ no solo não refletiram maiores conteúdos de cálcio nas folhas (Figura 2). Este fato pode estar relacionado às relações Ca:Mg no solo em T4 (relação 0,5:1), T5 (relação 0,4:1) e T6 (relação 0,5:1) serem menores quando comparadas ao T2 (relação 1,5:1) (Figura 1). Nestes casos, o excesso de Mg inibe a absorção de Ca pela planta devido ao efeito antagônico, conforme descrito por Medeiros et al. (2008) trabalhando com diferentes relações de Ca e Mg na cultura do milho.

Pelo contraste 3, verifica-se que a aplicação do T3 promoveu maiores teores de Ca²⁺ no solo e conteúdos mais elevados de Ca nas folhas, nos caules e nas raízes do cafeeiro (C3, Tabelas 1 e 2), provavelmente relacionado à maior relação Ca:Mg no solo em T3 (relação 3,6:1).

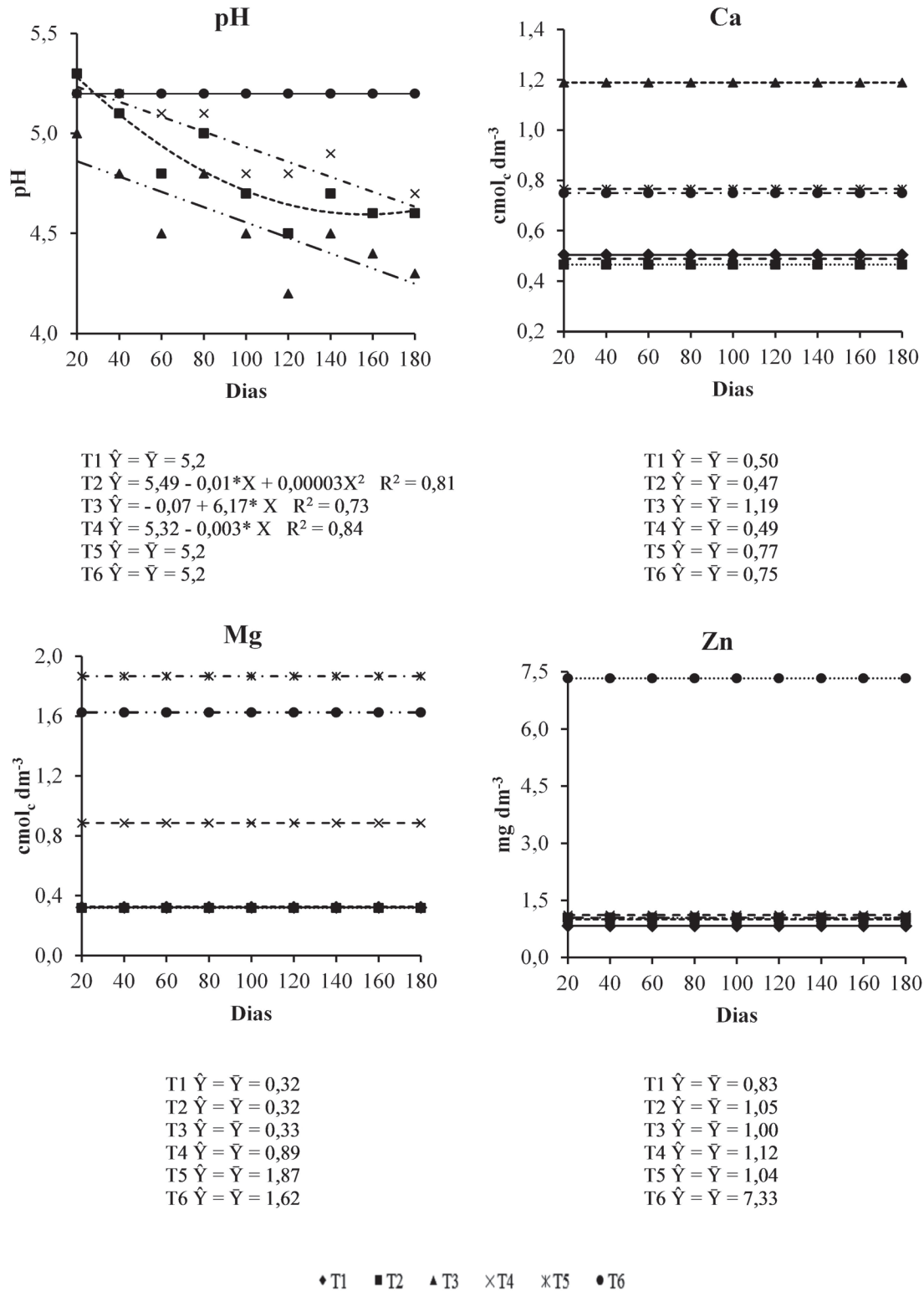


FIGURA 1 - Valores de pH em água, Ca²⁺, Mg²⁺ e Zn²⁺ no solo, para os tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

TABELA 1 - Contrastes das médias dos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Zn²⁺ no solo para os diferentes tratamentos.

Nutriente	Contrastes Ortogonais				
	C1	C2	C3	C4	C5
Ca	0,23**	0,33**	-0,43**	0,27**	-0,02 ^{ns}
Mg	0,68**	0,86**	1,42**	0,86**	-0,24**
Zn	1,47*	1,57*	3,18*	3,07*	6,29*

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 vs T3 (++,2-); C4: T5 + T6 vs T4 (++,2-); e C5: T6 vs T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B. **, * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

Este resultado corrobora aos encontrados por Büll e Nakagawa (1995), que trabalhando com relações Ca:Mg e adubação, observaram aumento na concentração de Ca no tecido foliar da cultura do milho, com o aumento da relação Ca:Mg no solo.

Analisando o contraste 4, observou-se que a aplicação dos T5 e T6, em comparação ao T4, elevou os teores de Ca²⁺ no solo (C4, Tabela 1). Entretanto, este aumento de disponibilidade não corresponde ao aumento de absorção de Ca pela planta, observados pelos valores negativos e significativos do contraste 4 (Ca folhas, Ca caules e Ca raízes), demonstrando conteúdos de Ca nas folhas e raízes superiores para o T4 (C4, Tabela 2). É provável que os elevados teores de Mg²⁺ no solo em relação aos teores de Ca²⁺ nos T5 e T6 (Figura 1) inibiram a absorção de Ca pela planta, devido ao efeito antagônico.

Os teores de Mg²⁺ no solo foram superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, quando comparados ao tratamento T2, proporcionando conteúdos mais elevados de Mg nas folhas, nos caules e nas raízes (C2, Tabelas 1 e 2). Provavelmente, as menores relações de Ca:Mg no solo (Figura 1) proporcionaram maiores conteúdos de magnésio na planta.

Pelos contrastes 3 e 4 (Tabela 1), verifica-se que a aplicação dos tratamentos T5 e T6 proporciona teores superiores de Mg²⁺ no solo, frente aos tratamentos T3 e T4 e, de modo geral, os conteúdos de Mg são mais elevados nas folhas, nos caules e nas raízes (C3 e C4, Tabela 2). Este fato pode estar relacionado ao fato do tratamento T3 não ter recebido nenhuma fonte de Mg e do tratamento T4 ter recebido quantidade menor de Mg, em relação aos tratamentos T5 e T6.

Pelo contraste 5, verifica-se que os teores de Mg²⁺ no solo são mais elevados no tratamento T5,

quando comparado ao tratamento T6 (C5, Tabela 1), favorecendo a conteúdos de Mg nas folhas e raízes superiores (C5, Tabela 2), o que pode estar relacionado às menores relações Ca:Mg no solo (Figura 1), favorecendo a absorção de Mg pelo cafeeiro. O mesmo comportamento foi observado por Salvador, Carvalho e Lucchesi (2011).

Os teores de Zn²⁺ no solo são superiores nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, quando contrastados ao tratamento T2, porém não proporciona conteúdos superiores de Zn na planta (C2, Tabelas 1 e 2). A aplicação dos tratamentos T5 e T6 favorecem a teores mais elevados de Zn²⁺ no solo, porém não se observam conteúdos superiores na planta (C3 e C4, Tabela 2). Os teores de Zn²⁺ no solo são superiores no tratamento T6, favorecendo a maiores conteúdos de Zn nos caules (C5, Tabela 2). É provável que os teores mais elevados de Mg²⁺ no solo, de modo geral, inibiram a absorção de Zn pela planta, conforme relatado por Kabata-Pendias (2010).

Moreira et al. (2003a), trabalhando com arroz, observaram que com o aumento da concentração de Mg na solução, reduziu-se significativamente a absorção do Zn pelas raízes. Os mesmos resultados foram encontrados em soja (MOREIRA et al., 2003b). Esses resultados indicam que, na presença de altas concentrações de Mg²⁺ no solo, a absorção de Zn é negativamente afetada, pelo efeito antagônico.

Independente dos tratamentos, observa-se que os conteúdos de cálcio são superiores nas folhas, em relação aos conteúdos nos caules e nas raízes (Figura 2). Adquirido inicialmente pelas raízes, a maior parte do cálcio é transportada no xilema, embora pequena parte possa fazê-lo pelo floema, para as folhas. Depois de alocado nas folhas, o Ca torna-se imóvel (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

TABELA 2 - Contrastes das médias, dos conteúdos de Ca, Mg, Zn e B nas folhas, caule e raízes do cafeeiro para os diferentes tratamentos.

Contrastes Ortogonais	Folhas		Caule		Raízes	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
C1	13,53**	9,06**	6,27**	6,00**	-4,84 ^{ns}	2,81 ^{ns}
C2	-9,68**	13,10**	-1,59 ^{ns}	5,13**	1,30 ^{ns}	15,39**
C3	-24,85**	19,97**	-11,27**	6,05**	-9,15**	15,82**
C4	-6,01**	10,81**	-1,74 ^{ns}	2,16**	-10,55**	-1,21 ^{ns}
C5	-3,06 ^{ns}	-2,79*	2,20 ^{ns}	-0,89 ^{ns}	-3,59 ^{ns}	-31,70**
	Zn	B	Zn	B	Zn	B
C1	0,04**	0,61**	0,05**	-0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,42**
C2	-0,01 ^{ns}	0,56**	-0,03 ^{ns}	0,07**	-0,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}
C3	-0,04**	0,96**	-0,05*	0,12**	-0,13**	-0,09 ^{ns}
C4	0,00 ^{ns}	0,82**	0,02 ^{ns}	0,10**	-0,07*	-0,03 ^{ns}
C5	0,00 ^{ns}	2,35**	0,06**	0,03 ^{ns}	-0,08*	-0,43**

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 vs T3 (++,2-); C4: T5 + T6 vs T4 (++,2-); e C5: T6 vs T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B. **, * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

Os maiores conteúdos de Ca nas folhas e caules é no tratamento T3, provavelmente pela relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) estar dentro da faixa ideal para a cultura do café (MATIELLO; GARCIA, 2012), quando comparada aos demais tratamentos, neste caso, distante da faixa ideal (Figura 1).

Os conteúdos de magnésio, independente dos tratamentos, foram superiores nas raízes em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 2). Bragança et al. (2007a), trabalhando com acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon, observaram que as folhas acumularam 30 % do Mg total acumulado no conilon; 25 % nas raízes; 23 % no tronco mais ramos ortotrópicos; 15 % nos ramos plagiotrópicos e 7 % nos frutos.

Os conteúdos médios de Mg na parte aérea (folhas + caule) para os T5 e T6 foram de 47,22 mg/planta e 43,55 mg/planta, respectivamente, e nas raízes de 62,97 mg/planta (T5) e 31,27 mg/planta (T6).

Os conteúdos de zinco foram mais elevados nas raízes, de modo geral, em relação aos conteúdos nas folhas e nos caules (Figura 3). O Zn encontra-se concentrado em grande parte nas raízes, haja vista ser muito pequena a mobilidade de redistribuição do Zn na planta (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Do total de zinco acumulado na planta 61 % foram alocados

para as raízes, 15 % para os ramos plagiotrópicos, 9 % para os frutos e 9 % para o tronco mais ramos ortotrópicos (BRAGANÇA et al., 2007b).

Os maiores conteúdos de Zn nas folhas, nos caules e nas raízes não corresponderam ao tratamento com aplicação de Zn (Figura 3). Este fato pode estar relacionado à maior acidificação do solo, frente aos outros tratamentos (T2, T3, T4 e T5), em relação ao T6. A elevação do pH do solo diminui a concentração de Zn na solução, principalmente porque aumenta a intensidade da adsorção do metal por meio de complexos de esfera interna, em decorrência da menor competição com o hidrogênio (ARIAS et al., 2005).

Outra possibilidade pode estar relacionada ao aumento nos teores de magnésio no solo, reduzindo a absorção de Zn, devido à inibição competitiva entre o Zn e o Mg, por se tratar de elementos com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes (KABATA-PENDIAS, 2010).

A adubação com os T3, T4, T5 e T6 proporcionou maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules, quando contrastados ao T2 (C2, Tabela 2), o que pode estar relacionado aos valores mais elevados de Ca²⁺ no solo (Figura 1), que favoreceram a absorção de boro pelas plantas (KABATA-PENDIAS, 2010).

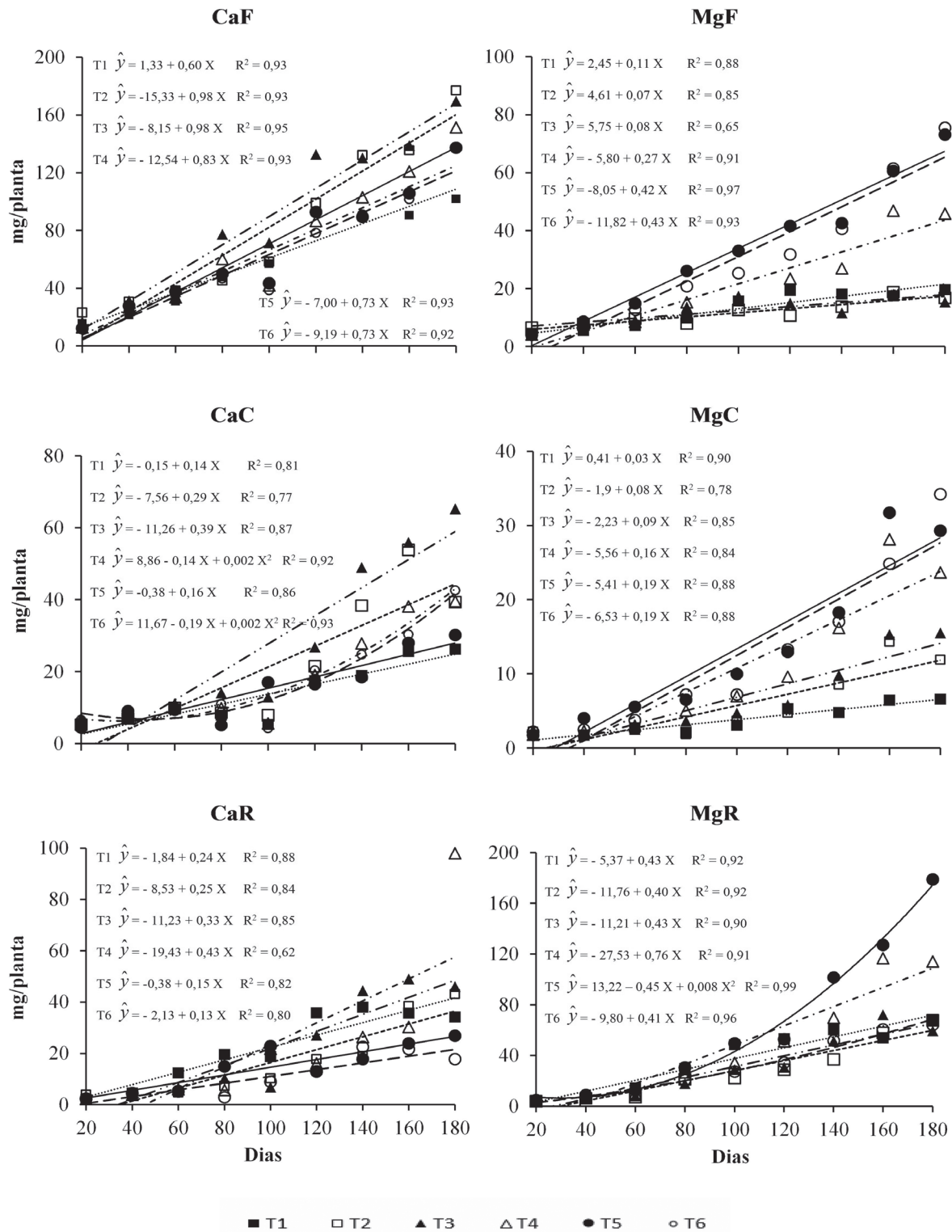


FIGURA 2 - Conteúdos de cálcio e magnésio nas folhas (CaF e MgF), nos caules (CaC e MgC) e nas raízes (CaR e MgR), das plantas de café, em mg/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

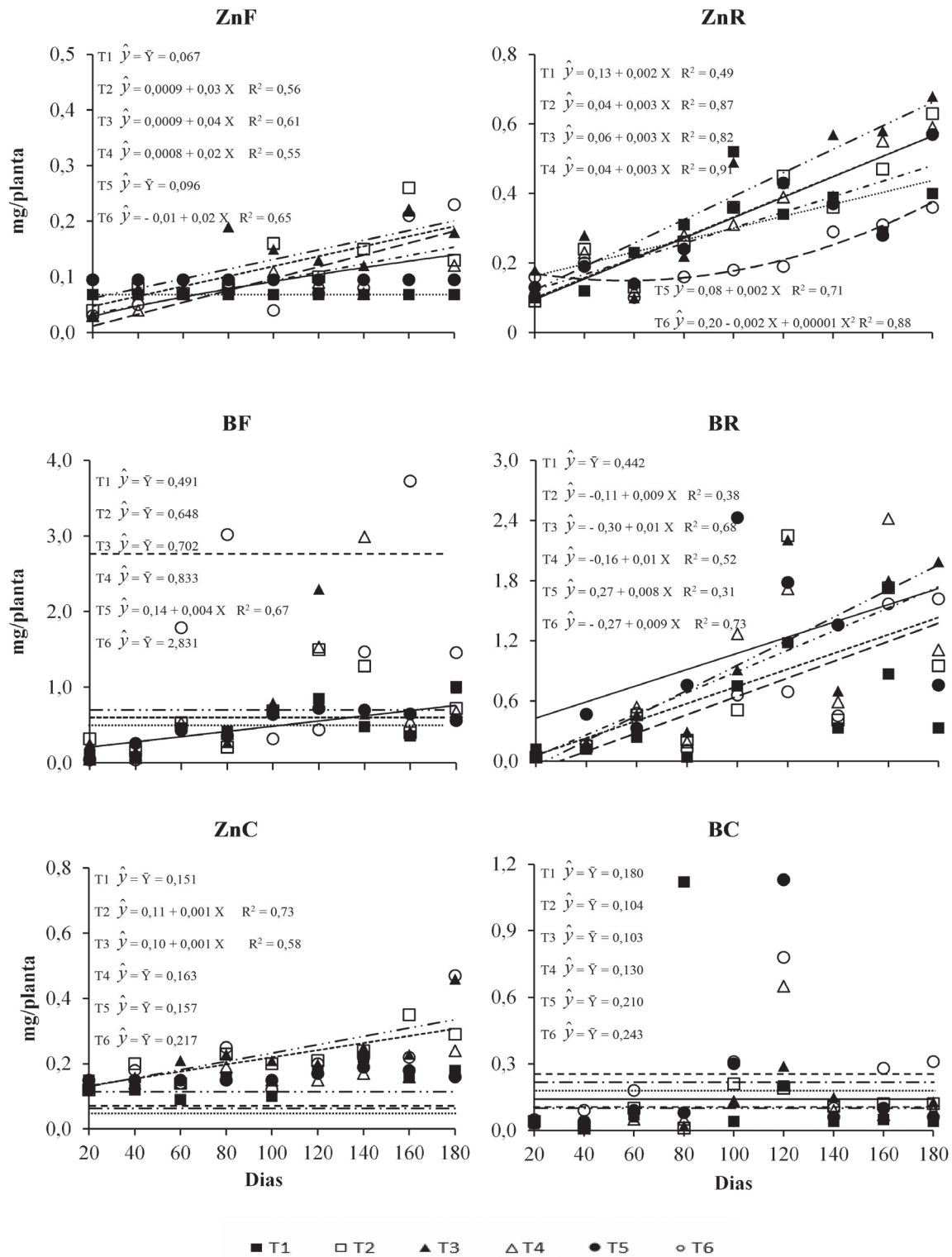


FIGURA 3 - Conteúdos de zinco e boro nas folhas (ZnF e BF), nos caules (ZnC e BC) e nas raízes (ZnR e BR), das plantas de café, em mg/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

Observaram-se maiores conteúdos de B nas folhas e nos caules nos T5 e T6, quando comparados aos T3 e T4 (C3 e C4, Tabela 2). A absorção de B pode ter sido favorecida pelos valores mais elevados de pH nos T5 e T6, frente aos T3 e T4 (Figura 1). A maior disponibilidade de boro no solo ocorre na faixa de pH 5,0 a 7,0 (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Produção de Matéria Seca

A produção de matéria seca de folhas (MSF), de modo geral, aumentou continuamente ao longo dos tempos de amostragem, enquanto a produção de MSC tem comportamento exponencial (Figura 4).

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) acompanha o comportamento da produção de MSF, aumentando continuamente ao longo dos tempos de amostragem. A MSR tem comportamento quadrático, aumentando a partir dos 80 dias após o transplântio das mudas (Figura 4).

As maiores produções de MSF, MSC e MSR no cafeeiro foram obtidas no T3, frente aos T5 e T6 (C3, Tabela 4). Este resultado deve estar relacionado à relação Ca:Mg no solo (relação 3,6:1) (Figura 1) encontrar-se na faixa ideal para a cultura do café neste tratamento. Segundo Matiello e Garcia (2012), a relação mais adequada para o cafeeiro é de 3 - 5:1.

A produção de MSC e MSR foi superior no T4, quando contrastado aos T5 e T6 (C4, Tabela 4). Neste caso, os maiores conteúdos de Ca nos caules e nas raízes (Figura 2) devido à maior relação Ca:Mg no solo (Figura 1), pode ter favorecido a maior produção de MSC e MSR no cafeeiro.

Analisando o contraste 5 (C5, Tabela 4), observou-se produção de MSC e MSR superiores para o T5 frente ao T6. É provável que a menor relação de Ca:Mg no solo (Figura 1) no T5 proporcionou maiores conteúdos de Mg nos caules e nas raízes (Figura 2), favorecendo a maior produção de MSC e MSR.

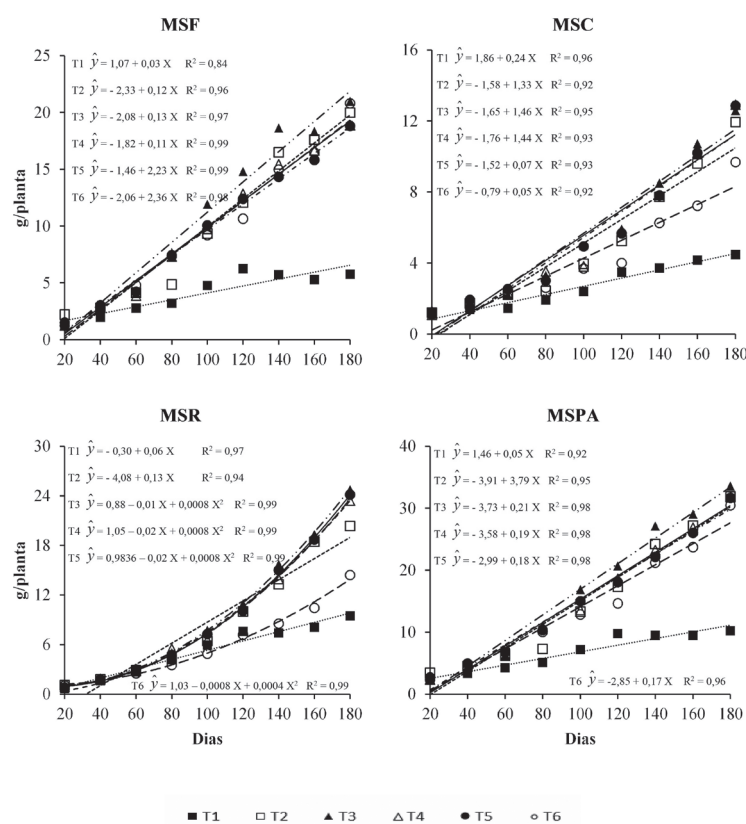


FIGURA 4 - Produção de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) das plantas de café, em g/planta, nos tempos de coleta, em dias, para os tratamentos estudados. T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B.

TABELA 4 - Contrastes das médias da produção de matéria seca nas folhas (MSF), nos caules (MSC) e nas raízes (MSR) do cafeeiro para os diferentes tratamentos.

Contrastes Ortogonais	MSF	MSC	MSR
C1	5,99**	2,52**	3,40**
C2	0,21 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
C3	-1,47**	-0,76**	-2,12**
C4	-0,12 ^{ns}	-0,53**	-1,64**
C5	0,12 ^{ns}	-1,30**	-3,47**

C1: T2 + T3 + T4 + T5 + T6 vs T1 (+++++,5-); C2: T3 + T4 + T5 + T6 vs T2 (++++,4-); C3: T5 + T6 vs T3 (++,2-); C4: T5 + T6 vs T4 (++,2-); e C5: T6 vs T5 (+,-). T1: controle sem adubação; T2: N + P + K; T3: gesso agrícola; T4: óxido de magnésio; T5: gesso/MgO (70/30); e T6: gesso/MgO (70/30) + Zn + B. ** significativo a 1 % de probabilidade, e ^{ns} não significativo pelo Teste F

4 CONCLUSÕES

Os teores mais elevados de cálcio e magnésio no solo foram encontrados nos tratamentos com aplicação de gesso agrícola e dos granulados gesso 70/30, respectivamente.

Para a mesma quantidade de Mg aplicada, os maiores conteúdos de magnésio foram obtidos com a aplicação do granulado gesso 70/30.

A aplicação do granulado gesso 70/30 + Zn + B não proporcionou maiores conteúdos foliares de Zn no cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

À Magnefertil Tecnologia em Magnésio LTDA, pelo financiamento parcial desta pesquisa através do convênio Magnefertil, EMBRAPA-Solos e a Universidade Federal do Espírito Santo.

6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparações de médias ou testes de hipóteses?: contrastes! **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, v. 31, p. 24-34, 2006.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1755-1764, nov./dez. 2009.

ARIAS, M. et al. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 288, n. 1, p. 21-29, 2005.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acumulação de macronutrientes pelo cafeeiro conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2007a. 1 CD-ROM.

_____. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 398-404, jul./ago. 2007b.

BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.

CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, July/Aug. 2006.

COSTA, K. A. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I., alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1591-1599, 2008.

CUSTÓDIO, D. P. et al. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, p. 27-34, 2005.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 3, p. 91-132.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC, 2010. 505 p.

- MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. **O magnésio está deficiente em grande parte das lavouras de café.** Disponível em: <<http://www.fundacaoprocafe.com.br/sites/default/files/publicacoes/pdf/folhas/Folha91Magn%C3%A9sio.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2012.
- MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, out./dez. 2008.
- MORAES, M. F. et al. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 673-684, jul./ago. 2007.
- MOREIRA, A. et al. Influência do magnésio, boro e manganês na absorção de zinco por raízes destacadas de duas cultivares de arroz. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 213-218, jul./dez. 2003a.
- _____. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003b.
- OLIVEIRA, I. P. et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 1-12, ago. 2005.
- PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Nutrição e crescimento do algodoeiro em Latossolo sob diferentes coberturas vegetais e manejo de calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1481-1490, set./out. 2008.
- PREZOTTI, L. C.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação.** Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.
- RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, jul./ago. 2013.
- RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1687-1698, nov./dez. 2011.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 211-216, 1988.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.
- SERAFIM, M. E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, mar./abr. 2008.
- SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 205-274.
- VOLNEI, P. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, mar./abr. 2014.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, jan./fev. 2007.