

PAÚL LAMA ISMINIO

**NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO SOB DIFERENTES USOS
AGRÍCOLAS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

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

T

L213n
2012

Lama Isminio, Paúl, 1982-

Nitrato e amônio na solução do solo sob diferentes usos agrícolas / Paúl Lama Isminio. – Viçosa, MG, 2012. x, 27f. : il. ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 25-27.

1. Solo - Uso. 2. Sistemas agrícolas. 3. Uréia. 4. Café.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

PAÚL LAMA ISMINIO

**NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO SOB DIFERENTES USOS
AGRÍCOLAS**

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

APROVADA: 15 de fevereiro de 2012.

Paulo César de Lima

Raphael Bragança Alves Fernandes
(Coorientador)

Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

À minha mãe, Silvia, ao meu pai, Demetrio;
Aos meus irmãos Perley, Percy e Angelo;
A minha cunhada Rosario;
Aos meus sobrinhos Paulo, Adriano, Fausto e Diego

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo presente da vida, pela saúde e pelas amizades que foram colocadas em meu caminho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade.

Aos Professores Eduardo de Sá Mendonça e Raphael Bragança Alves Fernandes, pelas orientações, pelo desafio proposto e pela confiança.

Aos Professores Irene Maria Cardoso, Ivo Jucksch, Victor Hugo Alvarez e Reinaldo Bertola Cantarutti, pela disposição e colaboração na realização dos trabalhos, e pelas sugestões.

Aos técnicos do Laboratório da Física de solos, Claudio e Luis pelo apoio durante as análises das amostras.

Ao Técnico do Laboratório de Fertilidade, Carlos, pela ajuda e apoio durante as análises das amostras.

Aos meus amigos Marino, Diogo, Jefferson, Adinan, pela amizade iniciada, companheirismo e apoio na realização do trabalho de pesquisa.

A Blanca L. “la tia” pelo apoio e paciência durante as coletas das amostras no campo e pelos momentos gratos durante estes momentos vividos em Viçosa.

A Joyce Bonna “morena”, pelos poucos bons momentos de qualidade compartilhados.

A Sra. Rita, dona da propriedade onde foi desenvolvido o experimento.

A meu “GRANDE” amigo, Pedro Javier Mansilla Córdova, com quem desde o ano 2007 corremos para alcançar este grande sonho desde a pequena cidade de Tingo María - Peru.

BIOGRAFIA

PAÚL LAMA ISMINIO, filho de Demetrio Lama Dominguez e Silvia Isminio Mori, natural de Tingo María - Peru. Nasceu no dia 22 de janeiro de 1982.

Em 2000 iniciou o curso de graduação em Agronomia pela Universidade Nacional Agrária de La Selva, recebendo o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2007.

Em março de 2010 iniciou o curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa - MG, concluindo em Fevereiro de 2012.

CONTEÚDO

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	6
Descrição das áreas de estudo, coleta e preparo das amostras.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
Teores de N mineral na mata em relação às áreas cultivadas (C ₂)	14
Efeito do uso do solo sobre a lixiviação de N (C ₂).....	15
Efeito do cultivo do café sob sistema agroflorestal e café a pleno sol sobre a lixiviação de N (C ₃).	20
Efeito da aplicação de diferentes doses de NPK sobre a lixiviação de N (C ₄ , C ₅ , C ₆).	21
CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS.....	25
ANEXO.....	28

LISTA DE QUADROS

1. Caracterização química do solo antes do início do experimento	8
2. Caracterização química do solo no final do experimento	9
3. Caracterização física do solo na área do experimento	10
4. Concentrações de N-total, NO_3^- , NH_4^+ no solo antes da aplicação dos fertilizantes.....	12
5. Concentrações de N-total, NO_3^- , NH_4^+ no solo depois da aplicação dos fertilizantes.....	13
6. Contrastes médios e suas significâncias para o conteúdo de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) a 0,2 e 0,6 m de profundidade para efeito de tratamentos de acordo com o fatorial 1 + (2x3).	14
7. Quantidade estimada de perda de NO_3^- (kg) com altas doses de N-uréia na região da zona da Mata nos diferentes sistemas estudados a 0,6 m de profundidade do solo no período de janeiro a maio 2011.	23
8. Valores médios do volume de solução de solo (mL) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.	29
9. Valores médios do conteúdo de NO_3^- (mg) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.....	30
10. Valores médios do conteúdo de NH_4^+ (mg) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.....	31

LISTA DE FIGURAS

1. Área, distancia e profundidade de localização das cápsulas de porcelana: A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Pleno Sol (CPS) e C, Café Sistema Agroflorestal (SAF). 11
2. Lixiviação acumulada de NO_3^- (A) e NH_4^+ (B) nos diferentes sistemas agrícolas a 0,2 e 0,6 m de profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café pleno Sol com alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M: Mata). 15
3. Precipitação, T max: temperatura máxima; T min: temperatura mínima e ETo: evapotranspiração durante a época do experimento. 16
4. Coletas e conteúdo de NO_3^- ao longo do experimento nos 0,2 e 0,6 m de profundidade. A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Sistema Agroflorestal (SAF) e C, Café Pleno Sol (CPS) com alta e baixa dose de N-uréia em relação ao sistema de referencia Mata (M) (ADN: alta dose de nitrogênio; BDN: baixa doses de nitrogênio). Em algumas coletas não houve extração de solução em alguns tratamentos, o que está indicado pela ausência de linhas de ligação entre os pontos. 17
5. Coletas e conteúdo de NH_4^+ ao longo do experimento nos 0,2 e 0,6 m de profundidade. A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Sistema Agroflorestal (SAF) e C, Café Pleno Sol (CPS) com alta e baixa dose de N-uréia em relação ao sistema de referencia Mata (M) (ADN: alta dose de nitrogênio; BDN: baixa doses de nitrogênio). Em algumas coletas não houve extração de solução em alguns tratamentos, o que está indicado pela ausência de linhas de ligação entre os pontos. 19
6. Conteúdo acumulado de NO_3^- (A) e NH_4^+ (B) nos diferentes sistemas agrícolas a 0,2 e 0,6 m de profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café Pleno Sol com alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M: Mata). 20
7. Volume total da solução do solo coletada nas profundidades de 0,2 e 0,6 m nos diferentes sistemas agrícolas profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café Pleno Sol com

alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M:
Mata). 22

RESUMO

LAMA, Paúl Isminio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Nitrato e amônio na solução de solo sob diferentes usos agrícolas.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Coorientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.

A lixiviação de nitrato pode causar poluição das águas superficiais devido à adição de fertilizantes nitrogenados, gerando também perdas econômicas ao agricultor. O presente trabalho teve como objetivo determinar a lixiviação de nitrato e amônio após adição de N-uréia em diferentes sistemas de uso do solo: Café Sistema Agroflorestal (SAF), Café Pleno Sol (CPS) e Sistema pastagem (SP), comparados com a Mata Secundária (M). O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado organizado em esquema fatorial $1 + (3 \times 2)$, sendo a Mata Secundária como referência e três sistemas agrícolas, com duas doses de N-uréia (50 e 200 kg ha^{-1}) no SP e duas doses de N-uréia (200 e 450 kg ha^{-1}) no SAF e CPS, com três repetições. O experimento foi realizado na propriedade de agricultor familiar, no município de Araponga - Zona da Mata de Minas Gerais, num solo Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa. Para a coleta da solução de solo se instalou, nas profundidades de $0,2$ e $0,6$ m, extratores de cápsulas porosas de cerâmica, as soluções de solo foram coletadas depois de cada ocorrência de chuva e levadas ao laboratório para o análises de NO_3^- e NH_4^+ . No final do experimento os conteúdos acumulados de NO_3^- , com alta doses de N-uréia, na profundidade de $0,6$ m foram: $2,18 \text{ mg}/835,67 \text{ ml}$ de solução de solo no SP; $13,28 \text{ mg}/494,67 \text{ ml}$ de solução de solo no SAF e $23,6 \text{ mg}/729,33 \text{ ml}$ de solução de solo no CPS. Não houve efeito de dose de N-uréia dentro dos sistemas. Conclui-se que a reduzida perda de NO_3^- no SP, SAF e CPS, na profundidade de $0,6$ foi associada ao maior teor de argila do solo e não pela influencia do sistema de manejo e que as aplicações de altas doses de N na cultura de café baixo as condições estudadas, não são um risco de contaminação do lençol freático pela lixiviação do NO_3^- e NH_4^+ .

ABSTRACT

LAMA, Paúl Isminio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012.
Nitrate and ammonium in soil solution under different agricultural uses.
Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Co-adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes.

Nitrate leaching can cause surface water pollution due to the addition of nitrogen fertilizer, which can also generate economic losses for the farmer. This study aimed to determine the leaching of nitrate and ammonium after the addition of N-urea in different systems of land use: Coffee Agroforestry System (SAF), Coffee Full Sunlight (CPS) and Pasture System (SP), compared with Secondary Forest (M). The experiment was conducted in a completely randomized design arranged in a factorial $1 + (3 \times 2)$. The Secondary Forest was a reference and three agricultural systems used two doses of N-urea (50 and 200 kg ha⁻¹) in SP and two doses of N-urea (200 and 450 kg ha⁻¹) in SAF and CPS, with three replications each. The experiment was conducted on the property of family farmers in the Municipality of Araponga – Zona da Mata of Minas Gerais, in a Red Yellow Latosol clay. Soil solution was collected at depths of 0.2 and 0.6 m. after each rainfall to analyze NO₃⁻ and NH₄⁺ concentrations. At the end of the experiment, the accumulated contents of NO₃⁻ with high doses of N-urea at a depth of 0.6 m were measured at 2.18 mg/835.67 mL of soil solution in the SP, 13.28 mg/494.67 mL of soil solution in SAF and 23.6 mg/729 mL of soil solution in CPS. There was no effect of N-urea rate within the system. We concluded that the reduced NO₃⁻ loss in SP, SAF and CPS at a depth of 0.6 m was associated with higher soil clay content. It was not influenced by management systems or by high doses of N in the coffee culture under the conditions studied. Therefore, there is not a risk of groundwater contamination by leaching of NO₃⁻ and NH₄⁺.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente demandado em maior quantidade pelas plantas por ser essencial para seu desenvolvimento, ao ser um constituinte de todas as proteínas, constituindo-se em um dos principais determinantes da produção vegetal. Contudo, a capacidade de suprimento de N pelos solos em curto prazo é limitada, motivo pelo qual a fertilização nitrogenada é imprescindível à produção de alimentos. Para satisfazer essa necessidade, grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados são aplicadas em sistemas de produção intensivos, aumentando o custo de produção e muitas vezes, implicando em riscos de ordem ambiental.

Normalmente, menos de 50 % do N aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas. As perdas no solo são devido aos inúmeros processos aos quais o N está sujeito, sendo que o N é perdido, principalmente, pela lixiviação de nitrato (NO_3^-), volatilização de amônia (NH_3) e emissão de N_2 , N_2O e outros óxidos de N (Anghinoni, 1986), o que aumenta os riscos de impactos ambientais, sobretudo pela lixiviação de nitrato (NO_3^-) para o lençol freático (Matson *et al.*, 1998). Esse processo representa um grande risco de poluição, devido aos efeitos adversos na saúde humana e animal pela sua presença, além de favorecer os processos de eutroficação nos corpos de águas naturais (Beer *et al.*, 2003). Grande parte do interesse em estudos com N procura elucidar seu comportamento e transformações no solo, os quais definem a disponibilidade de formas inorgânicas de N, especialmente íons de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+).

Problemas associados ao excesso de NO_3^- no ambiente levaram ao Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 1986) e o Ministério de Saúde (Brasil, 2001) à regulamentação sobre a concentração limite de NO_3^- na água para consumo humano em 10 mg L^{-1} de N- NO_3^- ou 44 mg L^{-1} de NO_3^- .

Para o N, na forma de amônio (N- NH_4^+), a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion ao complexo de cargas negativas do solo, sobretudo em solos com elevadas CTC.

Silva (2004) estudando a distribuição e mobilidade do NH_4^+ , NO_3^- , K e P em quatro Latossolos observou que a ordem de movimento e perda por lixiviação foi: $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ \gg \text{H}_2\text{PO}_4^-$. Piovesan *et al.*, (2009) determinando as perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica num solo Latossolo Bruno distrófico de textura argilosa, verificaram que as

quantidades perdidas de P, K e NH_4^+ , em relação ao aplicado, são menores comparativamente ao NO_3^- , confirmando o potencial de lixiviação do NO_3^- mesmo em solos argilosos com predomínio de caulinita e gibbsita na fração argila. Essa perda se deve ao alto valor do coeficiente de difusão do NO_3^- , que é 100.000 vezes maior do que o do H_2PO_4^- , o que determina sua alta mobilidade no solo, podendo acarretar efeito residual pequeno ou nulo ao longo dos anos do cultivo (Novais e Mello, 2007).

O NO_3^- no solo resulta diretamente do fertilizante nitrogenado aplicado ou da mineralização da matéria orgânica. Quando esse NO_3^- não é absorvido pelas plantas ou imobilizado pela microbiota do solo, pode ser facilmente lixiviado. A lixiviação de NO_3^- é um fenômeno físico, favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo (Dynia e Camargo, 1999), pela natureza das cargas do complexo de troca iônica (Pinheiro, 2002), pela velocidade de mineralização e imobilização por plantas e microrganismos (Moreira e Sequeira, 2002), à concentração do nutriente na solução do solo (Qafoku *et al.*, 2000), ao pH do solo e a solubilidade do fertilizante (Schumman, 2001), às proporções dos nutrientes no fertilizante formulado (Silva, 2004), ao regime de pluviosidade, tipo de solo, tipo e quantidade de fertilizante nitrogenado utilizado (Thompson e Troeh, 1982; Fernandes *et al.*, 2006) e das propriedades do solo que influenciam a capacidade de retenção de água, ou seja, textura, estrutura, porosidade e matéria orgânica (Arias *et al.*, 2004).

A baixa energia envolvida na adsorção do NO_3^- às cargas do complexo de troca iônica, depende principalmente da mineralogia do solo e de algumas práticas agrícolas como a calagem. A influência da mineralogia sobre o movimento do NO_3^- em solos com elevado grau de intemperismo, foi evidenciado por Qafoku *et al.* (2000), que observaram que os solos oxídicos tinham maior capacidade de adsorção que os cauliniticos. Essa adsorção foi reduzida com o aumento do pH, que provocou o incremento da concentração do NO_3^- no lixiviado, indicando que solos oxídicos apresentam menor risco de contaminação de lençóis freáticos com NO_3^- do que os cauliniticos, em razão da maior densidade de cargas positivas no intervalo de pH comumente encontrado nos solos característicos de regiões tropicais.

Já em solos de regiões temperadas, onde há predominância de cargas negativas, ocorre maior repelência do NO_3^- pela fase sólida, tornando a adsorção

difícil, resultando em maior concentração do íon na solução do solo e maior lixiviação.

Já com a calagem, Rosolem *et al.*, (2003) determinando a dinâmica do N no solo em função da calagem e adubação nitrogenada com sulfato de amônio e palha na superfície do solo na cultura do algodoeiro, concluíram que a calagem aumenta a mineralização e a nitrificação, disponibilizando N às plantas e aumentando a lixiviação de NO_3^- no perfil do solo, independentemente do modo de aplicação do corretivo, aplicação superficial ou incorporada. Mesmo a incorporação de calcário com dose zero de N produziu mais do que nas parcelas adubadas com 150 kg ha^{-1} de N. Entretanto a produção máxima de matéria seca da parte aérea foi obtida quando o calcário foi incorporado e foram aplicados $48,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, sendo tal resposta atribuída à maior mineralização da matéria orgânica, o que teria aportado maior NO_3^- para as plantas.

A aplicação da calagem acelera a nitrificação do N-uréia de forma mais intensa do que a do N-sulfato de amônio (Silva e Vale, 2000), devido ao aumento do pH favorecendo a hidrólise do N-uréia e ao aumento na população de bactérias autotróficas nitrificadoras, acarretando incremento na taxa de nitrificação (Hayatsu e Kosuge, 1993).

Bellini *et al.* (1996) avaliando a adsorção de ânions, constataram que o aumento do pH do solo obtido com a calagem resultou em diminuição da adsorção, aumentando a adsorção de cátions e, conseqüentemente, diminuindo a carga líquida, que ficou mais negativa, aumentando a lixiviação de ânions.

Essa lixiviação dos ânions (NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-}), também favorece a perda de outros nutrientes no perfil do solo como Ca, Mg e K devido à formação de par iônico. Gebrim *et al.* (2008), avaliando a lixiviação de cátions pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário concluíram que os ânions Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-} no solo de textura média e Cl^- e NO_3^- no solo de textura argilosa são aqueles que mais bem se correlacionam com as lixiviações do Ca, Mg e K.

O sistema radicular do cafeeiro raramente estende-se a mais de 0,45 m de profundidade. Isto se aplica ao café do tipo “conilon”, porém sabe-se que o cultivar “catuaí rubi” pode apresentar um sistema radicular que atinja mais de 1 m de profundidade, sendo que nos primeiros 0,5 m de profundidade é a região onde ocorre a maior parte de absorção de pelo cafeeiro (Partelli *et al.*, 2006).

Cruz *et al.* (2008), determinando a disponibilidade e mobilidade de íons em solução de solo sob cultura de cafeeiro aplicando doses de 800 kg ha⁻¹ de N, obtiveram valores de NO₃⁻ que variaram de 34,64 mg L⁻¹ para 329,81 mg L⁻¹ a uma profundidade de 0,5 m, sendo que, na profundidade de 1 m a concentração foi, em média, 150 mg L⁻¹ o qual indicaria um reduzido aproveitamento do NO₃⁻ pelas raízes das plantas devido a que a região de maior aproveitamento de nutrientes por parte das raízes é nos primeiros 0.5 m de profundidade, levando a uma perda de NO₃⁻ por lixiviação.

Os sistemas agroflorestais (SAF) são promissores no controle da lixiviação de N, visto que grande parte dos nutrientes que são lixiviados até profundidades fora do alcance das raízes das culturas, são absorvidas pelas raízes das árvores, gerando um ciclagem de nutrientes desde as camadas profundas até a superfície do solo (Beer *et al.*, 2003), recuperando assim os nutrientes que podem estar fora do alcance do sistema radicular das culturas, além de reduzir a erosão, melhora a condição ambiental, incrementando a biodiversidade e a fixação de carbono.

A imobilização de parte do N pela maior quantidade de microbiota do solo em sistemas agroflorestais, também colabora para reduzir a lixiviação do NO₃⁻ (Coelho *et al.*, 1991).

Moreno *et al.* (2007) trabalhando em casa de vegetação com bandejas de 0,2 m de diâmetro e 1,2 m de comprimento, simularam três sistemas agrícolas (pastagem, florestal e pastagem + florestal) e um sistema controle (só solo); doses baixa de 90 kg N ha⁻¹, parcelado em quatro vezes e 56,25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O no início do experimento; e doses alta 180 kg N ha⁻¹ parcelado em quatro vezes, além de 112,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O no início do experimento e lodo de esgoto com doses baixa (360 kg ha⁻¹) e doses alta (720 kg ha⁻¹), com 4,93 % de N, sendo que o lodo foi aplicado nos 0,1 m de profundidade e assumindo uma taxa anual de mineralização do 25 % para o primeiro ano, além de ter um pH de 7,4 e 36,9 % de matéria seca. Encontrou-se grandes diferenças na quantidade de NO₃⁻ lixiviado com os aportes dos diferentes tipos e doses de fertilizantes. A lixiviação foi maior (até 65 % superior) na presença do lodo de esgoto quando comparado a fertilizante mineral. Para as diferentes doses do fertilizante mineral não se verificaram diferenças, mas sim entre as duas doses de lodo de esgoto aplicadas. Os resultados indicaram que a presença das árvores é efetiva no controle da perda de NO₃⁻ por lixiviação com qualquer tipo e doses de fertilização, exceto no caso das maiores doses de lodo.

A adubação nitrogenada das pastagens é um dos fatores mais importantes na determinação do nível de produtividade de forragem. A lixiviação de NO_3^- em pastagem de coastcross foi estudada por Primavesi *et al.*, (2006) aplicando doses de N que variaram de 250 a 1000 kg ha^{-1} . Os autores encontraram teores de N-NO_3^- abaixo de 0,6 m de profundidade inferiores a 8 mg kg^{-1} e concluíram que os riscos de contaminação do lençol freático são pequenos em pastos de gramíneas tropicais se as adubações, mesmo altas, não excederem a capacidade de ciclagem das forrageiras. Em pastagem, geralmente considera-se que mais de 80 % do sistema radicular de *Cynodon dactylon cv. Coastcross*, encontra-se na camada de 0 a 0,4 m, e que somente o N abaixo de 0,8 m poderia ser considerado sujeito à lixiviação, embora se tenha verificado atividade radicular de gramíneas forrageiras até 3 m de profundidade. Os teores relativamente baixos de NO_3^- lixiviados no solo sob gramíneas tropicais devem-se a alta capacidade de absorção de N pelas gramíneas (Primavesi *et al.*, 2001).

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a lixiviação de nitrato e amônio em resposta à adição de doses de adubos químicos em diferentes sistemas de uso do solo: cultivo de café em sistema agroflorestal e pleno solo; área com pastagem e a mata como sistema de referencia.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas de estudo, coleta e preparo das amostras

O experimento foi realizado no período de janeiro a maio de 2011, em propriedade de agricultor familiar, no município de Araponga, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais. A temperatura média da região é de 18 °C, a precipitação anual varia de 1.200 a 1.800 mm, com período seco de dois a quatro meses entre junho e setembro. O relevo regional é montanhoso, com declividade variando de 20 a 45 % nas encostas e altitudes de 900 a 1.800 m. O solo da propriedade foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa. Na propriedade foi avaliada a lixiviação do NO_3^- e NH_4^+ sob três sistemas de uso do solo: Café Pleno Sol (CPS), Café Sistema Agroflorestal (SAF), Sistema Pastagem (SP) e Mata secundária (M), sendo esta última utilizada como referência.

A área do CPS (1,9 ha) está instalada em terreno com declividade entre 15 e 20 %, localizada nas coordenadas 20° 38' 1'' Sul e 42° 30' 55,49'' Oeste, e altitude de 948 m. O café foi plantado em 1985 e recepeado em 2003, sendo a área anteriormente ocupada por pastagem. A adubação do cafezal é realizada com a aplicação de 100 g/planta de NPK (20-5-20) entre os meses de outubro a fevereiro. A calagem, aplicada na saia do café, é feita a cada dois anos com aplicação de 2500 kg ha^{-1} , na época da colheita, entre julho e agosto, obtendo-se produções em torno de 11 sc ha^{-1} .

A área do SAF (1,5 ha) está instalada em área adjacente ao CPS com declividade entre 15 e 20 %, localizada nas coordenadas de 20° 38' 0,45'' Sul e 42° 30' 58,46'' Oeste, e altitude de 936 m. O café foi plantado em 1991, associado com cultivo de milho, sendo a área anteriormente ocupada por pastagem. A adubação do cafezal é realizada com a aplicação de 100 g/planta de NPK (20-5-20) entre os meses de outubro a fevereiro. A calagem, aplicada na saia do café é feita cada dois anos com aplicação de 2500 kg ha^{-1} , obtendo-se produções em torno de 5 sc ha^{-1} . O plantio das árvores começou em 1997, sendo inicialmente cultivado uma espécie herbácea como banana (*musa sp*), e depois com espécies arbóreas como chá-de-bugre (*Cordia alliodora* Cham.), mamão (*Carica papaya*), abacate (*Persea americana*), fedegoso (*Senna occidentalis* L.), Garapa (*Apuleia leiocarpa*) e arbustos de mandioca (*manihot esculenta*).

A área de SP (0,8 ha) está instalada em terreno com declividade entre 10 e 15 %, localizada nas coordenadas de 20° 38' 4,76'' Sul e 42° 31' 1,14'' Oeste, e altitude de 930 m. A forrageira predominante é a braquiária (*Brachiaria decumbens cv*), que foi implantada em 1995, onde anteriormente se cultivou café associado com milho, que foram instalados no ano 1986. Não se faz adubação nem calagem regularmente nesta área.

A mata secundaria (1,73) está inserida em um terreno de declividade entre 10 e 15 %, localizada nas coordenadas 20° 38' 1,23'' Sul e 42° 30' 58,36'' Oeste, e altitude de 937 m. A mata foi formada a partir do ano de 1991, depois de anos de cultivo do café. A área foi formada visando manter a água que passa pelo terreno e que é usada para consumo da família.

Foram coletadas amostras de solo separadamente em cada uma das parcelas, no inicio e no final do experimento (antes e depois da aplicação dos fertilizantes), nas profundidades de 0 - 0,2 e de 0,4 - 0,6 m. Nas amostras coletadas no inicio foi efetuada a caracterização química (Quadro 1) e, nas amostras coletadas no final, foram feitas as caracterizações química (Quadro 2) e física (Quadro 3).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado organizado em esquema fatorial 1 + (3x2), sendo a mata como referência, três sistemas agrícolas e duas doses de fertilizantes, com três repetições.

Quadro 1. Caracterização química do solo antes do início do experimento¹

Profundidade	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC	m	MO
Sistema Pastagem										
m		....mg dm ⁻³....		.....cmol _c dm ⁻³.....					..%..	dag kg ⁻¹
Altas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	5,52	1,4	62,67	3,04	0,79	0,13	4,27	4,127	3,7	2,74
0,6	5,17	0,93	11,67	2,33	0,6	0,2	4,50	3,16	6,23	1,83
Baixas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	5,39	1,33	21	2,75	0,75	0,13	4,53	3,68	3,77	2,44
0,6	5,21	1,23	10,33	2,37	0,5	0,26	4,73	3,15	9,27	1,79
Café Sistema Agroflorestal										
Altas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	6,07	5,83	126	4,56	1,49	0	3,87	6,377	0	2,91
0,6	5,18	1,73	92	2,25	0,73	0,13	4,33	3,347	4,13	1,96
Baixas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	6,2	7,87	96,67	5,69	1,85	0	3,6	7,79	0	4,04
0,6	5,3	1,73	77	2,63	0,71	0,06	4,1	3,607	1,97	1,92
Café Pleno Sol										
Altas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	5,9	10,27	91,67	5,34	1,56	0	4,40	7,133	0	3,8
0,6	4,99	2,37	29	2,7	0,57	0,1	5,03	3,447	3,2	2,05
Baixas doses de NPK a ser aplicado										
0,2	6,12	4,83	91	6,08	1,95	0	3,67	8,263	0	4,24
0,6	5,47	1,27	41,33	2,81	0,56	0,26	4,00	3,743	10,93	1,75
Mata										
0,2	5,21	2,17	79,33	2,33	0,93	0,49	7,33	3,953	16,87	3,12
0,6	4,83	1,63	27,33	0,42	0,27	1,2	7,60	1,963	61,97	2,24

^{1/} pH em água. 1:2,5; P e K: Extrator Mehlich I; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7; MO: Método Walkley-Black; M.O. = C.O. x 1,724.

Quadro 2. Caracterização química do solo no final do experimento¹

Profundidade	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC	m	MO
Sistema Pastagem										
m		....mg dm ⁻³....		.....cmolc dm ⁻³.....					..%..	dag kg ⁻¹
Altas doses de NPK										
0,2	5,63	2,57	50,67	3,05	0,68	0,03	4,53	3,897	0,93	2,52
0,6	5,68	0,3	9	2,76	0,58	0,1	4,50	3,463	3,23	1,91
Baixas doses de NPK										
0,2	5,66	0,93	54,67	2,73	0,61	0,06	4,83	3,54	2,17	2,77
0,6	5,42	0,23	15,67	2,23	0,47	0,3	5,27	3,04	11,57	1,95
Café Sistema Agroflorestal										
Altas doses de NPK										
0,2	5,13	16,53	245	3,92	0,92	0,06	7,20	5,537	1,23	3,72
0,6	5,05	1,73	86	2,46	0,64	0,06	4,47	3,383	2	1,92
Baixas doses de NPK										
0,2	5,63	16,5	176	4,01	1,23	0	5,77	5,69	0	3,66
0,6	5,55	0,93	98,33	2,61	0,66	0	4,00	3,527	0	1,91
Café Pleno Sol										
Altas doses de NPK										
0,2	4,85	9,87	500,67	4,96	1,05	0,23	8,83	7,523	2,57	4,99
0,6	4,72	1,73	114	2,16	0,48	2,43	5,57	3,567	17,47	2,04
Baixas doses de NPK										
0,2	5,5	6,37	328	4,3	1,08	0,03	5,83	6,247	0,5	4,27
0,6	5,03	1,13	112	2,18	0,43	0,17	4,43	3,06	7,33	1,91
Mata										
0,2	5,16	1,03	117	1,93	0,67	0,4	7,27	3,297	13,43	3,56
0,6	4,92	0,5	49,67	0,64	0,23	1,13	7,27	2,123	52,6	2,44

^{1/} pH em água. 1:2,5; P e K: Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7; MO: Método Walkley-Black; M.O. = C.O. x 1,724.

Quadro 3. Caracterização física do solo na área do experimento¹

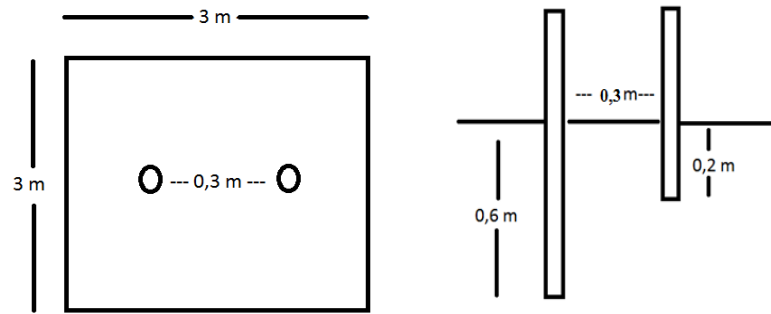
Profundidade	Areia	Silte	Argila	Microporo	Macroporo	Ds	Dp	ko
Sistema pastagem								
m	.....g kg ¹.....			.....m ³ m ⁻³.....		.....kg dm ⁻³		cm h ⁻¹
0,2	415,00	146,67	438,33	0,43	0,03	1,49	2,74	2,12
0,6	276,67	108,33	615,00	0,47	0,08	1,25	2,76	2,29
Café Sistema Agroflorestal								
0,2	498,33	130,00	371,67	0,36	0,14	1,31	2,62	6,92
0,6	325,00	118,33	556,67	0,38	0,15	1,25	2,66	3,59
Café Pleno Sol								
0,2	490,00	120,00	390,00	0,44	0,05	1,31	2,61	4,50
0,6	323,33	96,67	580,00	0,41	0,14	1,21	2,66	0,81
Mata								
0,2	446,67	130,00	423,33	0,48	0,04	1,29	2,71	6,85
0,6	376,67	123,33	500,00	0,46	0,17	1,01	2,79	5,51

^{1/} Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partícula; ko: Condutividade hidráulica.

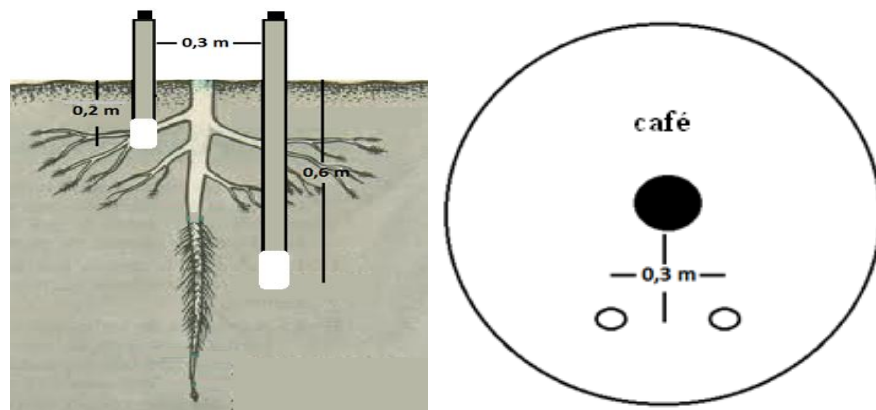
Para a coleta da solução do solo se instalaram extratores de cápsulas porosas, com a ajuda de um trado tipo rosca, inserindo posteriormente os extratores a profundidades de 0,2 e 0,6 m nos tratamentos SP, SAF, CPS e M, separados a 0,3 m um do outro, sendo que, no SP os extratores foram instaladas no centro de uma área de 9 m² e no SAF e CPS, se instalaram a 0,3 m do pé do café. Além disso, dentro do SAF, os extratores de cápsula porosa de cerâmica foram instalados, em alguns casos, a uns 0,3 m da planta do café com a planta da banana e algumas árvores próprias do sistema (Figura 1). O espaço entre o solo e o extrator foi preenchido com solo umedecido e compactado para proporcionar melhor contato entre o solo e a parede do extrator. Para facilitar a entrada da solução do solo pelas cápsulas porosas foram feitas freqüentemente a aplicação de vácuo (50 cm Hg⁻¹) com bomba manual. As áreas de café e pastagem receberam adição de fertilizante (NPK) segundo as recomendações de Ribeiro *et al.*, (1999) com doses pertencentes a baixo e alto nível tecnológico com base, respectivamente, na baixa e alta produtividade esperada. Para a pastagem foram traçadas seis pequenas áreas de 9 m² cada, onde em três delas foram aplicadas as doses baixas (50-30-40 kg ha⁻¹) e nas outras três, as doses altas (200-50-200 kg ha⁻¹).

Para o café, tanto no SAF e CPS, foram selecionadas seis plantas, sendo que três delas foram aplicadas doses baixas (200-30-200 kg ha⁻¹) e nas outras três, as doses altas (450-80-450 kg ha⁻¹) numa área de um m², na saia da planta.

A



B



C

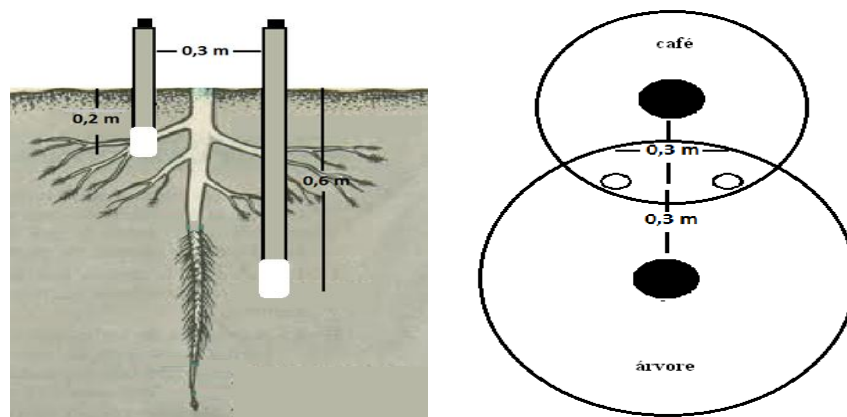


Figura 1. Área, distancia e profundidade de localização das cápsulas de porcelana: A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Pleno Sol (CPS) e C, Café Sistema Agroflorestal (SAF).

A aplicação dos fertilizantes foi parcelada em duas vezes, sendo a primeira no dia 18 de fevereiro e a segunda a 30 dias após da primeira adubação.

A extração da solução de solo foi feita dependendo da ocorrência de chuvas a partir da incorporação dos fertilizantes. Assim, após cada evento, as amostras foram coletadas e congeladas para posterior análise no Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foram efetuadas as determinações de amônio e nitrato com a ajuda do espectrofotômetro UV/VISIVEL (Mendonça e Matos, 2005).

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA, seguida da avaliação de seis contrastes ortogonais: C₁: M vs SP + SAF + CPS; C₂: SP vs SAF + CPS; C₃: SAF vs CPS; C₄: Ad d/ SP, C₅: Ad d/ SAF e C₆: Ad d/ CPS, onde M: Mata; SP: Sistema Pastagem; SAF: Café Sistema Agroflorestal; CPS: Café Pleno Sol; Ad d/SP: diferentes doses dentro do Sistema Pastagem; Ad d/ SAF: diferentes doses dentro do Café Sistema Agroflorestal e Ad d/ CPS: diferentes doses dentro do Café Pleno Sol.

Assim também das amostras de solos coletadas, foram feitas análises de N-total, NO₃⁻ e NH₄⁺, no início (Quadro 4) e no final (Quadro 5) do experimento, antes e depois da aplicação dos fertilizantes (Mendonça e Matos, 2005).

Quadro 4. Concentrações de N-total, NO₃⁻, NH₄⁺ no solo antes da aplicação dos fertilizantes.

Profundidade m	Sistema Pastagem					
	Alta doses			Baixa doses		
	N-total g kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹	NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹	N-total g kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹	NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹
0,2	1,1	0,17	0,09	0,97	0,88	1,92
0,6	0,8	1,19	0	0,7	0,92	3,54
Café Sistema Agroflorestal						
0,2	1,67	0,83	0,25	1,8	0,38	3,08
0,6	1,17	0,34	0	1,03	0,06	0,01
Café Pleno Sol						
0,2	1,8	1,13	0	1,73	1,39	6,45
0,6	0,87	1,77	1,67	0,83	1,24	4,72
Mata (não foi aplicado fertilizantes)						
0,2	1,1	1,45	4,1	--	--	--
0,6	1,07	1,11	4,69	--	--	--

Quadro 5. Concentrações de N-total, NO_3^- , NH_4^+ no solo depois da aplicação dos fertilizantes.

Profundidade m	Sistema Pastagem					
	Alta doses			Baixa doses		
	N-total g kg^{-1}	NO_3^- mg kg^{-1}	NH_4^+ mg kg^{-1}	N-total g kg^{-1}	NO_3^- mg kg^{-1}	NH_4^+ mg kg^{-1}
0,2	1,53	0,61	7,8	0,93	1,08	4,25
0,6	0,9	0,94	7,54	0,53	3,66	5,89
Café Sistema Agroflorestal						
0,2	2,1	6,41	10,5	2,13	4,64	12,55
0,6	1,07	3,66	10,17	1,3	2,13	10,44
Café Pleno Sol						
0,2	2,13	1,81	0,16	1,9	2,66	3,04
0,6	0,87	0,95	0,11	1,1	0,29	3,25
Mata (não foi aplicado fertilizantes)						
0,2	1,63	0,33	0,03	--	--	--
0,6	1,23	0,67	0,32	--	--	--

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de N mineral na mata em relação às áreas cultivadas (C₂)

Quadro 6. Contrastes médios e suas significâncias para o conteúdo de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) a 0,2 e 0,6 m de profundidade para efeito de tratamentos de acordo com o fatorial 1 + (2x3).

Contrastes	Contrastes Médios			
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
	.....0,2 m.....		.....0,6 m.....	
C ₁ : M vs SP + SAF + CPS	19,25*	0,95	12,46°	0,18
C ₂ : SP vs SAF + CPS	30,61*	0,91	17,68*	-0,08
C ₃ : SAF vs CPS	20,31*	0,58	7,04	0,04
C ₄ : Ad d/ SP	-0,04	-0,14	-0,96	-0,16 [#]
C ₅ : Ad d/ SAF	-2,43	0,9	2,1	-0,02
C ₆ : Ad d/ CPS	-0,63	-1,17 [#]	-1,18	-0,001
CV (%)	78,99	212,66	99,43	151

^{#, °, *} Significância a 20, 10 e 5 % de probabilidade.

De acordo com os contrastes médios (Quadro 6), se encontrou diferença significativa para todas as variáveis. A remoção da mata e implantação das áreas cultivadas em diferentes sistemas, promoveu incremento de NO₃⁻ e NH₄⁺ nas profundidades do solo ocorrendo maior efeito do SP, SAF e CPS no conteúdo de N-NO₃⁻ (19,25 mg) (P<0,05) na profundidade de 0,2 m diminuindo (12,46 mg) (P<0,1) na profundidade de 0,6 m.

Os maiores conteúdos de NO₃⁻ encontrados nos diferentes sistemas agrícolas foram devido a adição do N-uréia, segundo as recomendações de Ribeiro *et al.*, (1999), com doses pertencentes ao baixo e alto nível tecnológico com base na alta e baixa produtividade esperada do SP (50 e 200 kg ha⁻¹), SAF e CPS (200 e 450 kg ha⁻¹). Pode ter ocorrido também efeito do N residual decorrente das adubações anteriores de N-uréia no SAF e CPS, onde se obtiveram os maiores conteúdos de NO₃⁻ acumulado (Figura 2).

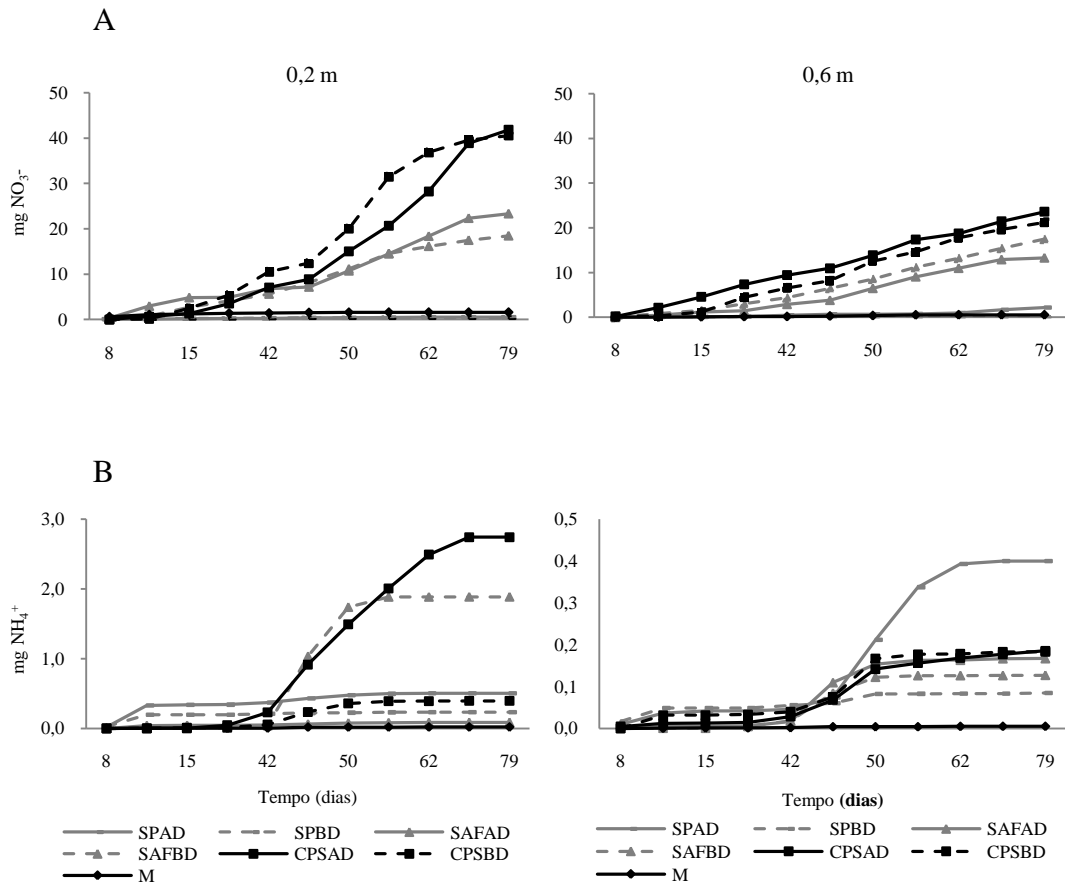


Figura 2. Lixiviação acumulada de NO_3^- (A) e NH_4^+ (B) nos diferentes sistemas agrícolas a 0,2 e 0,6 m de profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café pleno Sol com alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M: Mata).

Efeito do uso do solo sobre a lixiviação de N (C_2)

Houve um efeito superior (30,61 mg) ($P < 0,05$) na lixiviação de NO_3^- no SAF e CPS sobre o SP, na profundidade de 0,2 m o qual diminuiu (17,68 mg) ($P < 0,05$) na profundidade de 0,6 m (Quadro 6).

O baixo conteúdo de NO_3^- lixiviado no SP em comparação ao SAF e CPS é decorrente das doses de N-uréia adicionadas, já que para o SP foram adicionados entre 50 e 200 kg ha^{-1} (doses baixa e alta) de N-uréia, enquanto no SAF e CPS foram adicionados 200 e 450 kg ha^{-1} (doses baixa e alta) de N-uréia. Os conteúdos de NO_3^- encontrados nas diferentes coletas, no SP, variaram de acordo com as precipitações da época (Figura 3), volume da água percolada (Quadro 8) e as doses de N-uréia

adicionadas; os maiores conteúdos de NO_3^- encontrados na profundidade de 0,2 m foram aos 12 dias (0,16 mg NO_3^- /50 ml de solução de solo) e 47 dias (0,11 mg NO_3^- /48 ml de solução do solo) após do início do experimento, com baixa e alta doses de N-uréia respectivamente. Já na profundidade de 0,6 m o maior conteúdo de NO_3^- lixiviado foi determinado aos 42 dias (0,09 mg NO_3^- /94 ml de solução de solo) e 70 dias (0,73 mg NO_3^- /71,33 ml de solução de solo) com baixas e altas doses de N-uréia (Quadro 8 e 9). Em alguns casos o conteúdo lixiviado foi zero e em outros não se conseguiu a extração da solução do solo (Figura 4A).

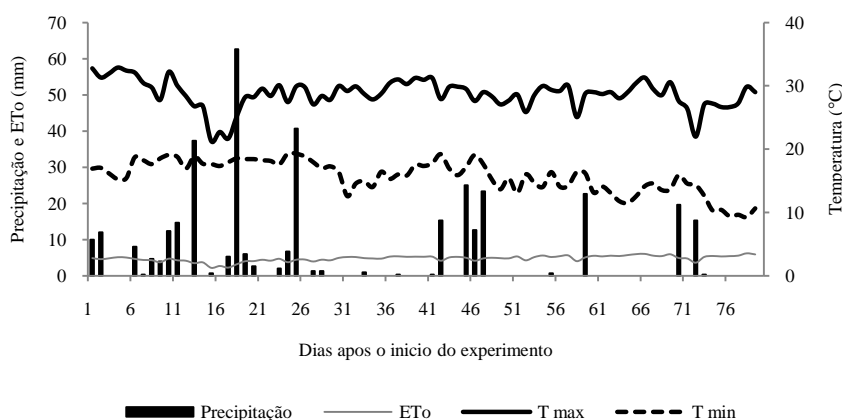


Figura 3. Precipitação, T max: temperatura máxima; T min: temperatura mínima e ETo: evapotranspiração durante a época do experimento.

Os baixos conteúdos de NO_3^- encontrados nas diferentes coletas podem ser decorrentes da alta capacidade de extração do N do solo que as gramíneas têm, mais de 80 % do seu sistema radicular atua nas camadas superficiais do solo (0,2 a 0,4 m) (Primavesi, *et. al*, 2001).

Por outro lado, a menor quantidade de NO_3^- lixiviado no SP estaria relacionada com a perda de N por volatilização de amônia (NH_3), o qual pode ser confirmado devido aos baixos conteúdos de NO_3^- e NH_4^+ encontrados nas diferentes épocas de coleta (Figura 4A e 5A), sendo que os maiores conteúdos de NH_4^+ na profundidade de 0,2 m foram obtidos aos 12 dias após do início do experimento com 0,31 mg NH_4^+ /54 mL de solução de solo com alta doses e 0,17 mg NH_4^+ /50,33 mL de solução do solo com baixa doses (Quadro 8 e 10). Na profundidade de 0,6 m, com baixa doses, o maior conteúdo foi encontrado aos 12 dias (0,032mg NH_4^+ /103,67 mL de solução de solo) e com alta doses foram aos 50 dias(0,14 mg NH_4^+ /70,67 mL de solução de solo), com alta doses de N-uréia adicionada (Figura 5A, Quadro 8 e 10).

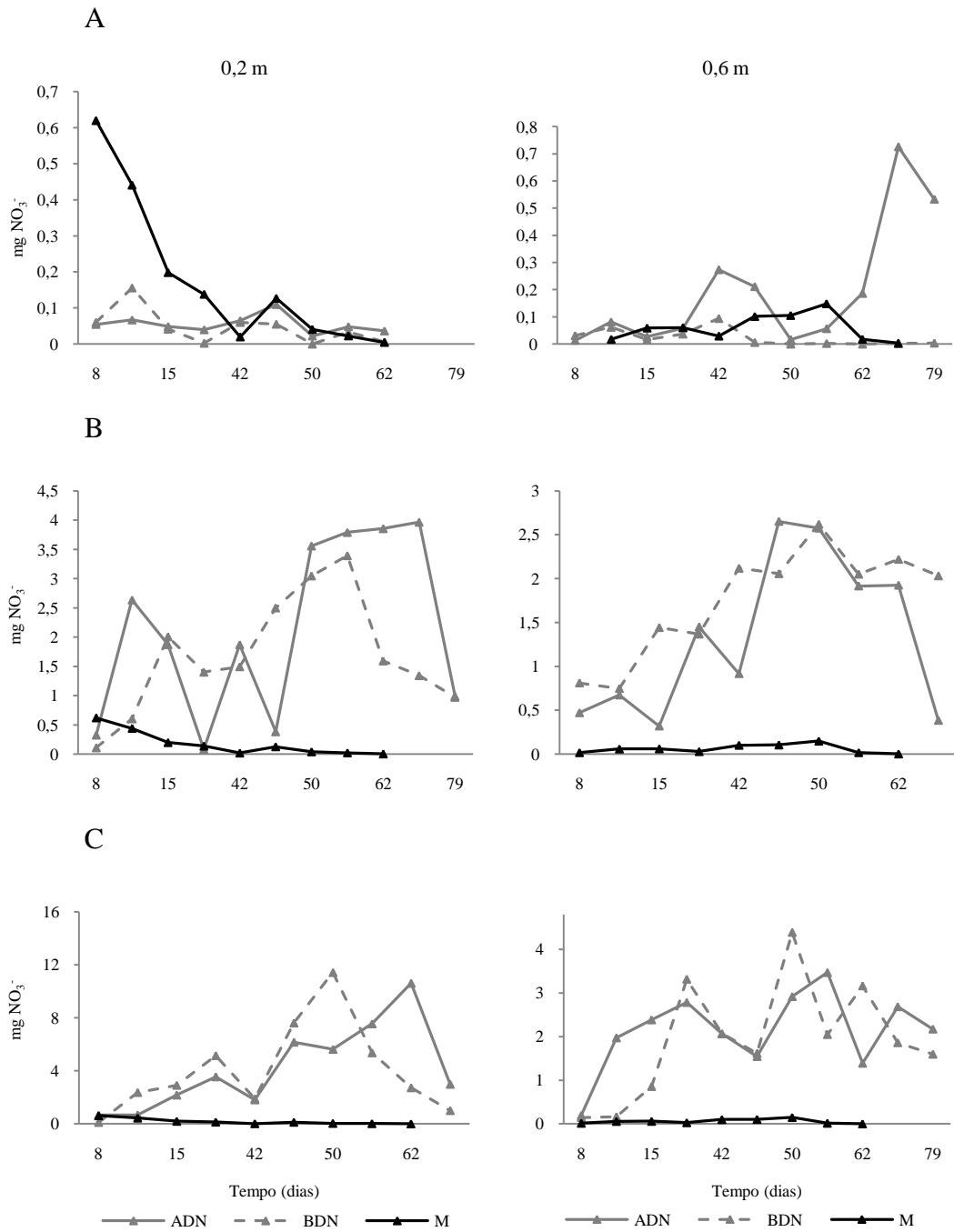


Figura 4. Coletas e conteúdo de NO₃⁻ ao longo do experimento nos 0,2 e 0,6 m de profundidade. A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Sistema Agroflorestal (SAF) e C, Café Pleno Sol (CPS) com alta e baixa dose de N-uréia em relação ao sistema de referencia Mata (M) (ADN: alta dose de nitrogênio; BDN: baixa doses de nitrogênio). Em algumas coletas não houve extração de solução em alguns tratamentos, o que está indicado pela ausência de linhas de ligação entre os pontos.

A perda de N por volatilização de NH_3 é decorrente da presença de amônio em solos com elevado pH, que é gerado ao se aplicar N-uréia ao solo, devido à hidrólise da uréia que eleva o pH ao redor dos grânulos (Ernani *et al.*, 2001), ocasionando perdas por volatilização, principalmente quando se aplica sobre a superfície, sem incorporação, e as condições térmicas e hídricas são favoráveis.

Já ao se comparar os conteúdos acumulados de NO_3^- no final do experimento (Figura 2A e 6A), ao final da época de chuva, obteve-se, na profundidade de 0,2 m valores de 0,49 mg NO_3^- /0,401 L de solução de solo e 0,41 mg NO_3^- /0,388 L de solução de solo, com doses altas e baixas respectivamente, e na profundidade de 0,6 m foram de 2,18 mg NO_3^- /0,838 L de solução de solo e 0,25 mg NO_3^- /0,945 L de solução de solo, com doses alta e baixa respectivamente. Valores baixos ao se comparar com os de SAF e CPS, que para o caso do SAF se obtiveram, com doses altas, na profundidade de 0,6 m 13,28 mg NO_3^- /0,495 L de solução de solo e no caso do CPS foi de 23,6 mg NO_3^- /0,729 L de solução de solo.

Os resultados obtidos confirmam que, ainda com elevadas doses de N para obter a maior produtividade no SP, a lixiviação de NO_3^- não se torna importante no caso dos Latossolos. A aplicação de N-uréia no SP não gerou efeito negativo no ambiente decorrente da lixiviação do NO_3^- , mesmo com maior volume acumulado de solução coletada (Figura 7).

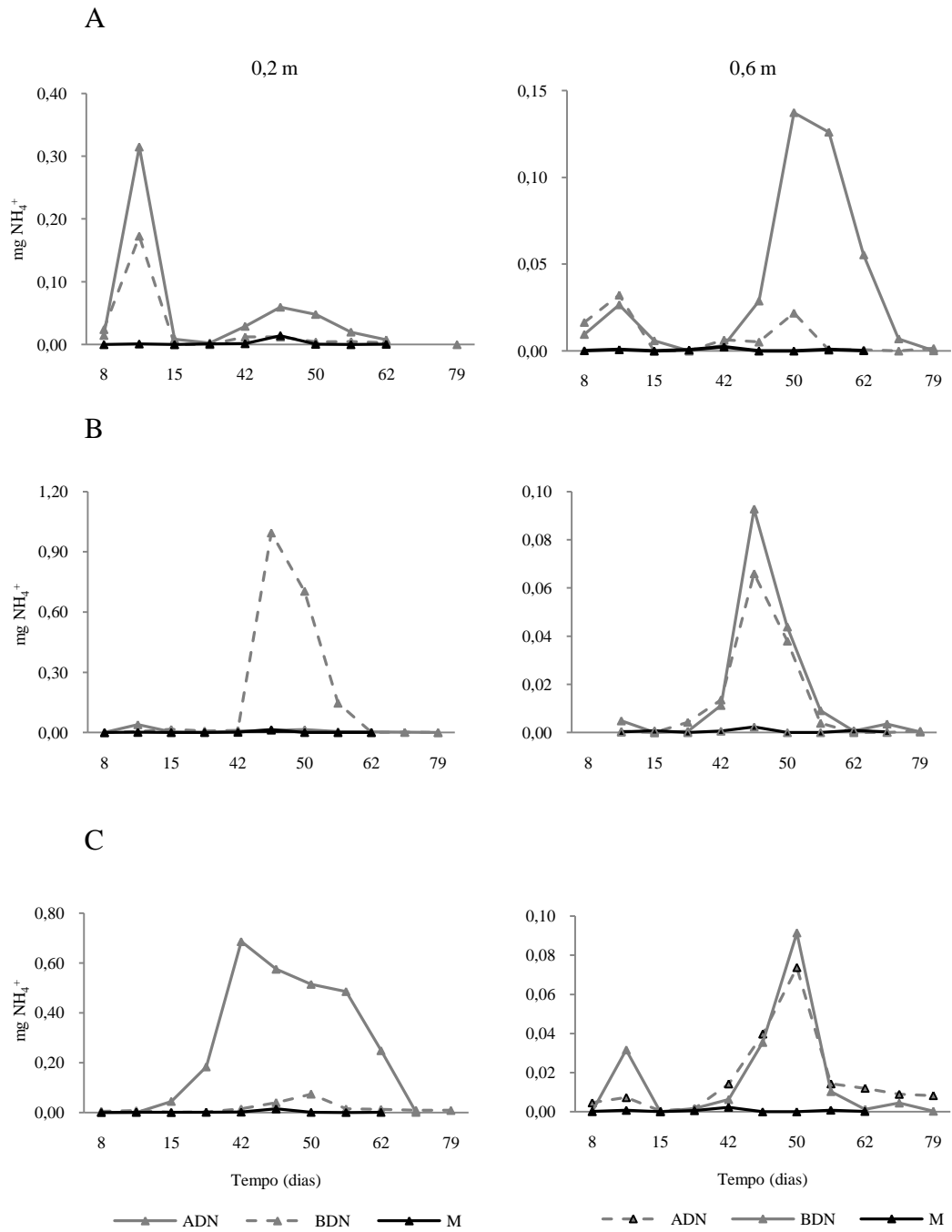


Figura 5. Coletas e conteúdo de NH₄⁺ ao longo do experimento nos 0,2 e 0,6 m de profundidade. A, Sistema Pastagem (SP); B, Café Sistema Agroflorestal (SAF) e C, Café Pleno Sol (CPS) com alta e baixa dose de N-uréia em relação ao sistema de referencia Mata (M) (ADN: alta dose de nitrogênio; BDN: baixa doses de nitrogênio). Em algumas coletas não houve extração de solução em alguns tratamentos, o que está indicado pela ausência de linhas de ligação entre os pontos.

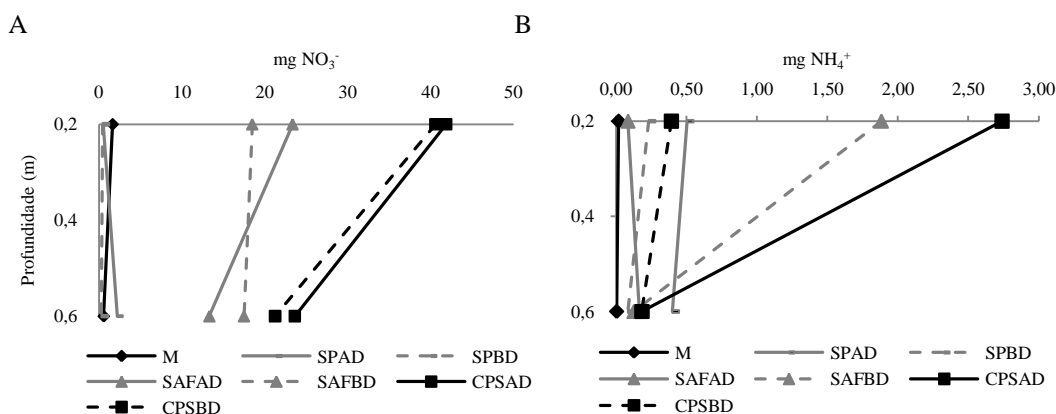


Figura 6. Conteúdo acumulado de NO_3^- (A) e NH_4^+ (B) nos diferentes sistemas agrícolas a 0,2 e 0,6 m de profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café Pleno Sol com alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M: Mata).

Efeito do cultivo do café sob sistema agroflorestal e café a pleno sol sobre a lixiviação de N (C_3).

O CPS promoveu incremento de NO_3^- no perfil do solo, obtendo-se um efeito superior (20,31 mg) ($P < 0,05$) só na profundidade de 0,2 m, com respeito ao SAF. Já na profundidade de 0,6 m o conteúdo de NO_3^- diminuiu não se obtendo diferenças estatísticas significativas, mas sim um efeito superior (7,07 mg) (Quadro 6).

O menor conteúdo acumulado no SAF pode estar relacionado, a que, além das raízes do café, ao maior número de raízes dentro do sistema, devido às outras culturas e árvores, podem estar absorvendo mais NO_3^- e água do solo, assim como também à quantidade de resíduos orgânicos com alta relação C/N e um solo com intensa atividade microbiana que poderia ter estimulado a imobilização do N. Pode ter também ocorrido conversão de N amoniacal a formas orgânicas, favorecendo maior efeito na redução da lixiviação do NO_3^- nas camadas superficiais do solo.

Já dentro do SAF, os maiores conteúdos de NO_3^- lixiviado, nos 0,2 m de profundidade, com alta doses de N-uréia, foram aos 50, 56, 62 e 70 dias após o início do experimento (Figura 4B) onde se obtiveram valores de 3,56; 3,79; 29,67 e 32,67 mg de NO_3^- em 46,67; 39,67; 29,67 e 32,67 mL de solução de solos respectivamente (Quadro 8 e 9). Já para o caso do CPS os maiores valores foram obtidos também aos 50, 56, 62 e 70 dias após o início do experimento (Figura 4C) com valores de 6,17;

5,63; 7,56 e 10,62 mg de NO_3^- em 47; 45,67; 40,67 e 40,33 mL de solução de solo. (Quadro 8 e 9).

Esse aumento do conteúdo de NO_3^- , a partir dos 50 dias após o início do experimento no SAF (Figura 4B) e CPS (Figura 4C), ocorreu após a segunda adição de N-uréia (30 dias após da primeira) e após a aplicação da calagem (2500 kg ha^{-1}) aos 35 dias após o início do experimento. Esse resultado pode estar relacionado ao aumento da nitrificação do N-uréia de forma mais intensa pelo efeito da calagem (Silva e Vale, 2000), aumentando o pH em consequência da hidrólise do N-uréia e ao aumento na população de bactérias autotróficas nitrificadoras, acarretando incremento na taxa de nitrificação (Hayatsu e Kosuge, 1993), incrementando a CTC do solo (Quadro 2), retendo menos NO_3^- na camada superficial do solo e aumentando a sua lixiviação. Esse aumento da nitrificação poderia ter sido a causa do baixo conteúdo de NH_4^+ encontrado nas diferentes coletas no SAF e CPS nas profundidades de 0,2 e 0,6 m (Figuras 5B e 5C), assim como o baixo conteúdo acumulado (Figura 2B), como também, possivelmente devido a perdas por volatilização de NH_3 que segundo Fenilli (2006) em cafeeiro pode chegar entre 21 a 29 %.

Na profundidade de 0,6 m o conteúdo acumulado de NO_3^- no SAF e no CPS diminuíram não se obtendo diferenças estatísticas significativas, mas sim um efeito superior do CPS sobre o SAF em 7,04 mg. Essa redução no conteúdo acumulado de NO_3^- deve-se, possivelmente, ao pH ácido do solo, aos valores médios de CTC (Quadro 2) assim como a quantidade de argila (Quadro 3) nessa profundidade, aumentando a capacidade de adsorção do NO_3^- devido as cargas positivas no Latossolo, que poderia apresentar considerável capacidade de retenção de nitrato (Davis *et al.*, 2000).

Efeito da aplicação de diferentes doses de NPK sobre a lixiviação de N (C₄, C₅, C₆).

A duas doses de N-uréia não proporcionaram diferenças estatísticas no conteúdo de NO_3^- lixiviado, dentro de cada sistema estudado, nas profundidades de 0,2 e 0,6 m.

Esse resultado pode estar relacionado às perdas por volatilização de NH_3 , sobretudo no SP, a imobilização pelos microrganismos e/ou absorvidas pelas plantas,

na profundidade de 0,2 m no caso do SAF e CPS. Na profundidade de 0,6 m a diminuição do conteúdo de NO_3^- lixiviado foi devido principalmente ao tipo de solo (Latosolo) onde os sistemas foram instalados, fazendo com que a lixiviação seja reduzida devido a cargas elétricas variáveis que possuem potencial para retardar a lixiviação de NO_3^- , aumentando sua retenção na subsuperfície, diminuindo a lixiviação do NO_3^- com as baixas e altas doses.

Os volumes de água percolada nos diferentes sistemas (Figura 7) seguem a ordem $M < \text{CSAF} < \text{CSPS} < \text{SP}$, enquanto que os maiores conteúdos acumulados de NO_3^- foram encontrados no CPS, mostrando que possivelmente o N perdido no SP seria principalmente pela volatilização da NH_3 . Esses dados indicam que a perda de N no SP na zona da Mata é devido à volatilização de NH_3 e não pela lixiviação do NO_3^- .

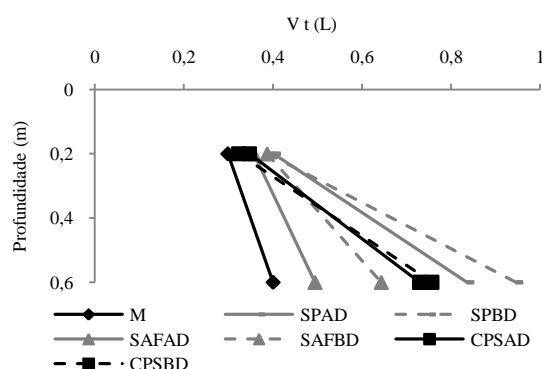


Figura 7. Volume total da solução do solo coletada nas profundidades de 0,2 e 0,6 m nos diferentes sistemas agrícolas profundidade (SPAD: Sistema Pastagem com altas doses de N-uréia; SPBD: Sistema Pastagem com baixa doses de N-uréia; SAFAD: Café Sistema Agroflorestal com alta doses de N-uréia; SAFBD: Café Sistema Agroflorestal com baixa doses de N-uréia; CPSAD: Café Pleno Sol com alta doses de N-uréia; CPSBD: Café Pleno Sol com baixa doses de N-uréia e M: Mata).

Nas determinações de N-total, NO_3^- e NH_4^+ realizadas nas amostras dos solos de cada sistema, antes da aplicação de N-uréia (Quadro 4), foram encontradas valores muito baixos na profundidade de 0,6 m, sendo que a máxima concentração encontrada foi no CPS com $1,77 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$.

Após da aplicação de N-uréia, no final do experimento (Quadro 5), a maior concentração de NO_3^- encontrado foi no SAF com $3,66 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2,13 \text{ mg kg}^{-1}$ tanto

com alta e baixa doses de N, respectivamente. Isso poderia ser devido á mineralização do N orgânico e decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo. Senso assim, os valores de concentrações encontradas baixo nessas condições não são um risco de contaminação do lençol freático, tanto para o SP, SAF e CPS.

De acordo com os conteúdos de NO_3^- perdidos pela lixiviação nos diferentes sistemas agrícolas, podemos estimar as perdas de NO_3^- para a região da zona da Mata que tem uma área total de 35.747,729 km^2 , com 199,502 ha de café e 1.320,784 ha de pastagem (Quadro 4).

Quadro 7. Quantidade estimada de perda de NO_3^- (kg) com altas doses de N-uréia na região da Zona da Mata nos diferentes sistemas estudados a 0,6 m de profundidade do solo no período de janeiro a maio 2011.

Sistema agrícola	Área na zona da Mata (ha)	Área do experimento (m^2)	NO_3^- acumulado no final do experimento (mg)	Perda estimada NO_3^- na Zona da Mata (kg)
SP	1.320.784,00	9	2,18	3.199,23
CPS	199.502*	1	13,28	26.493,87
SAF	199.502*	1	23,6	47.082,47

* Área de café considerando Café Pleno Sol (CPS) e Café Sistema Agroflorestal (SAF).

CONCLUSÕES

A reduzida perda de N no SP, SAF e CPS, na profundidade de 0,6 foi associada ao maior teor de argila do solo Latossolo Vermelho Amarelo e não pela influencia do sistema de manejo.

Aplicações de altas doses de N na cultura de café baixo as condições estudadas, não são um risco de contaminação do lençol freático pela lixiviação do NO_3^- e NH_4^+

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. Cap. I. p.1-18.
- ARIAS, S. C.; PEREZ, J. C. & RUEDA, O. M. Lixiviación de nitratos en dos suelos al alterar sus propiedades físicas. R. EIA, ISSN 1974-1237. Escuela de ingeniería de Antioquia. Número 2 p. 35-40. Colombia. 2004.
- BEER, J.; HARVEY, C.; IBRAHIM, M.; HARMAND, J. M.; SOMARRIBA, E. & JIMENEZ, F. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas. v. 10, n. 37-28. 2003. Artículos invitados.
- BELLINI, G.; SUMNER, M.E.; RADCLIFFE, D.E. & QAFOKU, N.P. Anion transport through columns of highly weathered acid soils: adsorption and retardation. Soil Science Society of American Journal, v.60, p.132-137, 1996
- BRASIL, Conselho Nacional de meio ambiente. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 jul. 1986.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001. 32 p.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. & GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio ¹⁵N em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. R. Bras. Ci. Solo, v.15, p.187-193, 1991.
- CRUZ, C. J. D.; da; PARRON, L. M. & ROCHA, A. L. A. Disponibilidade e mobilidade de íons em solução de solo sob cultura de cafeiro. IX Simpósio Nacional Cerrado, Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Parla Mundi, Brasília, DF. Out. 2008
- DYNIA, J. F. & CAMARGO, O. A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. Pesq. agropec. bras. Brasília, v. 34, n. 1, p. 141-144, jan. 1999.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C. & STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.25 p.939-946, 2001.

- FENILLI, T. A. B. Destino do nitrogênio (^{15}N) do fertilizante em uma cultura de café. 2006. 100 p. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. & CARVALHO, L. A. Internal drainage and nitrate leaching in corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. *Sci. Agric.*, 63:483-492, 2006.
- GEBRIM, F. de O.; SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F.; VERGUTZ, L.; PROCOPIO, L. C.; NUNES, T. N. & JESUS, G. L. de. Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2255-2267, 2008
- HAYATSU, M. & KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrados soils (Brazil). *Soil Sci. and Plant Nutrition*, Tokyo, v.39, p.367-371, 1993.
- MATSON, P. A.; NAYLOR, R. & MONASTERIO, O. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Sci.*, v. 280, n. 3, abr., 1998.
- MENDONÇA, E. S. & MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo; métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- MORENO, M. G.; LOPEZ, M. D. L.; OLIVEIRA, F. & CUNHA, M. Eficacia de los sistemas agroforestales en el control de la lixiviación de nitrato. *Actas de la III Reunión sobre Sistemas Agroforestales. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 22:113-118. 2007.
- NOVAIS, R. F. & MELLO, J. W. V. de. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 133-198. 2007.
- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; SANTIAGO, A. R. & BARROSO, D. G. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café “Conilon” propagadas por sementes e por estacas. *Pesq. agropec. bras.* V. 41, n. 6, p. 949-954, 2006.
- PINHEIRO, R. B. Mobilidade de nitrato em resposta a propriedades eletroquímicas de solos com carga variável. Viçosa, UFV, 2002, 76 p. (Tese de Mestrado).

- PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. & REISSMANN, C. B., Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:757-766, 2009.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H.; AGUIRRE, M. J. A.; SILVA, A. G. D. & FREITAS, A. R. D. Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastros. Eficiências e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. 42 p. (Circular Técnica, 30). 2001.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G. D. & CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. *R. Bras. Zootec.*, 35(3):683-690. 2006.
- 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.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ, V. V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5a Aproximação. Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa. p. 359. 1999.
- ROSOLEM, C. A.; FOLINI, J. S. S. & OLIVEIRA, R. H. de. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, fev. 2003
- SCHUMMAN, L. M. Phosphate and nitrate movement through simulated golf greens. *Water Air Soil Pollut.*, 129:305-318, 2001.
- SILVA, A. S. Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos. Viçosa, UFV, 2004. 58p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, C. A. & VALE, F. R. do. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.35, n.12, p.2461-2471, dez. 2000.
- THOMPSON, L. M. & TROEH, F. R. *Los suelos y su fertilidad*. 4 ed. Barcelona: Reverté. 1982.

ANEXO

Quadro 8. Valores médios do volume de solução de solo (mL) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.

Profundidade m	Dias após início do experimento										
	8	12	15	36	42	47	50	56	62	70	79
Sistema Pastagem											
Alta doses											
0,2	44,33	54,00	48,67	41,00	33,67	48,00	50,00	42,67	38,67	--	--
0,6	50,67	90,33	75,67	91,00	98,00	83,33	70,67	77,33	75,67	71,33	51,67
Baixa doses											
0,2	43,33	50,33	50,67	41,33	38,33	46,00	50,00	42,67	25,33	--	--
0,6	93,00	103,67	78,00	79,67	94,33	91,67	84,33	90,33	79,00	78,00	73,67
Sistema Agroflorestal											
Alta doses											
0,2	18,00	63,00	41,00	6,00	28,00	43,00	46,67	39,67	29,67	32,67	9,67
0,6	--	58,67	57,67	13,00	52,33	61,67	77,67	71,00	57,67	38,33	6,67
Baixa doses											
0,2	5,00	38,33	45,00	36,33	50,33	53,00	50,67	45,00	27,33	21,00	15,00
0,6	--	44,33	47,33	76,33	53,67	68,33	60,67	85,67	71,00	79,33	56,67
Café Pleno Sol											
Alta doses											
0,2	--	18,67	17,67	57,00	40,00	33,00	47,00	45,67	40,33	33,67	14,00
0,6	18,67	42,33	64,00	93,33	86,33	71,67	71,67	85,00	84,67	56,33	55,33
Baixa doses											
0,2	--	12,00	43,00	47,00	38,00	46,33	35,33	47,33	31,00	17,00	6,00
0,6	5,33	35,67	64,00	88,00	93,00	74,67	80,33	91,67	91,00	80,00	53,67
Mata (sem fertilização)											
0,2	19,33	57,00	44,33	48,67	15,67	38,67	43,00	28,33	3,67	--	--
0,6	--	6,00	72,33	64,67	34,00	25,00	78,67	67,33	45,33	7,33	--

Quadro 9. Valores médios do conteúdo de NO_3^- (mg) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.

Profundidade m	Dias após início do experimento										
	8	12	15	36	42	47	50	56	62	70	79
	Sistema Pastagem										
	Alta doses										
0,2	0,05	0,07	0,05	0,04	0,06	0,11	0,02	0,05	0,04	--	--
0,6	0,01	0,08	0,03	0,06	0,27	0,21	0,02	0,06	0,19	0,73	0,53
	Baixa doses										
0,2	0,06	0,16	0,04	0,00	0,06	0,06	0,00	0,03	0,01	--	--
0,6	0,03	0,06	0,02	0,04	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sistema Agroflorestral										
	Alta doses										
0,2	0,33	2,64	1,87	0,08	1,87	0,38	3,56	3,79	3,86	3,97	0,99
0,6	--	0,47	0,67	0,32	1,45	0,92	2,65	2,57	1,92	1,92	0,38
	Baixa doses										
0,2	0,11	0,60	2,01	1,40	1,50	2,50	3,05	3,39	1,59	1,34	0,97
0,6	--	0,81	0,75	1,44	1,37	2,12	2,06	2,62	2,05	2,22	2,03
	Café Pleno Sol										
	Alta doses										
0,2	--	0,66	0,67	2,18	3,55	1,81	6,17	5,63	7,56	10,62	2,99
0,6	0,19	1,97	2,39	2,79	2,07	1,55	2,92	3,47	1,39	2,69	2,18
	Baixa doses										
0,2	--	0,11	2,37	2,91	5,15	1,89	7,62	11,43	5,37	2,73	1,00
0,6	0,15	0,17	0,86	3,32	2,07	1,62	4,39	2,05	3,16	1,86	1,60
	Mata (sem fertilização)										
0,2	0,62	0,44	0,20	0,14	0,02	0,13	0,04	0,02	0,00	--	--
0,6	--	0,02	0,06	0,06	0,03	0,10	0,11	0,15	0,02	0,00	--

Quadro 10. Valores médios do conteúdo de NH_4^+ (mg) coletado durante o experimento nos diferentes sistemas de uso agrícola e na mata.

Profundidade m	Dias após início do experimento										
	8	12	15	36	42	47	50	56	62	70	79
	Sistema Pastagem										
	Alta doses										
0,2	0,014	0,315	0,008	0,002	0,029	0,059	0,048	0,020	0,007	--	--
0,6	0,010	0,027	0,006	0,000	0,003	0,029	0,137	0,126	0,055	0,007	0,000
	Baixa doses										
0,2	0,024	0,172	0,000	0,000	0,012	0,012	0,004	0,005	0,003	--	0,000
0,6	0,016	0,032	0,000	0,000	0,006	0,005	0,022	0,000	0,001	0,000	0,001
	Sistema Agroflorestal										
	Alta doses										
0,2	0,000	0,039	0,003	0,000	0,007	0,011	0,014	0,005	0,003	0,002	0,000
0,6	--	0,005	0,000	0,001	0,011	0,093	0,044	0,009	0,001	0,004	0,000
	Baixa doses										
0,2	0,000	0,004	0,016	0,008	0,011	0,994	0,704	0,146	0,000	0,001	0,000
0,6	--	0,000	0,000	0,004	0,014	0,066	0,038	0,004	0,000	0,000	0,001
	Café Pleno Sol										
	Alta doses										
0,2	--	0,001	0,000	0,044	0,183	0,686	0,575	0,515	0,486	0,248	0,001
0,6	0,005	0,007	0,000	0,002	0,014	0,040	0,074	0,014	0,012	0,009	0,008
	Baixa doses										
0,2	--	0,002	0,007	0,001	0,044	0,181	0,121	0,033	0,003	0,000	0,000
0,6	0,000	0,032	0,000	0,002	0,006	0,035	0,091	0,010	0,001	0,004	0,000
	Mata (sem fertilização)										
0,2	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,014	0,001	0,000	0,001	--	--
0,6	--	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	--