

BRUNO NEVES RIBEIRO

**MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIOS E ÂNIOS EM COLUNAS DE SOLO
INFLUENCIADA PELA CALAGEM E COBERTURA VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R484m
2009

Ribeiro, Bruno Neves, 1981-
Movimentação de cátions e ânions em colunas de solo
influenciada pela calagem e cobertura vegetal / Bruno
Neves Ribeiro – Viçosa, MG, 2009.
xii, 23f. : il. ; 29cm.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa
Referências bibliográficas: f. 22-23

1. Solos. 2. Fertilidade do solo. 3. Calagem dos solos. 4.
Cultivos de cobertura. 5. Húmus I. Universidade Federal de
Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.42

BRUNO NEVES RIBEIRO

**MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS E ÂNIONS EM COLUNAS DE SOLO
INFLUENCIADA PELA CALAGEM E COBERTURA VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2009

Prof. Lino Roberto Ferreira
(Coorientador)

Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Coorientador)

Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Prof. Roberto Ferreira de Novais.

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

Aos meus pais Giovane e Kátia por todo o amor, carinho e incentivo;

Às minhas irmãs Vanessa (*in memoriam*) e Celina pelo exemplo de dedicação e determinação;

Ao meu filho João Pedro por toda a inspiração;

À Cláudia minha companheira em todos os momentos...

... a quem dedico esta realização.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, que me concedeu o privilégio desta oportunidade;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro (Processo APQ 01313-08), que viabilizou a execução das pesquisas que geraram esta dissertação;

Ao professor e orientador Reinaldo Bertola Cantarutti, pelas incansáveis horas de dedicação para o planejamento, desenvolvimento e conclusão do trabalho;

Ao professor Nairan Félix de Barros coordenador do Programa de Solos e Nutrição de Plantas;

Aos professores Victor Hugo Alvarez V., Ivo Ribeiro da Silva e Lino Roberto Ferreira pelas sugestões no planejamento da pesquisa.

Aos professores, grandes conhecedores e incentivadores do saber;

Aos laboratoristas Antonio Carlos (Carlinhos), José Roberto Valente (Beto), José Alberto Cardoso, Carlos Fonseca, Cláudio, Bené, Fábio, Zélia e Ciro pela colaboração para o aprendizado, desenvolvimento e realização de trabalhos;

Aos técnicos João Milagres, Geraldo Robésio, Janilson;

Ao laboratorista Írio Fernando em nome do laboratório de Rotina de solo pela atenção, apoio e colaboração nos trabalhos;

À Luciana em nome dos funcionários da secretaria do departamento de solos e de pós-graduação pelo suporte;

Pela grande disposição e colaboração para o desenvolvimento do trabalho de campo, agradeço ao Geraldo em nome dos funcionários da estação experimental do aeroporto e demais funcionários envolvidos;

Aos colegas e amigos Amanda, André Mundstock, Breno, David, Fabrício, Flancer, Fernando (Gaúcho), Guilherme (Red), Ivan, Leonardus;

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo companheirismo e amizade;

Aos tios Reinaldo, Belizane, Hélio e Silvana e demais familiares pelo amparo, carinho e atenção;

Ao Aristides e a Neyma por todo apoio e atenção;

Aos amigos e companheiros de república, Tiago, Gilton (Tico), Guilherme (Tchotcho) e Higino pela amizade nos bons anos vividos em Viçosa.

Ao amigos Fábio, Fred, Adriano e Sérgio que, nos bons e maus momentos sempre dispostos a ajudar.

BIOGRAFIA

BRUNO NEVES RIBEIRO, filho de Giovane Lages Ribeiro e Kátia Maria Neves, nasceu na cidade de Diamantina – MG, aos 26 dias do mês de março do ano de 1981.

Em maio do ano de 2006 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa.

Em outubro de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa – UFV, concluindo em fevereiro de 2009.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	vii
Lista de Quadros	viii
Resumo	ix
Abstract	xi
Introdução	1
Material e Métodos	4
Resultados e Discussão	8
Conclusões	21
Literatura Citada	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Concentração de ácidos orgânicos e ânions inorgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas de solo cultivadas por 90 dias com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão, após o corte da parte aérea das plantas e antes da aplicação do calcário.	9
Figura 2	Concentração de ácidos orgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas aos 1 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	10
Figura 3	Concentração de ânions inorgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas aos 1 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	11
Figura 4	pH na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	13
Figura 5	Concentração de Ca e Mg na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não, com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	14
Figura 6	Concentração de K na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	15
Figura 7	Teores de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ de acordo com a profundidade, 45 dias após a aplicação de calcário, em colunas de solo cultivadas ou não, com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	19
Figura 8	Teores de K de acordo com a profundidade, 45 dias após a aplicação de calcário, em colunas de solo cultivadas ou não, com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australiano, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.	20

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Calcário não solubilizado caracterizado pelos teores de Ca (CaNT) e Mg (MgNT) não trocáveis ¹ e pH em CaCl ₂ em cinco camadas de colunas de solo 45 dias após a aplicação de calcário em colunas cultivadas ou não, com <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Australino, <i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura) e com <i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>vulgaris</i> cv. Mineirão com diferentes manejos das plantas.	17
----------	---	----

RESUMO

RIBEIRO, Bruno Neves, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009.
Movimentação de cátions e ânions em colunas de solo influenciada pela calagem e cobertura vegetal. Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Orientadores: Victor Hugo Alvarez, V., Ivo Ribeiro da Silva e Lino Roberto Ferreira.

O efeito do calcário pode limitar-se à região de sua aplicação devido à baixa mobilidade dos produtos da sua dissolução no solo. Esta mobilidade pode ser facilitada por ácidos orgânicos de baixa massa molecular, que são liberados durante a mineralização dos resíduos vegetais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição de resíduos vegetais de três espécies forrageiras na mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície. Foram montadas colunas de solo em tubos de PVC de 20 cm de altura, nas quais foram cultivadas *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão. Após 90 dias de crescimento, aplicou-se calcário ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ p.a. com relação molar Ca:Mg de 3:1) na superfície do solo de acordo com os seguintes tratamentos: T₁ - plantas vivas, ou seja em atividade, T₂ - plantas cortadas e o material da parte aérea seco e moído (< 1 mm) aplicado na superfície do solo, T₃ - plantas cortadas mantendo-se apenas as raízes no solo, T₄ - aplicação do material da parte aérea e T₅ - sem aplicação do material vegetal, ambos, em colunas de solo não cultivadas. Incluiu-se ainda colunas sem aplicação de calcário e material vegetal como tratamento testemunha (T₆). Foram realizadas percolações com água equivalente a um volume de poros do solo determinando-se as concentrações de Ca, Mg, K, ânions inorgânicos (Cl^- , CO_3^{2-} , F^- , NO_3^- e SO_4^{2-}), e ácidos orgânicos (acético, butírico, cítrico, malônico, oxálico e tartárico) nas soluções lixiviadas. Ao final do experimento as colunas de solo foram separadas em segmentos de 0 a 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20 cm nos quais determinaram-

se os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K. Constatou-se que ocorreu maior solubilização do calcário no solo em que se mantiveram as plantas vivas. Houve distribuição do Ca até 10 cm de profundidade, independente da aplicação ou não dos materiais vegetais. A aplicação de calcário independente da aplicação do material vegetal promoveu maior movimentação do K. A aplicação do calcário e do material vegetal da parte aérea das forrageiras favoreceu maior lixiviação de Ca, Mg e K e do ácido acético.

Termos de indexação: calagem superficial, resíduos vegetais, mobilidade de íons, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, forrageiras tropicais.

ABSTRACT

RIBEIRO, Bruno Neves, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, February de 2009.
Movement of cations and anions in columns of soil influenced by the liming and plant coverage. Adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-advisers: Victor Hugo Alvarez, V., Ivo Ribeiro da Silva and Lino Roberto Ferreira.

The effect of limestone may be limited to the region of its application, due to the low mobility of the products of its dissolution in the soil. Such mobility can be favored by organic acids of low molecular mass, which are released during the mineralization of plant residues. The present work aimed to evaluate the contribution of residues of three forage plant species for the mobility of the products of the dissolution of the limestone applied on the surface. Columns of soil were mounted in PVC tubes with 20 cm of height, in which *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (molasses grass) and *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão were cultivated. After 90 days of growth, limestone was applied ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ p.a. with Ca:Mg molar relation of 3:1) on soil surface, according to the following treatments: T₁ – live plants, in other words, in activity, T₂ – cut plants and the material of the dried and ground aerial part (< 1 mm) applied on the surface of the soil, T₃ – cut plants, maintaining only the roots in the soil, T₄ – application of the material of the aerial part and T₅ – without application of the plant material, both in non-cultivated columns of soil. Columns without the application of limestone and plant material were also included as the control treatment (T₆). Percolations were carried out with water equivalent to a volume of soil pores, determining the concentrations of Ca, Mg, K, inorganic anions (Cl^- , CO_3^{2-} , F^- , NO_3^- and SO_4^{2-}) and organic acids (acetic, butyric, citric, malonic, oxalic and tartaric) in the leachate solutions. In the end of the experiment, the soil columns were separated into segments of 0 - 2,5, 2,5 - 5, 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20 cm, in which the contents of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K were determined. It was observed that a higher limestone solubilization occurred in the soil in which plants were maintained alive. There was a distribution

of Ca up to 10 cm of depth, regardless of the application of the plant materials. The application of limestone regardless of the application of the plant material promoted more K movement. The application of limestone and plant material of the forage plant aerial parts favored the increase in the lixiviation of Ca, Mg and K and acetic acid.

INTRODUÇÃO

A economia da Zona da Mata de Minas Gerais destaca-se pela indústria, a criação de gado leiteiro e plantações de cana-de-açúcar, café, milho e feijão. Embora contribua apenas com 0,4 % da produção de leite no Estado, a pecuária leiteira é uma importante atividade na Zona da Mata. A produção de leite é extensiva, com alimentação de rebanho exclusivamente a pasto. A baixa produtividade deve-se, em parte, ao elevado estágio de degradação das pastagens. Contribuem para essa degradação da pastagem a elevada acidez do solo, a baixa fertilidade natural, o pouco uso de corretivos e fertilizantes e, ainda, o manejo inadequado do pasto. A recuperação das pastagens integrando agricultura e pecuária, em sistema plantio direto (SPD) é uma alternativa adequada para a região, devido ao relevo acidentado predominante.

Grande parte dos solos brasileiros são ácidos, o que lhes confere características químicas limitantes ao desenvolvimento e à produção da maioria das culturas agrícolas. Assim, a utilização de corretivos da acidez do solo torna-se imprescindível, uma vez que eleva os teores de Ca e Mg trocáveis, além de reduzir a de Al trocável no solo.

A calagem no SPD geralmente é realizada em superfície, sem sua incorporação mecânica posterior, o que, dada a baixa solubilidade e mobilidade do calcário no solo, limita seus efeitos à camada superficial (Rheinheimer et al, 2001; Amaral & Anghinoni, 2001), embora haja evidências do aprofundamento de seus efeitos no perfil do solo (Amaral et al., 2004b).

As espécies utilizadas como cobertura do solo têm recebido atenção por causa da influência dos seus resíduos na mobilidade de cátions no solo (Franchini et al., 1999 a,b; Franchini et al., 2001). Segundo Miyazawa et al. (2000), a permanência de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos pelos microrganismos.

Assim, o constante aporte de resíduos, possibilita a produção contínua desses compostos orgânicos, podendo resultar em sua perenização no solo (Amaral et al., 2004a).

Pádua et al. (2006) constataram que quantidades equivalentes a 1,68, 4,56 e 5,44 t ha⁻¹ de CaCO₃ p.a. aplicadas superficialmente em colunas de 40 cm de amostras de LVd de pastagem, floresta e mata elevaram o pH até próximo a 7,0 na camada de solo de 0-5 cm. Verificou-se também, aumento no teor de Ca²⁺ no solo sob mata e pastagem. Em todos 40 cm da coluna de solo da mata houve neutralização parcial do Al³⁺, o que foi atribuído ao maior teor de matéria orgânica, que favoreceu a complexação do Al³⁺ e a movimentação do Ca²⁺.

A mobilidade do Ca²⁺ e do Mg²⁺ pode ser aumentada por ânions inorgânicos (SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻ e Cl⁻) ou orgânicos presentes no solo. Desta forma, a eficiência do calcário aplicado na superfície do solo pode ser melhorada pela ação de compostos orgânicos hidrossolúveis liberados pelos resíduos vegetais (Franchini et al., 2001). A aplicação superficial do calcário distribuído sobre resíduos de *Brachiaria decumbens* em pomares de laranja em formação promoveu, ao longo de três anos, aumento no teor de Ca²⁺ até 10 cm de profundidade, enquanto o teor de Mg²⁺ aumentou até 60 cm (Fidalski & Tormena, 2005).

A matéria orgânica do solo por contribuir com a elevação da CTC do solo esta relacionada com a diminuição da acidez do solo por adsorver íons H⁺ e Al³⁺, pela associação dos ânions orgânicos com H⁺ e a complexação do Al³⁺. Assim há relatos sobre o efeito de resíduos orgânicos na correção da acidez e na neutralização do Al³⁺. Miyazawa et al. (1993) constataram que espécies empregadas como cobertura vegetal e como adubo verde com menor relação C/N proporcionaram maior neutralização de acidez de uma solução de HCl com pH 3,5. Em amostra de Latossolo Roxo distrófico os resíduos vegetais causaram aumentos no pH do solo entre 10 e 20 dias após sua aplicação, mas aos 120 dias este retornou ao pH 4,1, próximo ao original do solo. Embora o efeito seja efêmero os autores sugerem que os resíduos destas plantas tenham algum efeito na fase inicial da cultura utilizada na rotação elas. Porém, segundo Pavinato & Rosolem (2008) o constante aporte de resíduos vegetais ao solo pode promover uma contínua liberação de ácidos orgânicos de baixa massa molecular.

Miyazawa et al. (2000) ressaltaram que o efeito dos resíduos vegetais sobre capacidade corretiva do calcário está associado aos seus teores de cátions e carbono

de compostos orgânicos solúveis, que normalmente são maiores em resíduos de adubos verdes, tais como: aveia preta, nabo forrageiro, tremoços, leucena, mucunas, crotalárias e outros, do que em restos culturais. Segundo esses autores os teores de cátions e compostos orgânicos solúveis diminuem com o avanço da idade fisiológica da planta. Os resíduos de nabo forrageiro apresentaram como principais ácidos orgânicos o cítrico e o málico e a aveia preta o ácido transaconítico. No entanto, Amaral et al. (2004a), utilizando colunas com amostras não deformadas de um Cambissolo Húmico alumínico léptico argiloso, constataram que a aplicação superficial do calcário associado à adição de resíduos de aveia preta, ervilhaca e nabo forrageiro promoveu a correção da acidez apenas até 2,5 cm de profundidade. Não detectaram ácidos orgânicos de baixo peso molecular tanto na solução percolada, como na solução do solo. Moraes et al. (2007) também verificaram que, a aplicação do material vegetal fresco, seco e moído, de nabo forrageiro e aveia-preta, assim como a aplicação do ácido málico ou cítrico com o calcário aplicado na superfície de colunas de um Latossolo Vermelho textura muito argilosa não alteram a mobilidade dos produtos da dissolução do calcário. O pequeno efeito dos ácidos orgânicos liberados pelo material vegetal, ou aplicados na forma de solução, foi atribuído a rápida mineralização desses ácidos. Ácidos orgânicos de elevado poder complexante, como o cítrico, podem ainda ser fortemente adsorvidos pelos colóides do solo; por isto, a necessidade de altas concentrações para se ter efeito no solo (Guppy et al., 2005).

Diante destas constatações, o objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição de espécies forrageiras em crescimento e de seus resíduos na mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado em superfície do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação, utilizando-se material de solo da camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo textura argilosa de uma área de pastagem degradada, localizada no terço médio de uma encosta. O solo foi coletado, seco ao ar e passado por peneira de 4 mm. Uma subamostra do solo foi passada por peneira de 2 mm e realizada a caracterização química e física do solo.

O material de solo das camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm apresentaram, respectivamente, densidade do solo 1,09 e 1,06 kg dm⁻³, densidade de partícula 2,63 e 2,50 kg dm⁻³ e o equivalente de umidade de 0,280 e 0,275 kg kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997). As características químicas dos materiais do solo das camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm foram, respectivamente, pH em água de 5,73 e 5,16, 3,6 e 2,0 mg dm⁻³ de P, 66 e 31 mg dm⁻³ de K, 0,87 e 0,24 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺, 0,42 e 0,8 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺, 0,58 e 0,96 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺, 6,4 e 6,5 cmol_c dm⁻³ de H+Al, 19,1 e 13,3 mg L⁻¹ de P-rem e 3,62 e 2,97 dag kg⁻¹ MO de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997).

As unidades experimentais foram colunas de solo com estrutura deformada, contidas em tubos de PVC com diâmetro de 10 cm e altura de 22 cm, seccionadas em um seguimento com 7 cm de altura posicionado na parte superior, e outros três de 5 cm. As seções foram unidas com fita adesiva e as paredes internas dos tubos foram revestidas com fina camada de parafina para reduzir o fluxo preferencial de água. Na base da coluna foi fixada uma tela de nylon com malha menor que 1 mm para conter o solo e acoplado um funil de plástico conectado a uma mangueira para possibilitar a coleta da solução percolada.

O solo utilizado para o enchimento dos tubos de PVC foi umedecido com volume de água deionizada equivalente a 50 % do volume de poros do solo. As duas

seções inferiores dos tubos foram preenchidas com solo da camada de 10 a 20 cm e o restante com solo da camada de 0 a 10 cm. Na primeira seção (0 a 5 cm) a superfície do solo ficou 2 cm a baixo da borda do tubo. O solo desta camada recebeu 74, 300 e 150 mg dm⁻³ de N, P e K (NH₄H₂PO₄ e KH₂PO₄), 4,57, 3,57, 7,49, 13,18, 0,34 e 8,37 mg dm⁻³ de B (H₃BO₃), Cu (CuCl₂.2H₂O), Fe (FeCl₃), Mn (MnCl₂.4H₂O), Mo (NaMoO₄.2H₂O) e Zn (ZnCl₂) respectivamente, aplicados na forma de solução por ocasião do umedecimento do solo na montagem das colunas. No enchimento utilizou-se uma massa de solo que foi suficientemente compactada para atingir-se as densidades de 1,09 e 1,06 kg dm⁻³, respectivamente, para as camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade.

Em 12 colunas de solo foram transplantadas sete plântulas por coluna de cada uma das três espécies após germinação em leito de areia. As espécies em estudo foram: *Brachiaria decumbens* cv. Australino, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão. A umidade do solo foi elevada até 80 % do volume de poros utilizando água deionizada. Essa foi monitorada pela variação de peso das colunas e mantida por meio de irrigações. Em outras 12 colunas o solo recebeu o mesmo procedimento de umedecimento, mas as colunas foram mantidas sem plantas.

O período experimental iniciou-se com a aplicação superficial do calcário e, ou, dos materiais vegetais nas colunas de solo, após 90 dias de crescimento das plantas. As plantas de quatro colunas para cada espécie foram mantidas, compondo o tratamento T₁. As plantas das demais colunas foram cortadas rente ao solo. O material foi seco a 50 °C por 72 h em estufa de circulação forçada de ar, pesado e moído para obter fragmentos inferiores a 1 mm. Os materiais da parte aérea das plantas de quatro colunas foram aplicados sobre o solo das respectivas colunas, onde o resíduo da parte aérea mais raízes corresponderam ao tratamento T₂. O tratamento T₃ foi composto por quatro colunas, nas quais se mantiveram apenas as raízes das plantas. Os materiais da parte aérea destas plantas foram aplicados em quatro colunas, que foram mantidas apenas com solo durante o período pré-experimental, compondo o tratamento T₄. Quatro das colunas mantidas com solo sem planta receberam apenas a aplicação do calcário, correspondendo ao tratamento T₅. Outras quatro colunas mantidas com solo sem planta não receberam calcário nem resíduos, equivalendo ao tratamento testemunha (T₆). Entre o corte das plantas e a aplicação do calcário e o material vegetal da parte aérea transcorreram-se 10 dias.

Os materiais das partes aéreas aplicados nas colunas foram equivalentes a 10,2, 7,6 e 6,4 e t ha⁻¹ para braquiária, capim gordura e estilosantes, respectivamente. A dose de corretivo foi de 2,2 t ha⁻¹ de calcário PRNT 100 %, sendo estimada para neutralizar o Al³⁺ e elevar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ a 2 cmol_c dm⁻³ (Alvarez V. et al., 1999). O calcário correspondeu a mistura de CaCO₃ e MgCO₃ p.a. com a proporção molar Ca:Mg de 3:1. O material vegetal e o calcário foram incorporados ao solo de uma camada superficial de 0,5 cm. As três espécies foram consideradas experimentos independentes, nos quais os seis tratamentos foram distribuídos segundo o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições.

Antecedendo a aplicação dos tratamentos, foi aplicado volume de água deionizada equivalente a 80 % do volume de poros da coluna de solo e, imediatamente, percolaram-se 980 mL de água deionizada, que equivaleram ao volume total de poros. Obteve-se, assim, o percolado um dia antes da aplicação dos tratamentos. Após a aplicação dos resíduos vegetais e, ou, calcário a umidade do solo foi recondicionada a 80 % do volume total de poros. Um, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação dos tratamentos realizaram-se percolações com 980 mL de água deionizada. Em todas as percolações a água foi aplicada na taxa de 3 mL min⁻¹ por meio de gotejadores e a superfície das colunas de solo foram protegidas com papel de filtro para evitar a formação de bulbo de molhamento e fluxo preferencial no centro da coluna. A solução percolada foi coletada em garrafas plásticas conectadas às colunas por meio de mangueiras. O volume da solução percolada foi medido e, após a medição do pH, foi retirada uma alíquota do percolado de cada uma das colunas, passada em um filtro de 0,45 µm de abertura de poros, e congeladas em ultrafreezer a -80 °C até a análise química por cromatografia iônica. Uma outra alíquota foi retirada para a caracterização química por espectrometria de emissão óptica em plasma induzido. No intervalo entre as percolações a umidade das colunas foi mantida em 80 % do volume de poros, sendo aferida antes de cada percolação.

Após a última percolação as colunas foram desmontadas obtendo-se seções de, 0 a 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm. O solo foi coletado descartando-se 1 cm da face externa da coluna do solo. Este foi seco ao ar e passado por peneira de 1 mm.

Na solução percolada foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, por espectrometria de emissão óptica em plasma induzido. Os ânions inorgânicos CO₃²⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, F⁻ e os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AO)

hidrossolúveis (acético, butírico, tartárico, oxálico, cítrico e malônico) foram identificados e quantificados por cromatografia iônica, utilizando detecção por condutividade elétrica quimicamente suprimida, que apresenta alta sensibilidade, conforme Silva et al. (2001).

No solo das cinco seções determinaram-se o pH em CaCl_2 (1:2,5), os teores de K extraídos em Mehlich-1, dosados por espectrofotometria de chama e acidez potencial (H+Al) extraída com $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ 0,5 mol L^{-1} pH 7,0 dosado por titulação com NaOH 0,1 mol L^{-1} . Determinaram-se, ainda, o Al^{3+} , o Ca^{2+} e o Mg^{2+} extraídos com KCl 1 mol L^{-1} (relação 1:10), sendo o Al^{3+} dosado por titulação com NaOH 0,1 mol L^{-1} e o Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrometria de absorção atômica. Todos os procedimentos foram de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997).

Quantificaram-se Ca e Mg no calcário residual, ou seja, não solubilizado, por meio do procedimento proposto por Raij et al. (1982), com modificações. A 5 cm^3 de solo adicionaram-se 50 mL de HCl 0,05 mol L^{-1} e a mistura foi aquecida até a fervura, que foi mantida por 5 min. Obtiveram-se os extratos por filtração rápida nos quais determinaram-se os teores de Ca e Mg. O Ca (CaNT) e Mg (MgNT) do calcário não solubilizado foram estimados subtraindo-se destes teores os teores trocáveis.

Os dados referentes às análises de solo e da solução lixiviadas nas percolações foram submetidos à análise de variância, considerando-se as três espécies independentemente. Para os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm das colunas de solo ajustaram-se equações de regressões para descrever a distribuição dos cátions com a profundidade, considerando-se, para tanto, como variável independente as profundidades 2,5, 5, 10 e 20 cm. Para o pH e os teores de Ca, Mg e K na solução lixiviadas, ajustaram-se equações de regressões para descrever a variação com o tempo (1, 10, 20, 30 e 45 dias) desde a aplicação do calcário. As equações de regressões ajustadas para os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄, conforme descritos anteriormente, foram comparadas com a equação de regressão ajustada para o tratamento T₅, em que se aplicou apenas o calcário superficialmente. Em todos os casos as comparações entre os tratamentos foram realizadas por meio do teste de identidade de modelos, de acordo com Graybill (1976) e Regazzi (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ácidos orgânicos, ânions inorgânicos e cátions nas soluções lixiviadas

O crescimento das três espécies forrageiras por 90 dias, antes da aplicação dos tratamentos, aparentemente não favoreceu o acúmulo de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (AO) no solo. Foram detectadas concentrações de 0,012 a 0,034 mg L⁻¹ de ácido malônico no lixiviado das colunas cultivadas com as três espécies e 0,026 mg L⁻¹ de ácido acético no lixiviado da coluna com braquiária (Figura 1).

Com a aplicação do material vegetal e, ou, do calcário, dez dias após o corte das plantas, aumentou-se, imediatamente, a produção de AO. Isto se confirma pela presença dos ácidos acético, butírico, oxálico, cítrico e malônico no lixiviado observado 24 h após a aplicação dos tratamentos (Figura 2). Constata-se que a adição do material vegetal da parte aérea ao solo, sobretudo das gramíneas, proporcionaram maiores concentrações de ácido acético no lixiviado, embora se tenha detectado, também, a presença dos ácidos butírico, tartárico, cítrico e oxálico, em ordem decrescente de concentração. Ressalta-se que, de acordo com Guppy et al. (2005), há uma sequência preferencial para adsorção dos ânions orgânicos no solo (oxalato > citrato > malato > acetato). No lixiviado das colunas que receberam aplicação da parte aérea do estilosantes, observou-se apenas a presença dos ácidos acético, butírico e tartárico, mas em menores concentrações do que as observadas para as gramíneas (Figura 2). Tais resultados aparentemente contradizem a informação de que adubos verdes, usualmente leguminosas, favorecem maiores produções de AO em relação às gramíneas (Miyazawa et al., 2000).

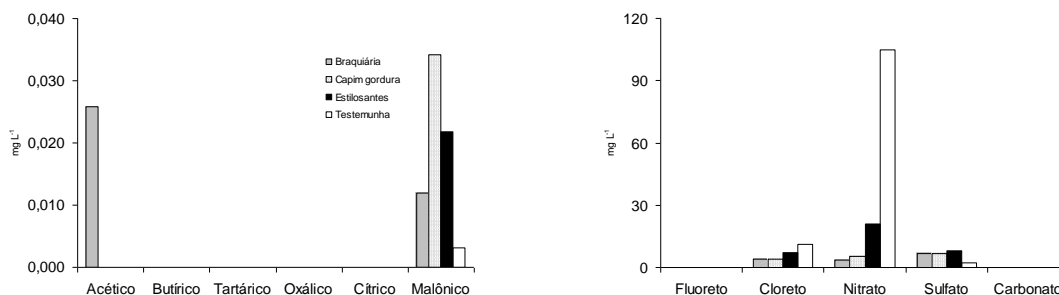


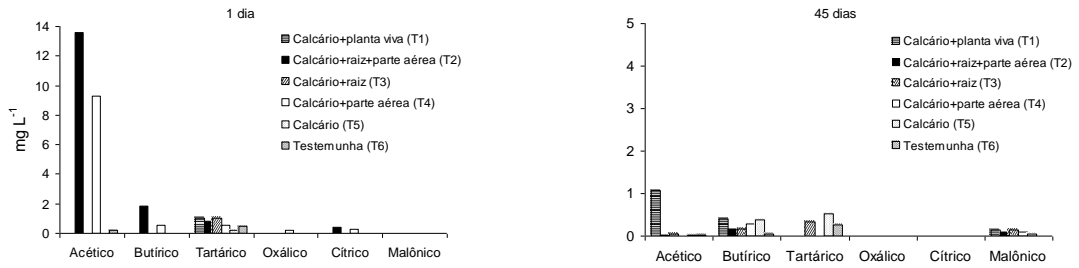
Figura 1. Concentração de ácidos orgânicos e ânions inorgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas de solo cultivadas por 90 dias com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão, após o corte da parte aérea das plantas e antes da aplicação do calcário.

Na solução lixiviada das colunas em que as plantas das três espécies foram mantidas em crescimento detectou-se apenas o ácido tartárico, mas em concentração inferior a $1,06 \text{ mg L}^{-1}$. Tal constatação evidencia que os AO lixiviados são produzidos durante a decomposição dos materiais vegetais adicionados ao solo, principalmente, a parte aérea das gramíneas.

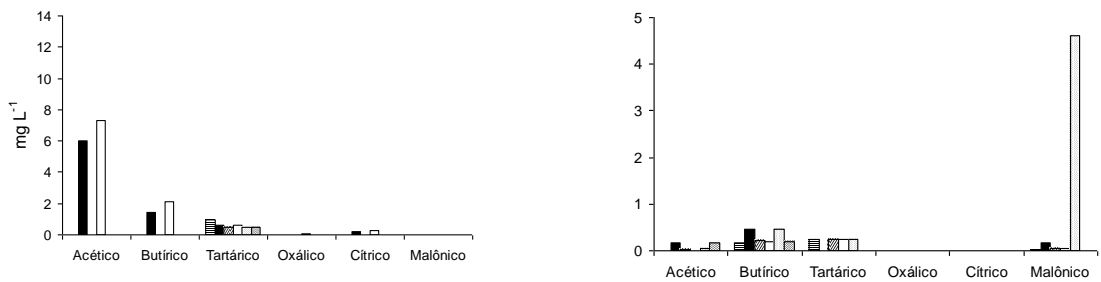
Quarenta e cinco dias após o início dos tratamentos as concentrações dos AO nas soluções lixiviadas reduziram-se acentuadamente (Figura 2). Os ácidos oxálico e cítrico que atingiram concentrações de até $0,18$ e $0,41 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, nos percolados das colunas com gramíneas na primeira percolação não foram detectados nesta percolação. O ácido malônico que não foi detectado na primeira percolação apresentou, agora, concentração de até $0,18 \text{ mg L}^{-1}$ no lixiviado.

Nas colunas com as plantas das três espécies em crescimento detectou-se antes da aplicação dos tratamentos, cloreto ($3,8$ a $7,0 \text{ mg L}^{-1}$), nitrato ($3,6$ a $21,0 \text{ mg L}^{-1}$) e sulfato ($6,6$ a $8,2 \text{ mg L}^{-1}$) (Figura 1). No lixiviado de colunas mantidas sem plantas (T_6) detectou-se $11,2$, $2,1$ e $104,9 \text{ mg L}^{-1}$ de, cloreto, sulfato e nitrato respectivamente. A alta concentração de nitrato no lixiviado do tratamento T_6 decorre da nitrificação do N-NH_4^+ aplicado na fertilização. As menores concentrações dos ânions nos lixiviados das colunas com as plantas em crescimento devem-se à absorção, considerando que a adubação em todas as colunas com sais amoniacais e cloretos foi a mesma. Considerando que não foram aplicados sais

Braquiária



Capim gordura



Estilosantes

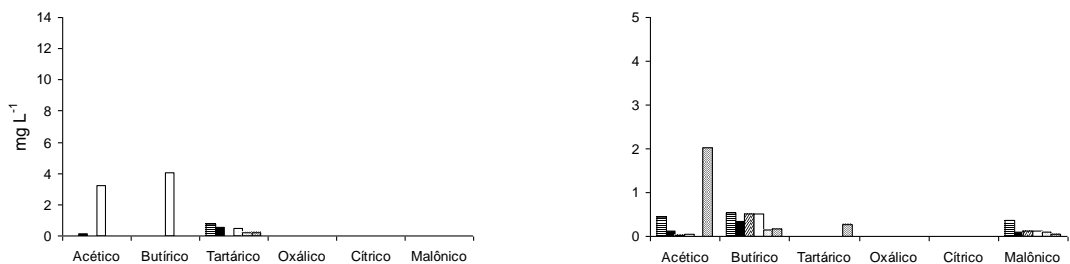
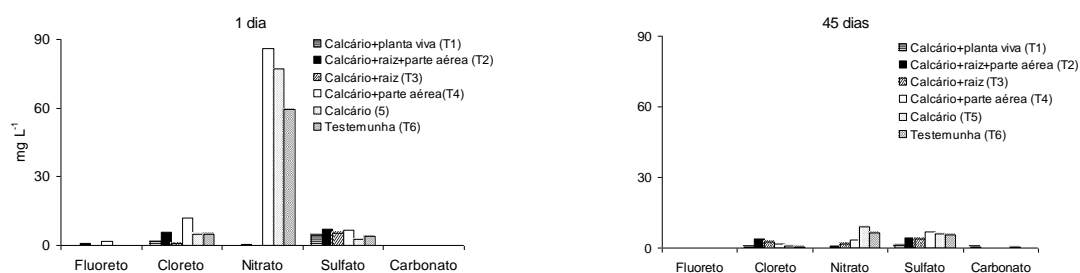


Figura 2. Concentração de ácidos orgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas aos 1 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.

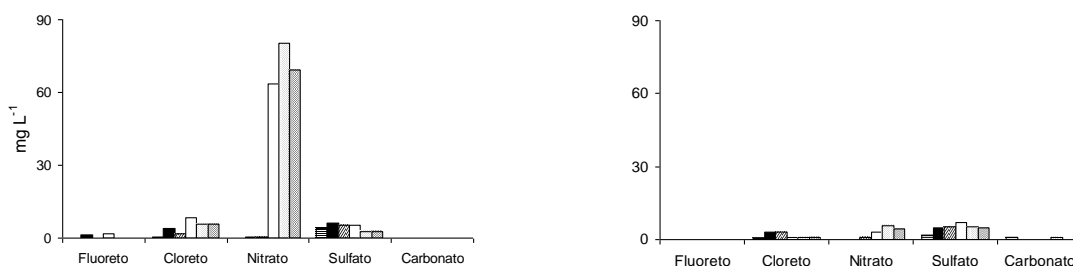
sulfatados, o sulfato nos lixiviados (2,1 a 8,2 mg L⁻¹) origina-se da mineralização da matéria orgânica do solo.

No percolado obtido um dia após o corte das plantas e aplicação do material vegetal e, ou, calcário foram detectados os ânions fluoreto, cloreto, sulfato, e nitrato em ordem crescente de concentração (Figura 3). Apesar desta lixiviação ter ocorrido

Braquiária



Capim gordura



Estilosantes

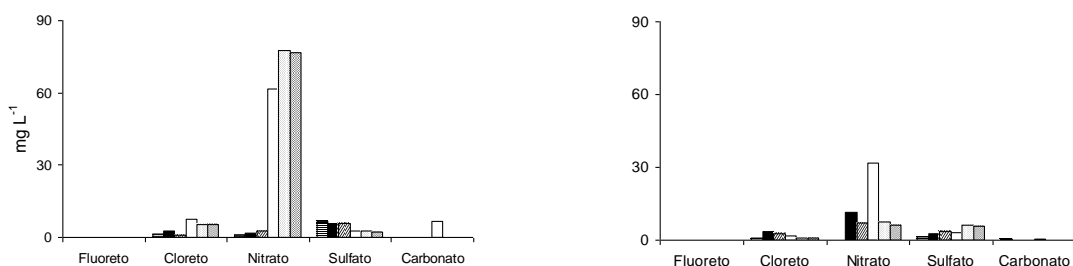


Figura 3. Concentração de ânions inorgânicos na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas aos 1 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas.

um dia após a primeira, as altas concentrações de nitrato no lixiviado das colunas testemunhas (T_6) ($59,5$ a $76,0$ mg L^{-1}) sugerem a reposição pela nitrificação. Na solução lixiviada das colunas que receberam aplicação de calcário e calcário mais material vegetal da parte aérea da braquiária ocorreu aumento na concentração de nitrato, enquanto que, para as outras espécies, estas concentrações mantiveram-se próximas daquelas obtidas nas colunas testemunha. Apesar de haver transcorrido apenas 24 h desde a aplicação do calcário e material vegetal, tal aumento sugere maior nitrificação devido a rápida mineralização do material vegetal aplicado.

As concentrações de nitrato, sulfato cloreto reduziram drasticamente no lixiviado da percolação aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos, o que se deve a intensa lavagem do solo pelas cinco percolações antecedentes (Figura 3). Nesta lixiviação detectou-se carbonato embora em concentrações que variaram de 0,2 a 1,0 mg L⁻¹.

Não foi detectado fosfato no lixiviado por meio da cromatografia iônica; no entanto, detectou-se de 0,13 a 0,46 mg L⁻¹ P por meio da espectrometria de emissão ótica em plasma induzido. Considerando que na detecção por espectrometria de emissão ótica em plasma induzido (dados não apresentados) não se distinguem formas orgânicas e inorgânicas de P, tais resultados sugerem a lixiviação de formas orgânicas de P, conforme constatou Gebrim (2006).

O pH das soluções lixiviadas variou entre 4,5 e 6,3. As colunas de solo que receberam calagem sem (T₅) e com (T₄) a aplicação de material vegetal da parte aérea das três espécies produziram lixiviados mais ácidos (Figura 4), sendo equivalentes ao pH dos lixiviados da testemunha (dados não apresentados). Nas colunas em que as plantas foram mantidas vivas (T₁) ou mantido o sistema radicular após o corte e a aplicação de calcário (T₂ e T₃), o pH dos lixiviados foram inicialmente mais elevados, mas diminuíram com o tempo (Figura 4). Os maiores valores de pH nos lixiviados na presença da planta podem ser decorrentes do caráter alcalino dos exsudatos radiculares.

Os lixiviados das colunas que receberam aplicação de calcário com ou sem a aplicação do material vegetal da parte aérea apresentaram maiores concentrações de Ca e Mg ao longo de todas as percolações (Figura 5), apesar de terem sido os lixiviados mais ácidos (Figura 4). As maiores concentrações de Ca e Mg no lixiviado da primeira percolação indicam uma rápida solubilização do calcário, o que se justifica pela utilização de CaCO₃ e MgCO₃ p.a..

Nas colunas em que as plantas foram mantidas vivas (T₁) ou mantido o sistema radicular após o corte e a aplicação de calcário (T₂ e T₃), obtiveram-se, no entanto, lixiviados com menores concentrações de Ca e Mg, mas, contraditoriamente com maior pH (Figura 4). Tais resultados indicam que o sistema radicular em atividade (planta viva) ou não (plantas cortadas) limitou de forma significativa a

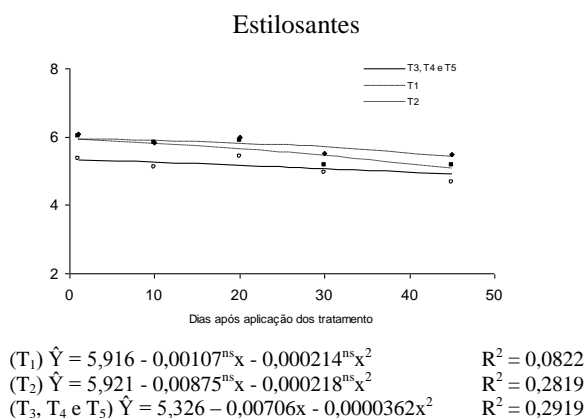
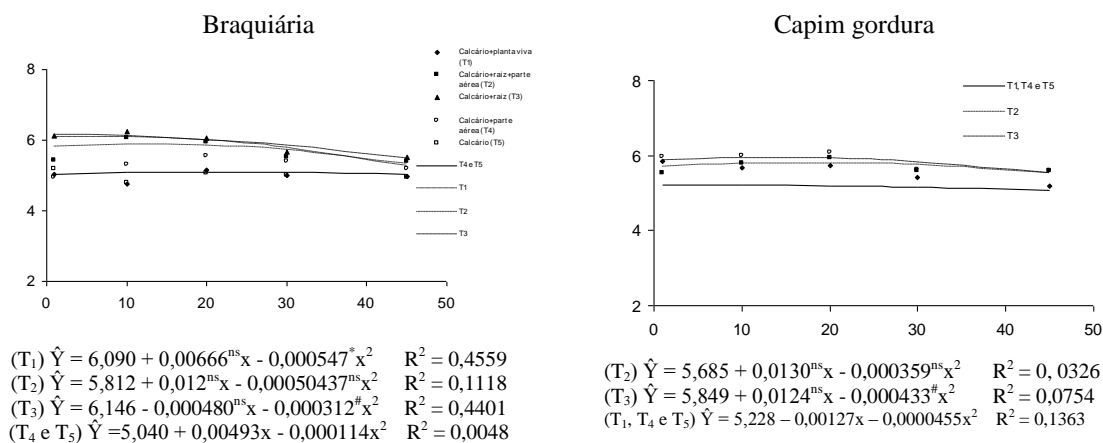


Figura 4. pH na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas. (*, **, # e ns significativo a 1; 5 e 10 % e não significativo, respectivamente).

lixiviação do Ca e do Mg (Figura 5). Com as plantas em crescimento isto se justifica pela absorção do Ca e do Mg. As menores lixiviações do Ca e do Mg na presença de raízes mortas (plantas cortadas) podem estar relacionadas com a retenção dos cátions na CTC radicular, à complexação por compostos orgânicos liberados pela mineralização raízes e a imobilização pela biomassa microbiana.

Resultados semelhantes foram observados para as concentrações de K nos lixiviados (Figura 6). Nas colunas em que se mantiveram as raízes com (T₂) e sem (T₃) a aplicação do material vegetal da parte aérea as concentrações de K nos lixiviados aumentaram com o avanço das percolações.

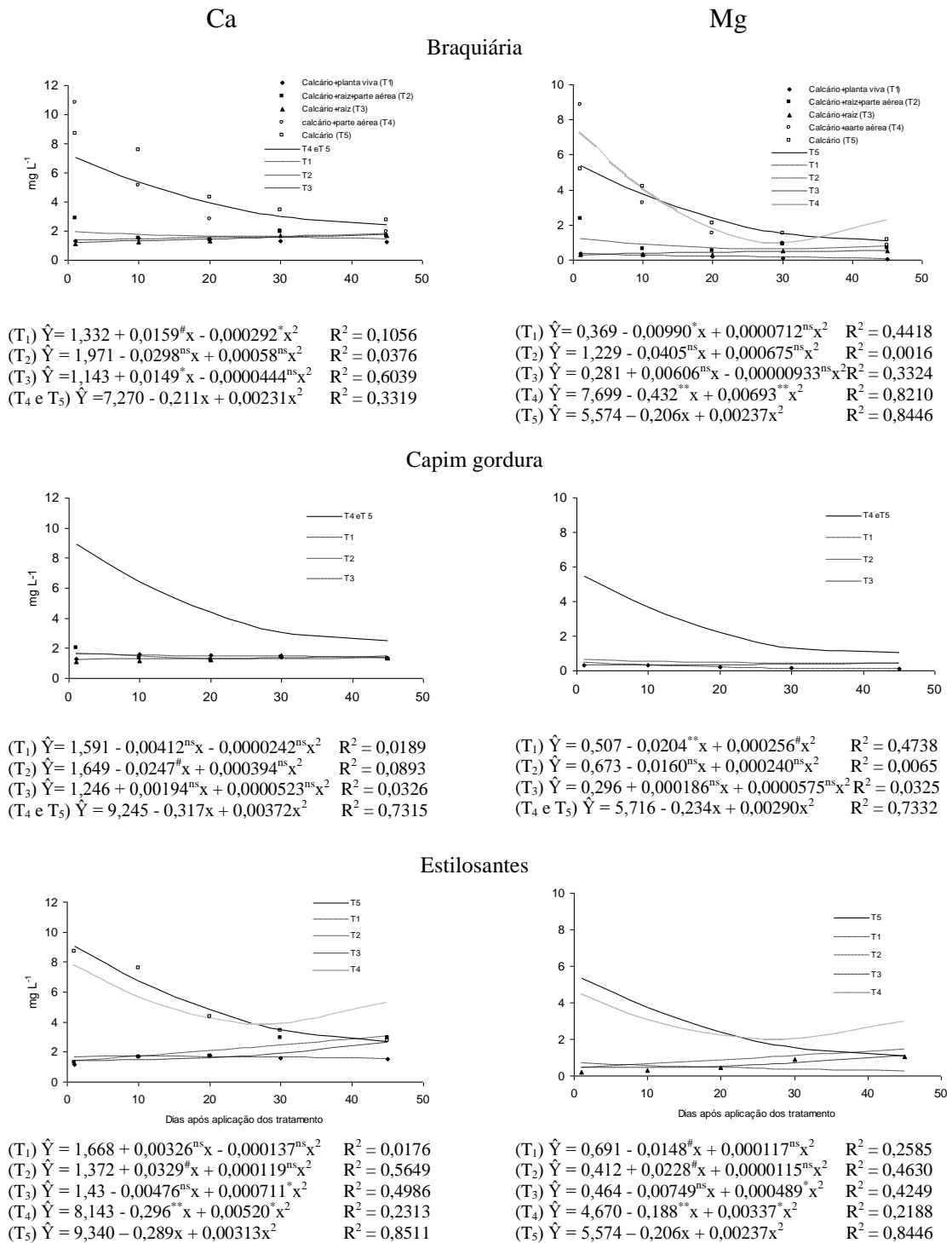


Figura 5. Concentração de Ca e Mg na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não, com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas. (*, **, # e ns significativo a 1; 5 e 10 % e não significativo, respectivamente).

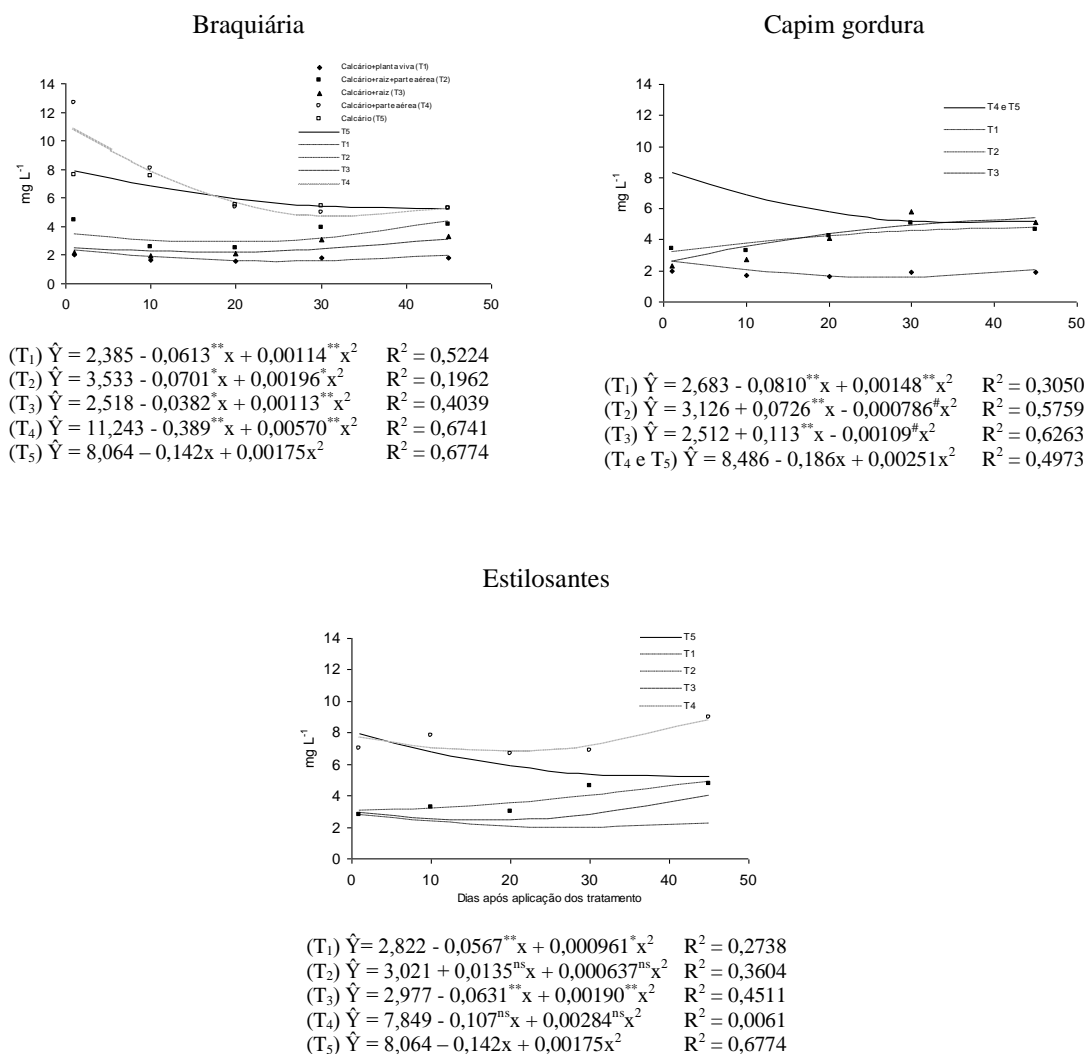


Figura 6. Concentração de K na solução percolada resultante da lixiviação com água deionizada em colunas 1, 10, 20, 30 e 45 dias após a aplicação de calcário, cultivadas ou não com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas. (**, *, # e ns significativo a 1; 5 e 10 % e não significativo, respectivamente).

Estes resultados evidenciam que o material vegetal da parte aérea favoreceu a lixiviação dos cátions (Figuras 5 e 6), o que pode estar associado à liberação de ácido acético, que ocorreu em maiores concentrações no lixiviado da primeira percolação nas colunas que receberam aplicação deste material.

Distribuição dos cátions nas colunas de solo

O pH-CaCl₂ e os teores de Al³⁺ evidenciaram que o efeito do calcário aplicado superficialmente restringiu-se aos primeiros 2,5 cm da coluna de solo (Quadro 1). Por meio da relação estabelecida por Sousa et al. (2007), estes valores de pH-CaCl₂ corresponderiam ao pH-H₂O quando variaram entre 5,75 e 6,34, indicando que não ocorreu uma elevação excessiva do pH, apesar da aplicação superficial do calcário p.a..

Quando o calcário foi aplicado nas colunas de solo com as plantas em crescimento (T₁) ocorreu maior solubilização do calcário devido ao dreno planta por ocasião da absorção de Ca e Mg. Isto é evidenciado pelos menores teores de CaNT e MgNT (Ca e Mg no calcário residual) (Quadro 1) e pelos maiores teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ na camada de solo de 0 a 2,5 cm (Figuras 7 e 8), sobretudo para as gramíneas. No solo cultivado com estilosantes o menor teor de Ca²⁺ decorre da maior absorção pela leguminosa. O pH não se elevou excessivamente devido, possivelmente, ao poder tampão do solo, à acidificação pela rizosfera e à absorção do Ca²⁺ e do Mg²⁺ pelas plantas, o que está de acordo com as menores concentrações de Ca e Mg nos lixiviados destas colunas (Figura 5).

Com a aplicação do calcário nas colunas em que se mantiveram as raízes após o corte das plantas também ocorreu redução nos teores de CaNT e MgNT, mas em menor intensidade. O aumento nos teores de CaNT na camada de 0 a 2,5 cm com a aplicação do material vegetal da parte aérea juntamente com o calcário (T₂ e T₄), sugere uma menor solubilização do calcário; no entanto, este aumento pode ser também devido ao conteúdo de Ca no material vegetal, uma vez que os teores de MgNT são menores do que aqueles no tratamento com aplicação exclusiva de calcário (T₆).

Os baixos teores de CaNT e MgNT nas camadas subsuperficiais evidenciam que não ocorreu movimentação física do calcário, apesar da sua fina granulometria (CaCO₃+MgCO₃ p.a.) e do grande volume de água aplicado nas percolações, contrariando os resultados obtidos por Amaral et al. (2004b) em colunas de um Cambissolo com estrutura indeformada.

Quadro 1. Calcário não solubilizado caracterizado pelos teores de Ca (CaNT) e Mg (MgNT) não trocáveis¹ e pH em CaCl₂ em cinco camadas de colunas de solo 45 dias após a aplicação de calcário em colunas cultivadas ou não, com *Brachiaria decumbens* cv. Australino, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão com diferentes manejos das plantas.

Manejo das plantas	Braquiária				Capim gordura				Estilosantes			
	CaNT	MgNT	Al ³⁺	pH (CaCl ₂)	CaNT	MgNT	Al ³⁺	pH (CaCl ₂)	CaNT	MgNT	Al ³⁺	pH (CaCl ₂)
	cmol _c dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			
	0 - 2,5 cm											
Testemunha ²	0,05	0,09	1,74	3,98	0,00	0,07	2,07	3,88	0,02	0,09	1,87	3,93
Calcário ³	3,46	0,35	0,00	6,47	5,92	0,92	0,43	6,44	4,54	0,46	0,00	6,57
Planta viva ⁴	1,88	0,38	0,30	6,32	2,16	0,41	0,00	6,34	1,13	0,27	0,00	6,26
Raiz+parte aérea ⁵	4,25	0,21	0,00	6,10	6,02	0,39	0,00	5,88	5,11	0,33	0,00	6,16
Raiz ⁶	3,38	0,28	0,00	6,27	5,63	0,58	0,00	6,42	3,67	0,36	0,00	6,47
Parte aérea ⁷	5,76	0,33	0,00	6,40	4,09	0,26	0,00	6,08	4,52	0,38	0,00	6,12
	2,5 - 5 cm											
Testemunha	0,07	0,03	1,99	3,89	0,06	0,06	2,07	3,90	0,00	0,02	2,07	3,92
Calcário	0,03	0,05	1,25	4,23	0,00	0,04	1,09	4,09	0,07	0,08	1,37	4,18
Planta viva	0,08	0,05	1,34	4,19	0,01	0,08	0,67	4,38	0,09	0,07	0,52	4,67
Raiz+parte aérea	0,04	0,03	1,25	4,15	0,02	0,07	1,03	4,17	0,40	0,09	0,88	4,23
Raiz	0,04	0,04	1,31	4,16	0,03	0,05	1,09	4,18	0,02	0,05	0,79	5,15
Parte aérea	0,03	0,02	1,28	4,11	0,02	0,04	1,37	4,07	0,06	0,08	1,67	4,04
	5 - 10 cm											
Testemunha	0,09	0,04	1,46	3,93	0,04	0,07	1,58	3,98	0,05	0,04	1,82	3,93
Calcário	0,09	0,06	1,52	4,00	0,01	0,05	1,67	4,03	0,02	0,04	1,58	3,98
Planta viva	0,04	0,04	2,07	3,93	0,03	0,04	1,70	3,97	0,03	0,05	2,49	3,81
Raiz+parte aérea	0,05	0,09	1,64	3,97	0,02	0,07	1,43	4,02	0,04	0,06	2,25	3,93
Raiz	0,03	0,04	1,76	3,96	0,00	0,05	1,64	3,93	0,03	0,05	2,01	3,92
Parte aérea	0,06	0,05	1,61	3,97	0,00	0,05	1,58	3,96	0,00	0,06	1,61	4,02
	10 - 15 cm											
Testemunha	0,06	0,02	2,55	3,89	0,03	0,03	2,27	3,86	0,04	0,02	2,27	3,91
Calcário	0,02	0,01	2,16	3,92	0,01	0,02	2,31	3,94	0,03	0,01	2,25	3,90
Planta viva	0,05	0,01	2,52	3,84	0,02	0,01	2,10	3,86	0,02	0,01	2,59	3,83
Raiz+parte aérea	0,01	0,01	2,25	3,91	0,03	0,03	2,25	3,95	0,03	0,02	2,52	3,86
Raiz	0,02	0,01	2,28	3,87	0,01	0,02	2,31	3,88	0,03	0,01	2,49	3,90
Parte aérea	0,03	0,01	2,19	3,88	0,01	0,02	2,10	3,91	0,01	0,01	2,28	3,85
	15 - 20 cm											
Testemunha	0,03	0,01	2,35	3,90	0,03	0,02	2,39	3,92	0,03	0,01	2,39	3,89
Calcário	0,02	0,00	2,52	3,75	0,02	0,01	2,46	3,92	0,02	0,06	2,62	3,88
Planta viva	0,03	0,01	2,80	3,84	0,02	0,02	2,49	3,84	0,03	0,01	2,80	3,80
Raiz+parte aérea	0,04	0,00	2,28	3,89	0,02	0,02	1,82	3,96	0,00	0,01	2,28	3,91
Raiz	0,03	0,01	2,19	3,87	0,00	0,02	2,13	3,91	0,03	0,01	2,25	3,96
Parte aérea	0,02	0,01	2,37	3,86	0,03	0,02	2,46	3,84	0,00	0,01	2,46	3,93

¹ Teores de Ca e Mg extraídos em HCl 0,5 mol L⁻¹ menos os teores de Ca e Mg extraídos em KCl 1 mol L⁻¹.

² Colunas de solo sem aplicação de calcário e material vegetal.

³ Colunas de solo com aplicação de calcário.

⁴ Colunas de solo com aplicação de calcário e mantendo as plantas em crescimento.

⁵ Colunas de solo com aplicação de calcário e aplicação do material vegetal da parte aérea, cortado e moído (> 1 mm).

⁶ Colunas de solo com aplicação de calcário e remoção do material vegetal da parte aérea.

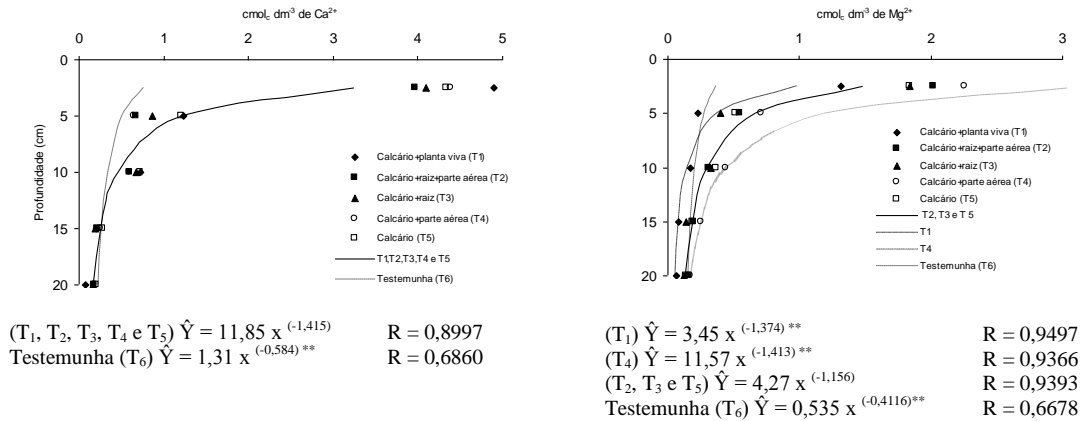
⁷ Colunas de solo não cultivada com plantas e com aplicação de calcário e aplicação material vegetal da parte aérea das plantas.

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K decresceram, geometricamente, com a profundidade nas colunas de solo (Figuras 7 e 8), sendo que as variações foram ajustadas à equação de regressão $y = a x^{-b}$, em que o parâmetro “a” caracteriza a magnitude dos teores e o parâmetro “b” a taxa de distribuição dos cátions ao longo das camadas, sendo que, um maior valor de “b” indica maior concentração nas camadas mais superficiais.

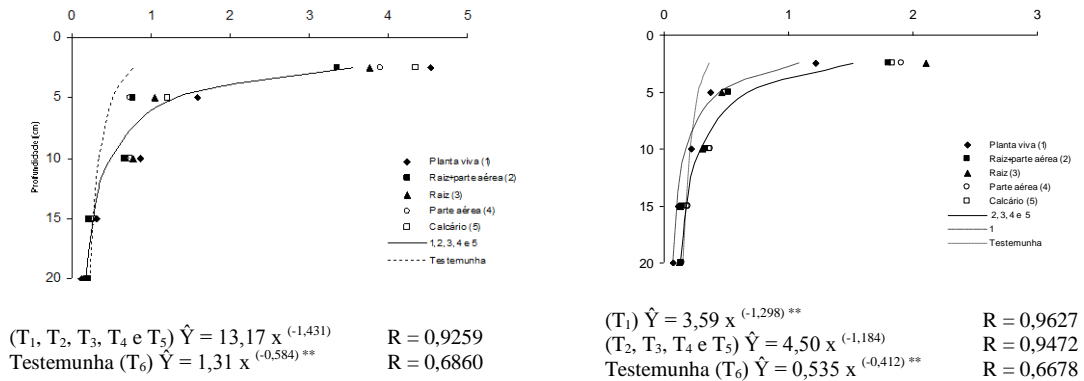
Apesar das evidências de alterações na solubilização do calcário, o padrão de distribuição do Ca^{2+} foi o mesmo para todos os tratamentos, sendo caracterizado por uma única equação de regressão (Figura 7). Verificaram-se aumentos nos teores de Ca^{2+} até 10 cm de profundidade. Para o Mg^{2+} , no entanto, ocorreu maior variação na distribuição. Com a aplicação apenas do calcário, ocorreu melhor distribuição do Mg^{2+} ao longo da coluna. Com a aplicação de calcário associada com as plantas em crescimento, ocorreram menores teores de Mg^{2+} , e mais localizados nos primeiros 10 cm (Figura 7).

A aplicação do calcário favoreceu a distribuição do K ao longo das colunas de solo (Figura 8), e a sua lixiviação, como evidenciam as concentrações de K nos lixiviados (Figura 6). Isto se deve a menor adsorção de K nas cargas negativas do solo em razão dos elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . A absorção de K pelas plantas foi intensa, considerando que ocorreu decréscimo significativo nos teores de K ao longo das colunas (Figura 8). A parte aérea da braquiária e do estilosantes adicionada ao solo juntamente com o calcário aumentou significativamente os teores de K até 10 cm de profundidade.

Braquiária



Capim gordura



Estilosantes

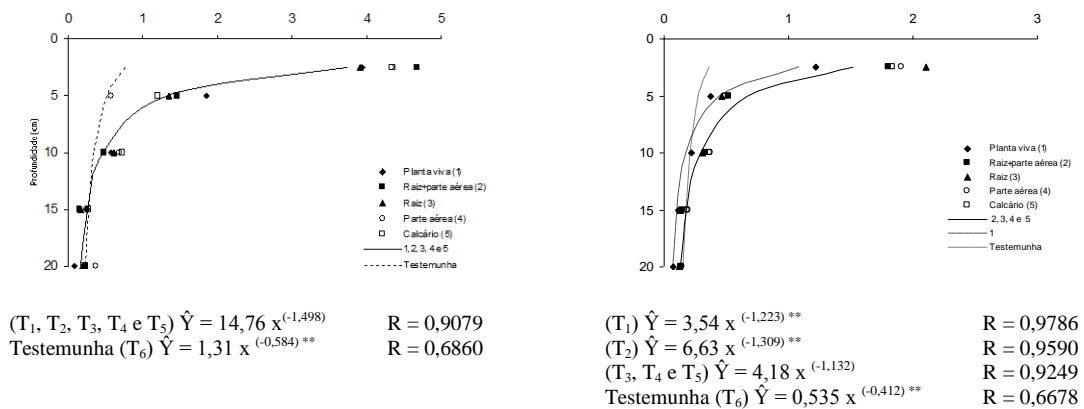


Figura 7. Teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} de acordo com a profundidade, 45 dias após a aplicação de calcário, em colunas de solo cultivadas ou não, com *Brachiaria decumbens* cv. Australino, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. vulgaris cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas. (*, **, *, # e ns significativo a 1; 5 e 10 % e não significativo, respectivamente).

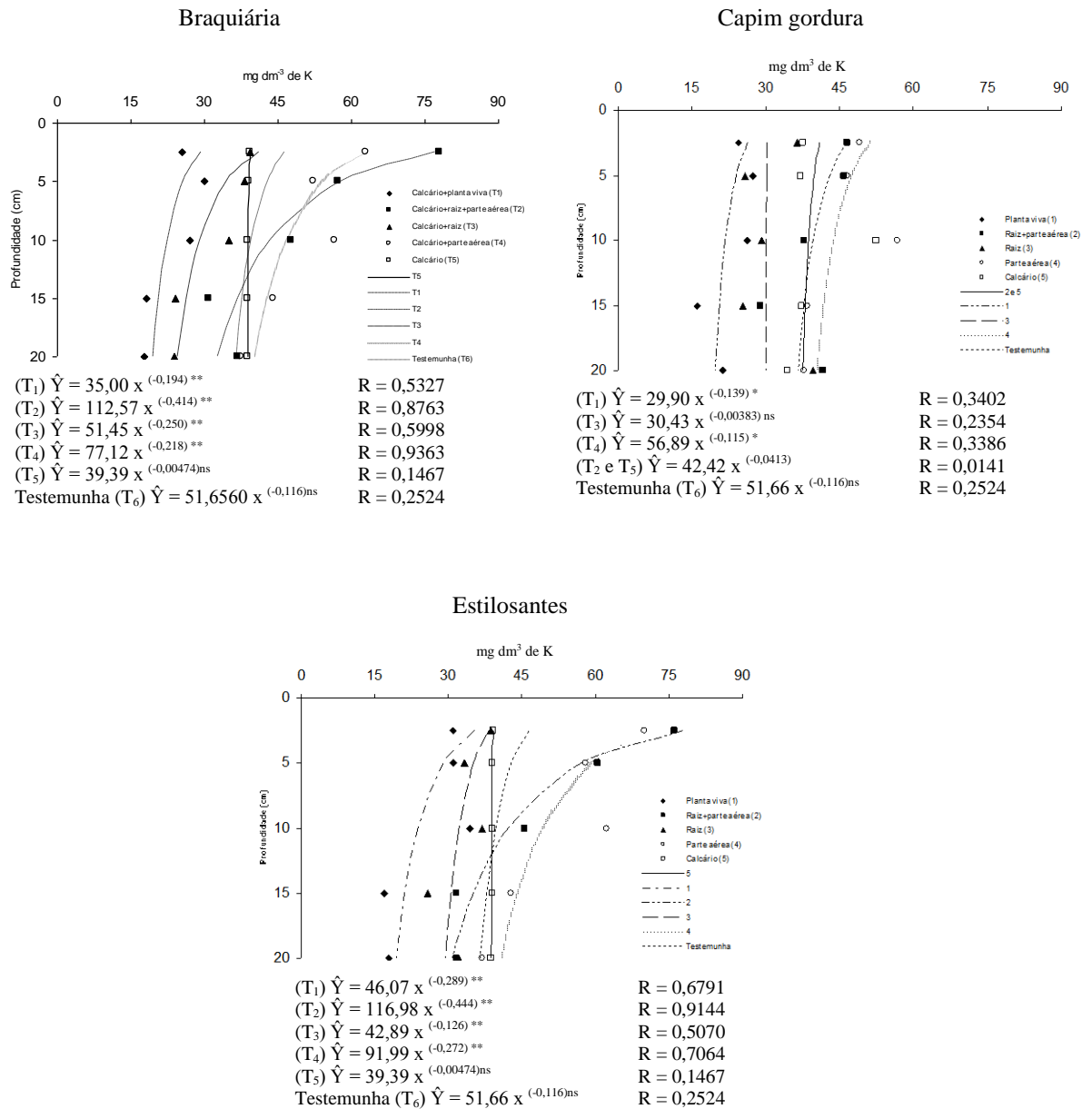


Figura 8. Teores de K de acordo com a profundidade, 45 dias após a aplicação de calcário, em colunas de solo cultivadas ou não, com *Brachiaria decumbens* cv. Australiano, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e com *Stylosanthes guianensis* var. *vulgaris* cv. Mineirão e com diferentes manejos das plantas. (*, **, *, # e ns significativo a 1; 5 e 10 % e não significativo, respectivamente).

CONCLUSÕES

É maior a solubilização do calcário aplicado em superfície no solo em que se mantiveram as plantas em crescimento.

Ocorreu distribuição do cálcio até 10 cm de profundidade, independente da aplicação ou não de materiais vegetais.

A aplicação de calcário independente da aplicação do material vegetal promove maior lixiviação do K.

A aplicação do calcário e do material vegetal da parte aérea das forrageiras favorece maior lixiviação de Ca, Mg e K e do ácido acético.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V. H. & RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V. H. eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação). Viçosa, CFSEMG, 1999. p.43:60.
- AMARAL, A. S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:695-702, 2001.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:115-123, 2004a.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHES, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *R. Bras.de Ci. Solo*, 28:359-367, 2004b.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análise Química do solo. 2ª ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análises do solo. 2ª ed. Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo, 1997. 247p.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um latossolo vermelho distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:235-247, 2005.
- FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por métodos biológicos. *Sci. Agric.*, 58:357-360, 2001.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:533-542, 1999a.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos vegetais de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2267-2276, 1999b.
- GEBRIM, F. O. Lixiviação de fósforo, bases e ânions inorgânicos e ácidos orgânicos em solos tratados com cama de aviário. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 95p. (Dissertação de Mestrado).
- GRAYBILL, F. A. Theory and application of the linear model. Belmont, Duxbury Press, 1976. 704p.
- GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Austr. J. Soil Res.*, 43:189-202, 2005.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:411-416, 1993.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron.*, 92:1-8, 2000.

- MORAES, M. F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & COSCIONE, A. R. Mobilidade de íons em solos ácidos com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. R. Bras. Ci. Solo, 31:673-684, 2007.
- PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A. & MELO, L. C. A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. R. Bras. Ci. Solo, 30:869-878, 2006.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. R. Bras. Ci, 32:911-920, 2008.
- RAIJ B. VAN; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A. P. & SOARES, E. Perdas de calcário e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. R. Bras. Ci. Solo, 6:33-37, 1982.
- REGAZZI, J. A. Testes para verificar a identidade de modelos de regressão e igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. R. Ceres, 46 383:409, 1999.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S; KAMINSKI, J. & XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solos arenosos. Ci. Rural, 30:263-268, 2001.
- SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; CARTER, T. E.; RAPER, C. D. & RUFTY, T. W. Differential aluminum tolerance in soybean: An evaluation of the role of organic acids. *Physiol. Plant.*, 112:200-210, 2001.
- SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N. & OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, SBCS. 2007. p.205:274.