



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Oliveira Gebrim, Fabrício de; Ribeiro Silva, Ivo; Ferreira Novais, Roberto; Vergütz, Leonardus; Costa
Procópio, Lorena; Novais Nunes, Tiago; Jesus, Guilherme Luiz de
Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa
massa molecular em solos adubados com camas de aviário
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 6, noviembre-diciembre, 2008, pp. 2255-2267
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214064005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

LIXIVIAÇÃO DE CÁTIONS FAVORECIDA PELA PRESENÇA DE ÂNIONS INORGÂNICOS E ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXA MASSA MOLECULAR EM SOLOS ADUBADOS COM CAMAS DE AVIÁRIO⁽¹⁾

Fabrício de Oliveira Gebrim⁽²⁾, Ivo Ribeiro da Silva⁽³⁾, Roberto Ferreira Novais⁽³⁾, Leonardus Vergütz⁽²⁾, Lorena Costa Procópio⁽⁴⁾, Tiago Novais Nunes⁽⁴⁾ & Guilherme Luiz de Jesus⁽²⁾

RESUMO

Com o incremento exponencial da avicultura no Brasil, a disponibilidade de dejetos de aves e de cama de aviário tem aumentado de maneira semelhante. A proibição de uso desses produtos na ração animal tem feito com que eles sejam direcionados para a produção agrícola como fertilizantes. Ainda há na literatura carência de informação sobre lixiviação de bases no perfil do solo em consequência do efeito de ânions inorgânicos acompanhantes, como cloreto, nitrato e sulfato, e do efeito complexante de ácidos orgânicos de baixa massa molecular. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da aplicação de cama de aviário na lixiviação de Ca, Mg, K e Na em solos e sua associação com ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa molecular. Amostras de dois Latossolos Vermelho-Amarelos, um de textura média e outro de textura argilosa, foram colocadas em colunas de PVC constituídas de cinco anéis, cada um com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, ligados entre si com fita adesiva. O solo colocado no anel superior recebeu, homogeneamente, cinco tipos de camas de aviário: casca de café, casca de arroz, sabugo de milho,

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, financiado pela FAPEMIG e CNPq. Recebido para publicação em março de 2007 e aprovado em outubro de 2008.

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mails: fgebrim@yahoo.com.br; leonardus_vergutz@yahoo.com.br; guilhermeluiz_ufv@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, UFV. E-mail: ivosilva@ufv.br; rfnovais@ufv.br

⁽⁴⁾ Estudante de Graduação do Departamento de Solos, UFV. E-mail: lorena27_cp@yahoo.com.br; tiagonnunes@yahoo.com.br

capim-napier e maravalha, totalizando 160 t ha⁻¹ de material seco, comparado à testemunha (sem a cama de aviário). O experimento constituiu um fatorial 5 x 2, com cinco camas e dois solos, dispostos em blocos casualizados com três repetições. As colunas foram submetidas a 10 percolações com água deionizada, duas vezes por semana, até atingirem o volume de 1.200 mm de chuvas. Nos 10 percolados, foram analisadas as concentrações de Ca, Mg, K e Na, dos ânions Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻ e de ácidos orgânicos de baixa massa molecular. Houve grande lixiviação de bases nas colunas, principalmente até a terceira percolação. Esse fato foi causado pela adição dessas bases, em doses elevadas, pelas camas de aviário e, aparentemente, também pelo efeito dos ânions acompanhantes Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻ no solo de textura média, Cl⁻ e NO₃⁻ no solo de textura argilosa e, de maneira menos expressiva, pelo efeito acompanhante/complexante dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular. No solo argiloso, a percolação de Ca esteve positivamente correlacionada com a concentração dos ácidos málico e oxálico. A concomitante elevada concentração de ácido acético nos percolados de solos tratados com todas as camas sugere que este pode estar favorecendo a lixiviação de bases no solo, provavelmente como ânion acompanhante.

Termos de indexação: lixiviação de bases, ânion acompanhante, complexação, acetato, tartarato, propianato, oxalato, succinato, malato.

SUMMARY: CATION LEACHING FAVORED BY INORGANIC ANIONS AND LOW MOLECULAR MASS ORGANIC ACIDS IN SOILS FERTILIZED WITH DIFFERENT POULTRY LITTERS

The exponential growth in poultry farming in Brazil has led to a parallel increase in the production of manure and poultry litter. The litter generated in this activity used to be largely employed as cattle feed. However, the enactment of a law that bans the use of poultry litter as animal feed intensified its use as organic fertilizer in agriculture. Despite its importance, there are gaps in our knowledge on an adequate use to obtain high plant yields without threatening the environment. One of these gaps is base-leaching in the soil profile as a result of the presence of accompanying anions such as chloride, nitrate and sulphate, and the complexing effect of low molecular mass organic acids. Samples of two Oxisols (a clayey and a sandy loam Red-Yellow Latosol) were placed in PVC columns. Each column consisted of five PVC rings (5 cm diameter, 10 cm height) fixed to each other with scotch tape. Five types of poultry litter (coffee husks, ground corn cob, rice husk, napier grass and wood shavings) were homogenously applied to the soil in the top ring in a dose equivalent to 160 t ha⁻¹ (dry weight basis). The treatments consisted of a 5 x 2 + 1 factorial combination, corresponding to five poultry litter types, two soils with distinct textures, and a control treatment with no poultry litter application, with five repetitions, arranged in a complete randomized block design. Deionized water was applied on top of the columns twice a week, in a total volume corresponding to 1.200 mm, totaling 10 applications. Leachates were analyzed for cations (Ca, Mg, K and Na), anions (Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻) and low molecular mass organic acids by ion chromatography. Results indicate substantial base-leaching through the soil columns, particularly up to the third percolation. This was most likely a result of the presence of bases contained in the high poultry litter doses and the presence of accompanying anions (Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ in the sandy loam soil and Cl⁻ and NO₃⁻ in the clayey soil). Ca leaching was positively correlated with the malic and oxalic acid concentrations in the clayey soil. High acetic acid concentration in leachates of poultry litter-treated soils suggest that it may have favored base-leaching in the soil profile as a result of its action as an ion pair.

Index terms: bases leaching, complexation, citrate, acetate, oxalate, nitrate leaching.

INTRODUÇÃO

No decêndio de 1990, com a expansão de áreas cultivadas no País, a pesquisa sobre a movimentação de nutrientes no perfil do solo, como consequência do emprego do plantio direto (Caires et al., 1999) e também pela utilização crescente de adubos verdes (Pavan, 1994; Franchini et al., 1999a,b, 2001, 2003) aumentou significativamente. Todavia, não são comuns trabalhos que relacionem a movimentação de bases como Ca, Mg, K e Na no solo com a presença de ácidos orgânicos de baixa massa molecular. Entretanto, há muitas evidências do efeito desses ácidos em favorecer a lixiviação de bases como consequência do aumento da quantidade de resíduos vegetais sobre o solo (Franchini et al., 1999a, 2003; Amaral et al., 2004).

Pavan (1994) observou que cobertura morta de aveia e serragem proporcionaram aumento da translocação de Ca para camadas subsuperficiais do solo e também a diminuição do Al trocável em profundidade. Nos estudos de Franchini et al. (1999b), em que se utilizaram soluções puras de ácidos orgânicos de baixa massa molecular, como o cítrico e o succínico, e extratos de nabo forrageiro e aveia-preta, observou-se que esses compostos orgânicos foram capazes de formar complexos bastante estáveis com Ca e Al do solo, modificando significativamente suas mobilidades no perfil. Em outro trabalho, Franchini et al. (1999a) observaram que adubos verdes e resíduos de plantas eram capazes de diminuir o efeito do Al trocável e aumentar o pH e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo. Caires et al. (1999) também observaram a maior eficiência do calcário em atingir camadas mais profundas do solo, quando aplicado em sistema plantio direto em solos com elevada acidez.

Em experimento com colunas de lixiviação, dois materiais orgânicos derivados de carvão, saturados com Ca e aplicados na superfície do solo, causaram diminuição do teor de Al trocável e aumento do teor de Ca trocável em profundidade, fato atribuído à formação de complexos orgânicos e inorgânicos com os cátions presentes e, ou, adicionados ao solo e à consequente lixiviação de Mg e K no perfil do solo (Noble et al., 1994). Hue & Licudine (1999), em estudo realizado com colunas de lixiviação, observaram que o esterco de galinha foi capaz de aumentar o teor de Ca e o pH do solo e diminuir o Al da solução, e a saturação por Al^{3+} no subsolo, principalmente abaixo dos 15 cm de profundidade. Esses autores verificaram também que moléculas orgânicas derivadas do esterco eram responsáveis pela formação dos complexos com Ca e Al e pela alteração na mobilidade desses elementos no solo.

A mobilidade de Ca no solo é bastante limitada. Conseqüentemente, sua concentração em profundidade no perfil tende a diminuir, limitando assim o crescimento radicular em profundidade (Sanzonovitz et al., 1998; Silva et al., 2001). Portanto, a grande importância dessa maior lixiviação de bases no perfil

seria proporcionar às plantas melhores condições de crescimento radicular em profundidade e, como consequência, explorar maior volume de solo, com aumento da tolerância das culturas a déficits hídricos (Ritchey et al., 1982; Pavan et al., 1984; Sousa, 2004).

Este trabalho teve por objetivo investigar a lixiviação de Ca, Mg, K e Na em resposta à aplicação de diferentes tipos de camas de aviário em colunas de solos com texturas diferentes, bem como sua associação com ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado utilizando-se colunas de solo montadas em tubos de PVC, onde amostras de dois solos, química e fisicamente caracterizados (Quadro 1), foram colocadas. O experimento consistiu de um fatorial 5×2 , sendo cinco diferentes tipos de cama de aviário: casca de café, casca de arroz, sabugo de milho, capim-napier e maravalha; e dois solos de texturas distintas: um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média e outro de textura argilosa, tendo o Latossolo de textura argilosa maior adsorção aniónica, dados de P-rem (Quadro 1). Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados com três repetições.

Os dois solos foram coletados em horizontes subsuperficiais, com o objetivo de diminuir a interferência da matéria orgânica. Foram secos ao ar e passados em peneira com malha de 2 mm (TFSA). Os solos foram acondicionados nas colunas de PVC montadas com cinco anéis de 10 cm de altura cada, ligados entre si com fita adesiva e com parafina aplicada nas paredes internas, para evitar possível movimentação da água na interface PVC/solo.

As cinco camas de aviário utilizadas foram de casca de arroz, casca de café, sabugo de milho, capim-napier e maravalha. No anel superior de cada coluna, foram aplicadas as camas de aviário (160 t ha^{-1} de material seco), e uma testemunha (sem cama de aviário).

A quantidade de cama de aviário utilizada neste trabalho teve por base o trabalho realizado por Gianello & Ernani (1983), que utilizaram até 144 t ha^{-1} ; os incrementos foram lineares para a produção de matéria seca de milho em um solo argiloso, embora com diminuição na produção no solo com menor teor de argila no primeiro ano de cultivo.

As camas de aviário foram submetidas à digestão nítrico-perclórica e os extratos foram analisados quanto aos teores de Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica e, quanto ao K e Na, por fotometria de emissão de chama (Quadro 2). Também foram quantificados alguns ânions inorgânicos (Cl^- , NO_3^-) e outros orgânicos, derivados de ácidos de baixa massa molecular solúveis em água, por cromatografia de íons (Quadro 3). Para isso, as cinco camas foram submetidas à extração com água, sendo uma alíquota

de cada material passada em um filtro de 0,45 µm de abertura de poros e acondicionadas no recipiente do sistema de injeção automática do cromatógrafo. Os íons e os ácidos orgânicos foram separados em um cromatógrafo iônico (DIONEX), equipado com uma coluna analítica (AS-11 DIONEX) e um gradiente

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos utilizados

Característica	Solo	
	Textura argilosa	Textura média
pH H ₂ O (1:2,5)	4,80	5,40
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	1,10	0,45
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,02	0,05
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,01	0,01
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	6,70	3,20
K (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	4,10	9,90
P (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	0,30	0,30
P remanescente (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾	4,20	24,50
CMAP (mg kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	2.480,0	760,0
Carbono orgânico (g kg ⁻¹) ⁽⁶⁾	13,8	6,5
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,04	0,08
CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	1,14	0,53
CTC pH 7,0 (T) (cmol _c dm ⁻³)	6,74	3,28
m (%)	96,50	84,90
V (%)	0,60	2,40
Areia grossa (g kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	130,0	260,0
Areia fina (g kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	70,0	500,0
Silte (g kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	20,0	30,0
Argila (g kg ⁻¹) ⁽⁷⁾	780,0	210,0
Classe textural	Muito argilosa	Franco-argilo-arenosa
Capacidade de campo (kg kg ⁻¹) ⁽⁸⁾	0,35	0,10

⁽¹⁾ Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). ⁽²⁾ Extrator: acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 (Vettori, 1969). ⁽³⁾ Extrator: Mehlich -1 (Defelipo & Ribeiro, 1997). ⁽⁴⁾ Concentração de P da solução de equilíbrio, após agitar por 1 h o solo com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P na relação 1:10 (Alvarez V. et al., 2000). ⁽⁵⁾ Olsen & Watanable (1957), adaptado por Alvarez V. & Fonseca (1990). ⁽⁶⁾ Método Walkley & Black (Jackson, 1958). ⁽⁷⁾ Método da pipeta (Embrapa, 1997). ⁽⁸⁾ Método de Richards (-30 kPa) (Embrapa, 1997).

eletroquímico, e quantificados em um detector de condutividade elétrica suprimida, conforme Silva et al. (2001).

Na base de cada coluna foi colocado um tampão de PVC e, sobre este, uma tela plástica como suporte de uma camada de lâ-de-vidro e uma camada de areia lavada, para evitar a perda de solo da coluna. À base de cada coluna, foi acoplada uma mangueira coletora do lixiviado, ligando a coluna ao recipiente coletor. Foi instalado sobre cada coluna um sistema de controle de fluxo de água, utilizado na aplicação médica de soro fisiológico, para veicular a água deionizada (Figura 1).

As colunas receberam água deionizada logo após sua montagem, ou seja, sem a incubação prévia do solo com as camas, com um fluxo controlado de solo com as camas, com um fluxo controlado de aproximadamente, 0,35 mL min⁻¹ para o solo de textura arenosa e de 0,42 mL min⁻¹ para o de textura argilosa. O volume da água aplicado nos solos de texturas arenosa e argilosa foram, respectivamente, de 250 e 300 mL por percolação, tendo por base o volume de poros de cada solo. Foram realizadas 10 percolações, sendo duas por semana, durante 35 dias. Esse procedimento foi realizado até que se atingisse um valor aproximado da média pluviométrica anual da região de Viçosa, 1.200 mm aproximadamente. Durante todo o período de condução do experimento, o topo das colunas foi mantido coberto com plástico, para reduzir evaporação e, como consequência, a ascensão capilar de água.

Quadro 2. Teores totais de macronutrientes, cátions e de sódio das camas de aviário utilizadas

Cama	Na	K	Ca	Mg	g kg ⁻¹	
Casca de café	539,0 a	28,9 ab	25,0 a	5,5 b		
Sabugo	599,7 a	29,7 a	28,3 a	6,7 a		
Maravalha	599,5 a	24,4 c	25,8 a	5,7 b		
Casca de arroz	589,6 a	26,8 b	25,7 a	6,2 a		
Capim-napier	559,6 a	23,3 c	25,5 a	6,0 a		
Média	569,3	26,6	26,1	6,0		
CV (%)	9,2	10,0	6,6	8,2		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % (Souza, 2004).

Quadro 3. Teores totais solúveis de ácidos orgânicos e ânions inorgânicos das camas de aviário utilizadas

Cama	Acetato	Propionato	Nitrato	Cloreto	Sulfato	Fosfato	mg kg ⁻¹	
Casca de café	0,349		0,562	34,399	20,627	1338,631		
Sabugo	0,400		0,297	35,703	23,349	944,062		
Maravalha	0,583		0,399	36,065	22,724	946,021		
Casca de arroz	0,308	0,452	0,159	41,772	25,817	1339,890		
Capim napier	0,330		0,175	38,702	25,438	1263,920		

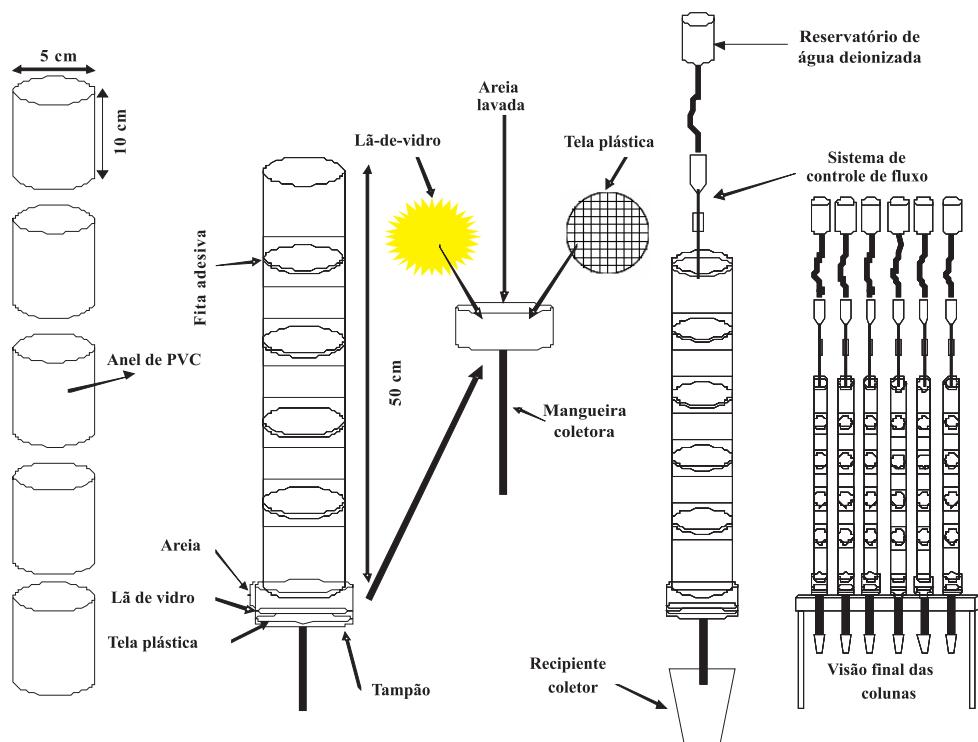


Figura 1. Esquema de montagem das colunas de PVC, para percolação de água, utilizadas no experimento.

Para cada uma das 10 percolações, foram determinados os teores de Ca, Mg, K e Na, por espectrometrias de absorção e emissão atômica, e os teores dos ânions Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} e derivados de ácidos orgânicos de baixa massa molecular por meio de cromatografia iônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das soluções percoladas ao longo do tempo indicam que houve interação significativa ($0,05 > p \geq 0,01$) entre o tipo de cama, o tipo de solo na percolação de cátions e ânions. De modo geral, as concentrações das quatro bases nos lixiviados dos solos tratados com cama seguiram a seguinte tendência: $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ (Figuras 2 e 3). Os maiores teores de Na refletem sua baixa energia de adsorção pelos colóides do solo. O Na e o K também são usados em elevadas concentrações, nas rações de aves, como suplemento para melhorar o ganho de peso (Ahmad et al., 2005). Embora os teores de Ca tenham sido semelhantes nas camas de aviário utilizadas e esse elemento tenda a ser mais fortemente retido no solo, observou-se neste estudo maior mobilidade para o Ca do que para o K. Possivelmente, a lixiviação do Ca tenha sido favorecida pela presença de ânions com os

quais ele forma complexos mais estáveis do que com o K, como será discutido mais adiante. Nas colunas que receberam as camas, nas primeiras percolações as concentrações de Ca e Mg foram elevadas, decrescendo a partir da terceira percolação para o solo de textura média e quarta percolação para o argiloso, aproximando-se dos valores encontrados no tratamento sem a aplicação de cama de aviário no solo argiloso, ou pouco mais elevada que a testemunha no solo de textura média (Figura 2). Nos tratamentos com as diferentes camas, as concentrações iniciais de Ca estavam em torno de 90 mg L^{-1} no solo argiloso, chegando a valores próximos de 40 mg L^{-1} no solo de textura média (Figura 2). As concentrações de Mg nos percolados atingiram valores iniciais próximos de 15 mg L^{-1} para o solo de textura argilosa e de 12 mg L^{-1} para o solo de textura média (Figura 2). Comportamento semelhante foi observado em relação ao Na e ao K, exceto no solo argiloso, em que a percolação de K foi elevada apenas para a cama de palha de café, embora em valores bem abaixo do observado para o solo de textura média (Figura 3).

O calcário é a principal fonte de Ca e Mg utilizada na agricultura. Entretanto, a reatividade do íon CO_3^{2-} no solo confere mobilidade limitada ao Ca e ao Mg; consequentemente a movimentação dessas bases no perfil do solo também é limitada nessas condições. Uma forma de suprir Ca em profundidade é utilizar

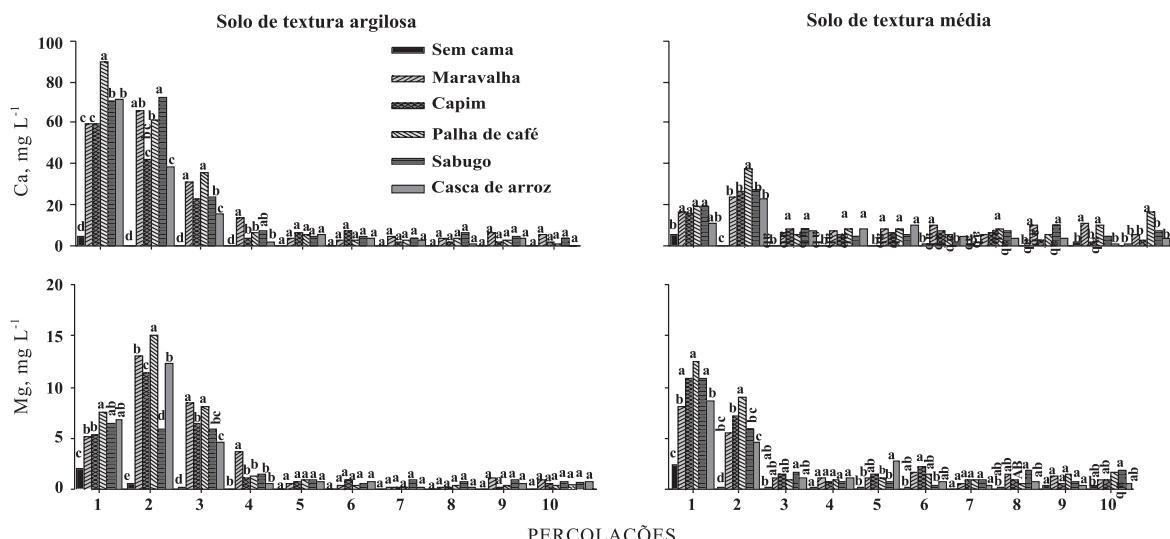


Figura 2. Concentrações de Ca e Mg em percolados coletados sucessivamente, ao longo do tempo, em dois Latossolos de texturas distintas, que receberam 160 t ha^{-1} , base material seco, de cinco tipos diferentes de cama de aviário, no anel superior de colunas de percolação, comparados à testemunha, sem cama de aviário. As médias das concentrações dos elementos seguidas pela mesma letra em uma mesma percolação, para as diferentes camas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

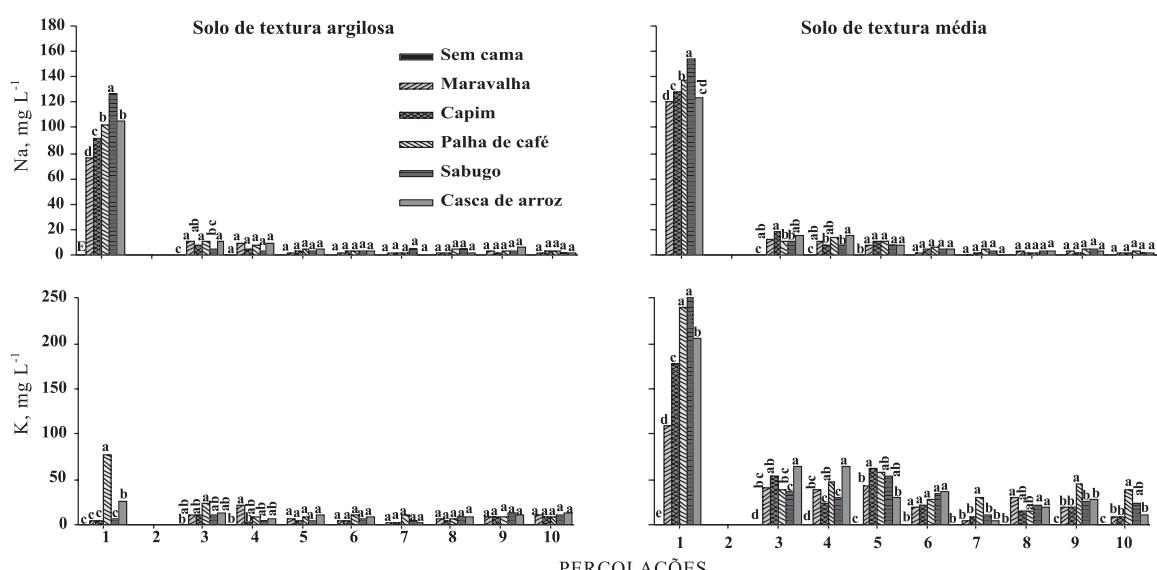


Figura 3. Concentrações de Na e K em percolados coletados sucessivamente, ao longo do tempo, em dois Latossolos de texturas distintas, que receberam 160 t ha^{-1} , base material seco, de cinco tipos diferentes de cama de aviário, no anel superior de colunas de percolação, comparados à testemunha, sem cama de aviário. As médias das concentrações dos elementos seguidas pela mesma letra em uma mesma percolação, para as diferentes camas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, a 5 %

gesso, uma vez que o sulfato, como ânion acompanhante, confere ao Ca e a outras bases grande mobilidade (Maria et al., 1993; Caires et al., 2003, 2004, 2006; Sousa, 2004).

A utilização da cama de aviário, de certa forma, combina os efeitos benéficos do calcário e do gesso, visto que ela tem a capacidade de aumentar o pH do solo (Souza, 2004) e o suprimento de Ca, Mg e K, além

do Na, como observado neste trabalho (Figuras 2 e 3). Outro aspecto positivo da utilização da cama de aviário, por promover o aumento da CTC efetiva do solo, é evitar a lixiviação excessiva de bases como Mg e K, decorrente da aplicação de doses elevadas de gesso (Maria et al., 1993).

Para melhorar a compreensão da mobilidade de Ca, Mg, K e Na nos solos, de maneira particular quando ânions minerais e ácidos orgânicos de baixa massa molecular estão envolvidos no processo, foram feitas análises cromatográficas dos extratos aquosos das camas utilizadas, tendo sido detectados vários ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular, entre eles: acetato, tartarato, propionato, succinato e malato, sendo o acetato e o propionato os mais abundantes (Figura 4). Os íons orgânicos, em especial o citrato e o oxalato, são capazes de formar complexos solúveis com o Ca, favorecendo seu transporte no perfil do solo, como tem sido observado com ácidos orgânicos liberados por adubos verdes (Franchini et al., 1999a,b, 2003). Isso resulta em maiores teores de Ca e melhor crescimento radicular em profundidade no solo (Franchini et al., 2003). Os resultados observados indicam que as camas de aviário favoreceram a lixiviação de Ca, Mg, K e Na para as camadas mais profundas do solo por dois mecanismos prováveis: suprimento de grandes quantidades de Ca, Mg, K e Na pelas próprias camas; e provável efeito de ânions inorgânicos acompanhantes e, ou, de ânions orgânicos de ácidos de baixa massa molecular.

Ânions inorgânicos como Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} também foram encontrados em concentrações elevadas, em particular Cl^- e NO_3^- , como pode ser observado no cromatograma do extrato aquoso da cama de maravalha (Figura 4). O NO_3^- pode ainda ser advindo da nitrificação do N, que se encontra, originalmente, na forma amoniacal (30–50 % estão na forma de amônio ou ácido úrico) nas camas de aviário (Nicholson et al., 1996). Esses ânions são capazes de aumentar a mobilidade de bases no solo, ao atuarem como ânions acompanhantes, fazendo com que essas bases atinjam maior profundidade no perfil do solo. A maior eficácia dos ânions Cl^- e NO_3^- , comparados ao SO_4^{2-} , e deste ao CO_3^{2-} , quanto ao arraste de bases no perfil, é amplamente documentada na literatura (Huete & McColl, 1984; Qafoku et al., 2000; Jalali & Rowell, 2003).

As lixiviações dos ânions Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} no solo textura média apresentaram um perfil decrescente ao longo das sucessivas percolações (Figura 5a), coincidente com o ocorrido com as percolações das bases (Figuras 2 e 3), sugerindo o papel importante na lixiviação desses elementos como ânion acompanhante.

O perfil de decréscimo das concentrações de Cl^- e NO_3^- no solo de textura argilosa, ao longo das sucessivas percolações (Figura 5b), também acompanha o perfil de decréscimo de bases (Figuras 2 e 3), sugerindo também para este solo o efeito desses ânions acompanhantes no processo. Entretanto, o

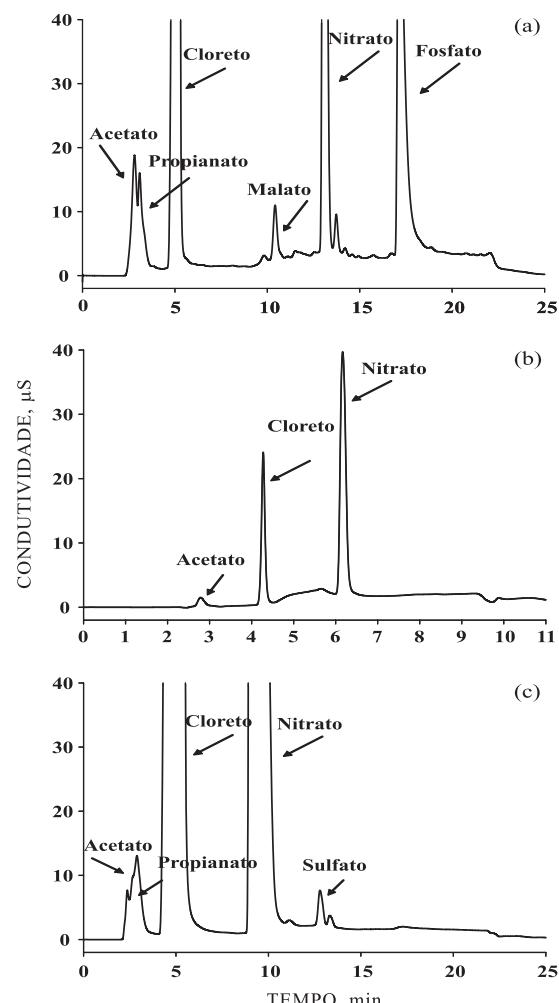


Figura 4. Cromatogramas indicando a presença de ácidos orgânicos e ânions inorgânicos na cama de maravalha (a), lixiviado do tratamento testemunha do solo argiloso, sem aplicação de cama (b) e no lixiviado do solo argiloso tratado com 160 t ha^{-1} de cama de aviário de maravalha, base material seco (c).

mesmo não acontece com o SO_4^{2-} (Figura 5b). Este ânion somente teve sua lixiviação aumentada de maneira mais consistente a partir da quarta percolação, devido, provavelmente, à maior sortividade do solo de textura argilosa.

Pode-se assim estabelecer o efeito positivo e importante do ânion acompanhante na mobilidade de bases no perfil de solos, desde que o ânion, de fato, seja móvel no solo. Isso ocorreu com facilidade para todos os ânions estudados nos dois solos, embora em maiores concentrações no solo textura média, mas não com a mesma grandeza para o SO_4^{2-} no solo argiloso, como já comentado. O ocorrido para a o efeito no teor

de sulfato com a textura dos solos, embora semelhante, é menos nítido que o ocorrido na lixiviação do fosfato com o aumento do teor de argila (Gebrim et al., 2008). Devido à maior capacidade de troca de ânions (CTA) em subsolos ácidos com carga variável, como os deste estudo, há maior restrição ao movimento de ânions. Todavia, essa restrição é reduzida quando a concentração desses ânions na solução e o pH são aumentados (Qafoku et al., 2000). Portanto, a aplicação de cama de aviário pode aumentar a lixiviação de ânions diretamente, por ser uma fonte destes (Figura 4) e, indiretamente, por reduzir a CTA dos solos.

O arraste mais intenso observado para o Cl^- e NO_3^- e menor para o SO_4^{2-} no solo argiloso indica que esse efeito de movimentação de bases no perfil está mais ligado ao efeito de ânion acompanhante, quando os íons de cargas opostas (contra-íons) se movem livres em solução, que ao par iônico, quando há ligação, mesmo que fraca, entre o ânion e o cátion, uma vez que Cl^- e NO_3^- não são formadores de pares iônicos estáveis, ao contrário do SO_4^{2-} , exemplo clássico de ânion que forma par iônico com alguns cátions, entre eles o Ca. Além disso, a decomposição de resíduos orgânicos pode gerar ânions como o SO_4^{2-} e NO_3^- , que podem promover maior mobilidade de cátions básicos

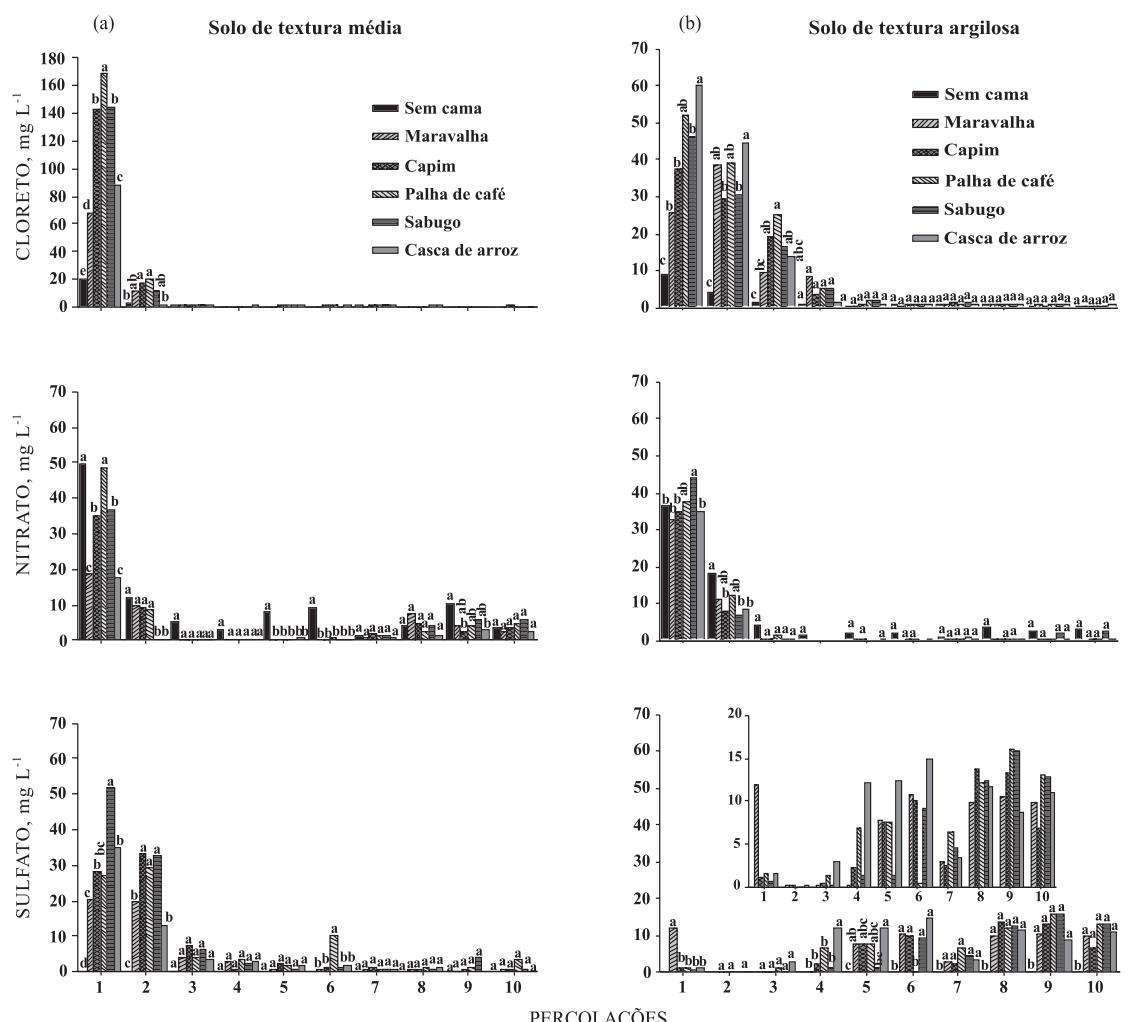


Figura 5. Concentrações dos ânions cloreto, nitrato e sulfato em percolados coletados de ácidos orgânicos de baixa massa molecular em percolados coletados sucessivamente; ácidos orgânicos de baixa massa molecular em percolados coletados sucessivamente, ao longo do tempo, em Latossolos de textura média e argilosa, que receberam 160 t ha^{-1} , base material seco, de cinco tipos diferentes de cama de aviário, no anel superior de colunas de percolação, comparados à testemunha, sem cama de aviário. As médias das concentrações dos elementos seguidas pela mesma letra em uma mesma percolação, para as diferentes camas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

(Oliveira et al., 2002). Adicionalmente, quanto menor for a força de ligação entre o ânion e o colóide do solo, à lixiviação do cátion acompanhante seria favorecida, e, por isso, o ânion Cl^- conduz à maior mobilidade de bases do que o SO_4^{2-} (Dal Bó et al., 1986; Wadt & Wadt, 1999). Compreende-se, assim, por que no processo de condicionamento químico de perfis de solos ácidos, distróficos, as doses de gesso recomendadas são maiores para solos mais argilosos (Sousa et al., 2004). Compreende-se também porque é comum encontrar em cafezais com muitos anos de cultivo maior saturação por bases na camada de 20–40 cm do que na de 0–20 cm. Isso se deve às grandes e frequentes doses de KCl aplicadas nesta cultura e de N, que, com o tempo, é nitrificado, e ao expressivo arraste do Cl^- e NO_3^- mesmo nos solos mais argilosos⁽⁶⁾. Em outros estudos, também tem sido observada maior mobilidade do Cl^- em relação ao NO_3^- e ao SO_4^{2-} e que há boa correlação entre concentração de cátions lixiviados do solo com os mols de carga de ânions inorgânicos (Heng et al., 2001). Wong et al. (1992) também constataram que as perdas de Ca e Mg em solo estavam intimamente relacionadas com aquelas de NO_3^- . Encontra-se evidência mais direta da participação do NO_3^- na lixiviação de cátions básicos no perfil do solo em estudo, em que os teores de NO_3^- foram reduzidos pela aplicação de inibidor da nitrificação (diciandiamida), o que resultou em redução de 50 % na lixiviação de Ca, 52 % de Mg e 65 % de K, como resposta à redução na concentração do ânion acompanhante na solução do solo (Di & Cameron, 2004). Deve-se ponderar, no entanto, que em solos tropicais altamente intemperizados os óxidos de Fe e Al podem contribuir com carga líquida positiva, especialmente em horizontes subsuperficiais, minimizando os riscos de contaminação de águas pelo NO_3^- .

A participação dos ânions das camas de aviário na lixiviação de bases é importante para a minimização dos efeitos negativos da acidez do subsolo e desta para o crescimento de plantas. No entanto, a lixiviação excessiva de NO_3^- para camadas profundas, além daquelas exploradas pelo sistema radicular das culturas, não é desejável, pois pode comprometer a qualidade da água, causando danos à saúde humana. Entretanto, merece destaque o fato de que, no presente estudo, em nenhuma percolação, os teores de NO_3^- ficaram acima do limite de 50 mg L⁻¹, teor máximo aceito pela Organização Mundial de Saúde e União Européia. Todavia, para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o limite é de 10 mg L⁻¹ para água doce, ultrapassado nas primeiras lixiviações. No entanto, como foi realizada uma única aplicação de cama de aviário, esses resultados não significam que não haverá contaminação do lençol freático, desde que haja o uso continuado da cama de aviário, como tem sido observado em extensas áreas onde se

realiza aplicação intensiva de dejetos animal (Hooda et al., 2000).

Dos ácidos orgânicos avaliados, no tratamento sem cama de aviário, apenas o acético foi detectado no lixiviado dos dois solos, mas em concentração muito baixa (em torno de 0,1 mg L⁻¹) e apenas na primeira percolação (Figura 6a,b). Isso indica sua baixa retenção no solo e justifica, à semelhança do ocorrido com Cl^- e NO_3^- , correlação significativa e positiva (Quadro 4) com o perfil de perdas de bases ao longo das percolações sucessivas. Adicionalmente, com exceção dos ácidos oxálico e málico, as constantes de estabilidade dos complexos dos ácidos orgânicos mono e dicarboxílicos com o Ca são relativamente baixas (Ryan et al., 2001), sugerindo que a contribuição desses compostos no transporte do Ca (e outros cátions básicos) seja relativamente pequena. Dessa forma, poderia se supor que a mobilidade do Ca, um cátion mais fortemente adsorvido em relação aos demais cátions avaliados, seria, teoricamente, mais dependente da formação de par iônico com os ácidos málico e oxálico, e esse efeito seria mais facilmente observável no solo com maior CTC (solo argiloso). De fato, foi observada correlação positiva significativa entre as concentrações de Ca e aquelas de ácido málico ($r = 0,74^{**}$) e oxálico ($r = 0,70^*$) nos lixiviados do solo de textura argilosa, ao passo que no solo de textura média não se observou correlação positiva entre as concentrações de Ca e de ácido oxálico (média das cinco camas, Quadro 4).

A rapidez com que os ácidos orgânicos foram detectados nos percolados dos solos tratados com cama de aviário variou substancialmente. Em ambos os solos, os ácidos acético, oxálico, propiônico e málico foram encontrados em maiores concentrações nas primeiras lixiviações, decaendo em percolações posteriores (Figura 6a,b). De maneira distinta, o ácido succínico foi detectado a partir da sexta percolação, refletindo maior energia de adsorção aos colóides do solo, ou que este foi sintetizado *in situ*, via atividade microbiana. Esta última hipótese é mais plausível em face da ausência de ácido succínico na cama de aviário utilizada (Figura 4).

A presença dos demais ácidos (málico, oxálico, propiônico, succínico e tartárico) nos percolados, apesar de dependente do tipo de cama de aviário, indica a importância da aplicação desses resíduos orgânicos nos solos para uma ampla gama de funções, como a melhoria do fluxo difusivo de micronutrientes cationícios (Pegoraro et al., 2005), mesmo que neste caso o efeito complexante – e com ele a lixiviação de bases – não tenha tido a importância dos ânions Cl^- e NO_3^- e, em menor escala, do SO_4^{2-} . Adicionalmente, os ácidos orgânicos formam complexos com elevada estabilidade com o Al (Ryan et al., 2001; Kochian et al., 2004), reduzindo sua rizotoxicidade para espécies sensíveis e facilitando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Franchini et al., 2001a,b, 2003; Ryan et al., 2001; Kochian, 2004).

⁽⁶⁾ Professor R.F. Novais – informação pessoal (dados não publicados).

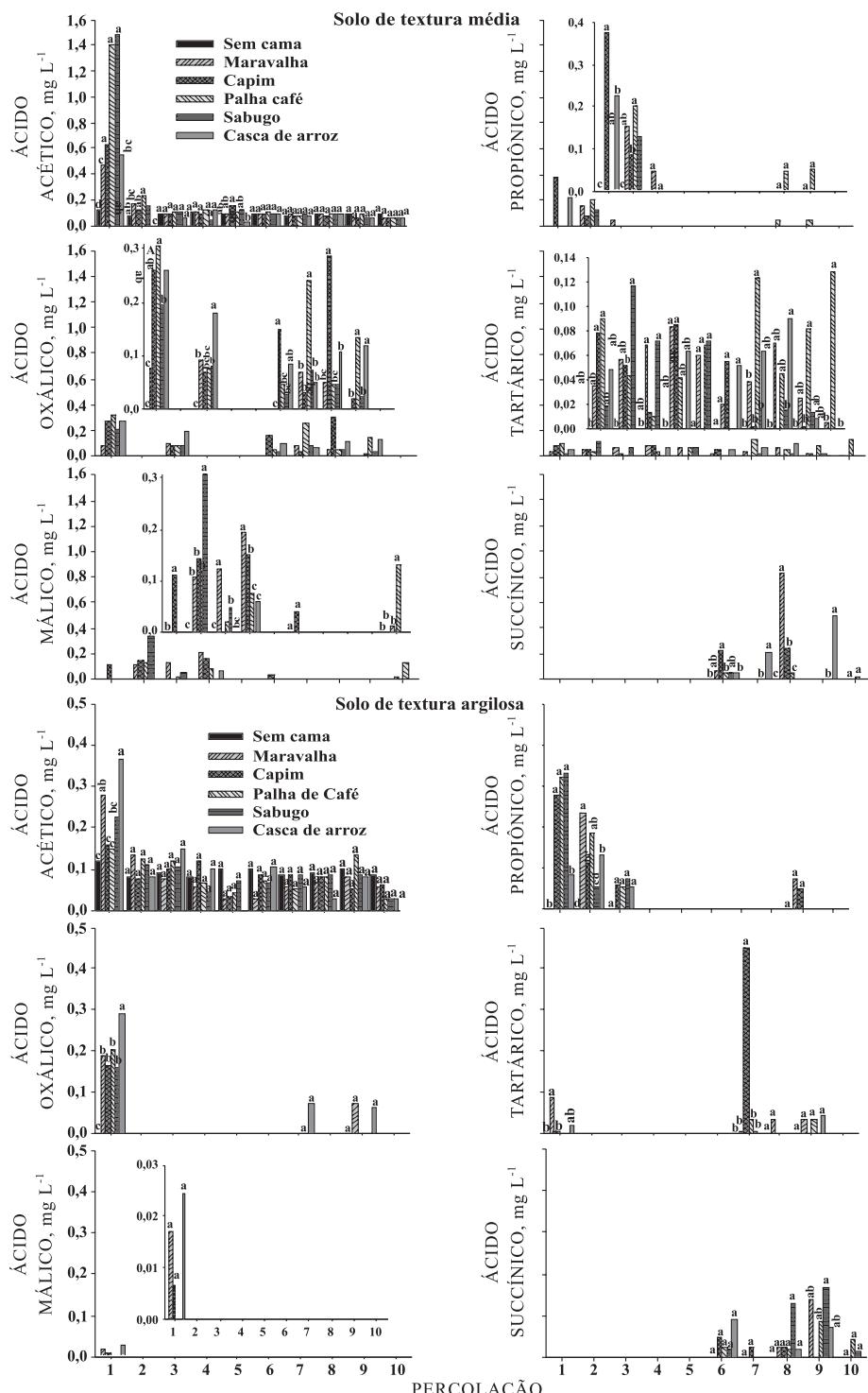


Figura 6. Concentração de ácidos orgânicos de baixa massa molecular em percolados coletados sucessivamente, ao longo do tempo, em Latossolos de textura média e argilosa, que receberam 160 t ha⁻¹, base material seco, de cinco tipos diferentes de cama de aviário, no anel superior de colunas de percolação, comparados à testemunha, sem cama de aviário. As médias das concentrações dos ácidos orgânicos seguidas pela mesma letra em uma mesma percolação, para as diferentes camas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

Quadro 4. Correlações de Pearson para as concentrações médias dos lixiviados de todas as camas de aviário, nos solos de textura argilosa e média

	Ca	Mg	Na	K	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	AA	AO	AM	AP	AT	AS
Textura média													
Ca	1,00***	0,78**	0,99***	0,98***	0,43 ^{ns}	0,44 ^o	0,86***	0,40 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,71**	0,90***	0,54 ^o	-0,35 ^{ns}
Mg		1,00***	0,99***	0,98***	0,90***	0,90***	0,98***	0,88***	0,53 ^o	0,33 ^{ns}	0,96***	0,53 ^o	-0,32 ^{ns}
Na			1,00***	0,99***	0,99***	0,97***	0,99***	0,99***	0,77**	0,07 ^{ns}	0,99**	0,49 ^o	-0,30 ^{ns}
K				1,00***	0,97***	0,94***	0,98***	0,98***	0,72*	0,10 ^{ns}	0,97***	0,47 ^o	-0,34 ^{ns}
Cl					1,00***	0,98***	0,81**	0,99***	0,75**	0,00 ^{ns}	0,76**	0,43 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
NO ₃ ⁻						1,00***	0,81**	0,97***	0,74**	-0,02 ^{ns}	0,77**	0,39 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
SO ₄ ²⁻							1,00***	0,80**	0,45 ^o	0,46 ^o	0,99***	0,55*	-0,36 ^{ns}
AA								1,00***	0,76**	-0,02 ^{ns}	0,73**	0,44 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
AO									1,00***	-0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,21 ^{ns}
AM										1,00***	0,49 ^o	0,51 ^o	-0,45 ^{ns}
AP											1,00 ***	0,55*	-0,28 ^{ns}
AT												1,00 ***	-0,22 ^{ns}
AS													1,00***
Textura argilosa													
Ca	1,00***	0,86***	0,96***	0,94***	0,99***	0,87***	-0,66*	0,86***	0,70*	0,74**	0,99***	-0,11 ^{ns}	-0,39 ^{ns}
Mg		1,00***	0,67*	0,85**	0,88***	0,50 ^o	-0,78***	0,57*	0,26 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,81**	-0,24 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
Na			1,00***	0,90***	0,95***	0,99***	-0,39 ^{ns}	0,94***	0,99***	0,99***	0,98***	0,04 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
K				1,00***	0,94***	0,88***	-0,39 ^{ns}	0,90***	0,86**	0,87***	0,94***	-0,23 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
Cl					1,00***	0,85***	-0,68*	0,85***	0,68*	0,71*	0,98***	-0,11 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
NO ₃ ⁻						1,00***	-0,36 ^{ns}	0,93***	0,96***	0,97***	0,90***	0,03 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
SO ₄ ²⁻							1,00 ***	-0,45 ^o	-0,19 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,56*	-0,11 ^{ns}	0,77**
AA								1,00***	0,90**	0,90***	0,89***	0,04 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
AO									1,00***	0,99***	0,76**	0,16 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
AM										1,00***	0,78**	0,08 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
AP											1,00***	-0,06 ^{ns}	-0,28 ^{ns}
AT												1,00***	0,00 ^{ns}
AS													1,00***

AA: ácido acético; AO: ácido oxálico; AM: ácido málico; AP: ácido propionílico; AT: ácido tartárico; AS: ácido succínico. ns, o, *, **, ***: não-significativo; significativo a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de cama de aviário aumenta a lixiviação de bases no solo, seja pela ação dos ácidos orgânicos de baixa massa molecular, seja pela presença de ânions inorgânicos acompanhantes, como Cl⁻ e NO₃⁻.

2. Os ânions Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻ no solo de textura média e Cl⁻ e NO₃⁻ no solo de textura argilosa são aqueles que mais bem se correlacionam com as lixiviações do Ca, Mg e K.

3. Os ácidos orgânicos de baixa massa molecular, particularmente o málico e oxálico, no solo argiloso, estão envolvidos com a lixiviação de bases, embora com efeitos menos expressivos que os observados para os ânions Cl⁻ e NO₃⁻.

LITERATURA CITADA

- AHMAD, T.; SARWAR, M.; NISA, M.; HAQ, A. & HASAN, Z. Influence of varying sources of dietary electrolytes on the performance of broilers reared in a high temperature environment. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 120:277-298, 2005.
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, 25:27-34, 2000.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:115-123, 2004.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:275-286, 2003.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEUI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327, 1999.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, J.F.; ALLEONI, L.R.F. & CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:87-98, 2006.

- CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:125-136, 2004.
- DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar: I. Movimentação de bases no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:195-198, 1986.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo; metodologia. 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p. (Boletim de Extensão, 29)
- DI, H.J. & CAMERON, K.C. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil Use Manag.*, 20:2-7, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:2045-2058, 2003.
- 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.; MEDA, A.D.; CASSIOLATO, M.E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. *Sci. Agric.*, 58:357-358, 2001.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2267-2276, 1999b.
- GEBRIM, F.O.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; VERGÜTZ, L.; PROCÓPIO, L.C.; NUNES, T.N. & JESUS, G.L. Mobilidade de formas inorgânicas e orgânicas de fósforo sob diferentes níveis de adubação fosfatada e cama de avião em solos de texturas distintas. *R. Bras. Ci. Solo*, 2008. (no prelo).
- GIANELLO, C. & ERNANI, P.R. Rendimento de matéria seca de milho e alterações na composição química do solo pela incorporação de quantidades crescentes de cama de frangos, em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:285-290, 1983.
- HENG, L.K.; WHITE, R.E.; HELYAR, K.R.; FISHER, R. & CHEN, D. Seasonal differences in the soil water balance under perennial and annual pastures on an acid Sodosol in southeastern Australia. *Eur. J. Soil Sci.*, 55:227-236, 2001.
- HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A. & MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *Sci. Total Environ.*, 250:143-167, 2000.
- HUE, N.V. & LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. *J. Environ. Qual.*, 28:623-632, 1999.
- HUETE, A.R. & McCOLL, J.G. Soil cation leaching by "acid rain" with varying nitrate-to-sulfate ratios. *J. Environ. Qual.*, 13:366-371, 1984.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. New Jersey, Prentice-Hall, 1958. 498p.
- JALALI, M. & ROWELL, D.L. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Exper. Agric.*, 39:379-394, 2003.
- KOCHAIN, L.V.; HOEKENGHA, O.A. & PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 55:459-493, 2004.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, Wiley-Interscience, 1979. 449p.
- MARIA, I.C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E.J. & CASTRO, O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em coluna do solo. *Sci. Agric.*, 50:87-98, 1993.
- NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J. & SMITH, K. A. Nutrient composition of poultry manures in England and Wales. *Biores. Technol.*, 58:279-284, 1996.
- NOBLE, A.D.; RANDALL, P.J. & JAMES, T.R. Evaluation of two coal derived organic products in ameliorating surface and subsurface soil acidity. *Eur. J. Soil Sci.*, 46:65-75, 1994.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.393-486.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21:144-149, 1957.
- PAVAN, M.A. Movimentação do calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *R. Bras. Frutic.*, 16:86-91, 1994.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N.; FONSECA, F.M. & SMYTH, T.J. Diffusive flux of cationic micronutrients in two Oxisols as affected by low-molecular-weight organic acids and cover-crop residue. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168:334-341, 2005.
- QAFOKU, N.P.; SUMNER, M.E. & RADCLIFFE, D.E. Anion transport in columns of variable charge subsoils: Nitrate and chloride. *J. Environ. Qual.*, 29:484-493, 2000.
- RITCHIE, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna Oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382, 1982.

- RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. & JONES, D.L. Function and metabolism of organic anion exudation from plant roots. *Ann. Rev. Plant Physiol. Molec. Biol.*, 52:527-560, 2001.
- SANZONOWICZ, C.; SMITH, T.J. & ISRAEL D.W. Calcium alleviation of hydrogen and aluminum inhibition of soybean root extension from limed soil into acid subsurface solutions. *J. Plant Nutr.*, 21:785-804, 1998.
- 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. Resposta das culturas à adição de gesso agrícola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 16., Lages, 2004. Anais. Lages, 2004. CD-ROM.
- SOUZA, C.R. Biodisponibilidade e transformações de formas de fósforo em camas de aviário por meio de fracionamento químico e ressonância magnética nuclear do ^{31}P . Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 76p. (Tese de Mestrado)
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WADT, P.G.S. & WADT, L.H.O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. *Sci. Agric.*, 56:1157-1164, 1999.
- WONG, M.T.F.; van der KRUIJS, A.C.B.M. & JUO, A.S.R. Leaching loss of calcium, magnesium and potassium by urea applied to undisturbed lysimeters in south-east Nigeria. *Nutr. Cycl. Agroecos.*, 31:281-289, 1992.