

LUIZ FRANCISCO DA SILVA SOUZA FILHO

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO PELO
MILHO DA UREIA PEROLADA, GRANULADA E PASTILHADA**

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
2010

LUIZ FRANCISCO DA SILVA SOUZA FILHO

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO PELO
MILHO DA UREIA PEROLADA, GRANULADA E PASTILHADA**

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: 22 de fevereiro de 2010

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Co-orientador)

Prof. Victor Hugo Alvarez V.

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Lino Roberto Ferreira

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

À meus pais, Luiz Francisco e Sandra, e ao meu irmão Rafael,
Dedico.

À minha família
Ofereço.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela confiança e oportunidade de execução dos trabalhos.

À PETROBRAS, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Reinaldo Bertola Cantarutti, pela orientação.

Ao Professor João Ker pelo apoio paternal em todos os momentos durante o meu curso.

Aos Professores Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais, pela disposição e colaboração na realização dos trabalhos, e pelas sugestões nas correções do projeto e dissertação.

Aos Professores Júlio César Lima Neves e Victor Hugo Alvarez V., pela participação na banca examinadora e pelas valiosas sugestões.

Ao colega Frederico Cotta Rena, pela grande colaboração e pela amizade durante esses anos de convivência.

Aos companheiros de laboratório e campo Odyrlei, Marco Antônio e Gelton, pela colaboração durante todas as etapas do trabalho.

A Carlos Fonseca, Jorge Orlando e Zélia pelo valioso apoio no laboratório de Fertilidade do Solo.

Ao técnico João Milagres e a todos os colegas, pela boa vontade dispensada durante minha passagem pelo Laboratório de Isótopos Estáveis e pela amizade.

Ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, pela boa vontade em ceder equipamentos e técnicos para produção do carvão vegetal.

Ao Laboratório de Instrumentação e Quimiometria do Departamento de Química da UFV, pela caracterização das substâncias húmicas.

Aos colegas e amigos do Departamento de Solos, pela amizade e convivência nessa caminhada.

Aos colegas do futebol pela amizade e bons momentos de descontração.

BIOGRAFIA

LUIZ FRANCISCO DA SILVA SOUZA FILHO, filho de Luiz Francisco da Silva Souza e Sandra Araponga Barbosa Souza, natural de Salvador - BA, nasceu no dia 28 de outubro de 1984.

Em julho de 2002 iniciou o curso de graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, recebendo o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2008.

Em março de 2008 iniciou o curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa - MG, concluindo em fevereiro de 2010.

CONTEÚDO

LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	4
Capítulo 1. Volatilização de amônia e recuperação de nitrogênio pelo milho da ureia perolada, granulada e pastilhada.	
Resumo.....	5
Abstract.....	8
Introdução.....	10
Material e métodos.....	15
Resultados e discussão.....	22
Conclusões.....	31
Literatura citada.....	32
Capítulo 2. Volatilização de amônia e recuperação de nitrogênio pelo milho da ureia perolada, granulada e pastilhada revestidas com ácidos húmicos.	
Resumo.....	38
Abstract.....	40
Introdução.....	42
Material e métodos.....	46
Resultados e discussão.....	51
Conclusões.....	60
Literatura citada.....	61

Conclusões gerais.....	66
-------------------------------	-----------

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

1. Tratamentos que combinam formas de ureia, dose de N, época e modo de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, de acordo com a estrutura de uma matriz baconiana e um tratamento adicional (sem fertilização).....16
2. Amônia volatilizada até o 26º dia desde a adubação de cobertura com diferentes formas de ureia, com aplicação superficial e incorporada no cultivo de milho em sistema plantio direto.....23
3. Produtividade de grãos, peso e número de grãos por espiga, nitrogênio absorvido (N abs) e recuperação aparente de N (N recup) pelas plantas de milho, de acordo com forma de uréia, a época e modo de aplicação da adubação de cobertura equivalente a 120 kg ha⁻¹.....29

CAPÍTULO 2

1. Características químicas dos ácidos húmicos obtidos de carvão de eucalipto na temperatura final de carbonização de 350 °C.....52
2. Amônia volatilizada acumulada até 336 h desde a adubação superficial ou incorporada com diferentes formas de ureia, com ou sem revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto.....57
3. Quantidades de matéria seca e de N absorvido e a recuperação aparente de N por plantas de milho submetidas a adubação com formas de ureia, com ou sem revestimento com ácidos húmicos produzidos de carvão de eucalipto, com aplicação superficial ou incorporada.....58

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

1. Esquema do coletor de amônia semi-aberto estático de acordo com Lara Cabezas et al. (1997).....17
2. Temperatura máxima, média e mínima (a) e precipitação mensal acumulada (b) para o período de dezembro de 2008 a maio de 2009 registradas pela estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.....20
3. Temperatura e precipitação para o período de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009 registradas pela estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG e os principais eventos relacionados ao experimento: P: plantio; F2, F4 e F6: adubação de cobertura no estádio da segunda, quarta e sexta folha totalmente expandidas, respectivamente; C1, C2, C3, C4 e C5: Coleta dos discos de espuma utilizados para captura da NH_3 volatilizada.....20
4. Amônia volatilizada em um cultivo de milho em plantio direto com adubação de cobertura com diferentes formas de ureia com aplicação superficial (a) e incorporado (b), de acordo com o tempo transcorrido desde a adubação..24
5. Produtividade de grãos (a), N absorvido (b), número (c), e peso de grãos por espiga (d) de milho cultivado em sistema plantio direto, de acordo com doses de N aplicado como ureia perolada na adubação de cobertura.....26

CAPÍTULO 2

1. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia perolada PETROBRAS sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.....54
2. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia granulada PETROBRAS sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.....55
3. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia pastilhada

importada sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.....	56
---	----

RESUMO

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Volatilização de amônia e recuperação de nitrogênio pelo milho da ureia perolada, granulada e pastilhada.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais.

O N é um dos nutrientes requerido em maior quantidade pelas plantas e é o que mais limita o seu crescimento. Na maioria dos solos o N é encontrado em quantidades que seria suficiente para atender a demanda das culturas, porém uma grande proporção está em forma orgânica do solo e com elevada recalcitrância. Assim, a adubação nitrogenada se faz necessária e, atualmente, a ureia é o fertilizante mais utilizado. Apesar disto, a eficiência agronômica da ureia é comprometida, considerando que a maior proporção das doses do N é aplicada na adubação de cobertura na superfície do solo. Nestas condições a perda de N pela volatilização de NH_3 é intensa. Alternativas de manejo da adubação variando o modo e a época de aplicação da ureia e industriais, como a produção de ureia com diferente granulometria, com ou sem aditivos que controlem a hidrólise da ureia, contribuem para diminuir a volatilização da NH_3 . Este trabalho objetivou avaliar a volatilização de NH_3 , o N absorvido, o crescimento e a produção de plantas de milho adubadas com ureia perolada e granulada, revestida, ou não, com ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão de eucalipto. Foi realizado um experimento em campo, em um Argissolo Vermelho-Amarelo cambico, cultivado há vários anos e com boa fertilidade atual. Avaliou-se a ureia perolada da PETROBRAS (UPP - 446 g kg^{-1} de N), a ureia perolada UPI (446 g kg^{-1} de N); a ureia granulada da PETROBRAS (UGP - 449 g kg^{-1} de N), a ureia granulada UGI (445 g kg^{-1} de N) e a ureia granulada especial UTI (451 g kg^{-1} de N). As doses na adubação de cobertura foram: 0,

40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N. Avaliou-se, ainda, a aplicação da adubação de cobertura quando o milho apresentava duas, quatro e seis folhas expandidas e a aplicação da ureia superficial e incorporada à 5 cm, ambas em linha ao lado das plantas. A combinação destes fatores resultou em 19 tratamentos, de acordo com um fatorial incompleto, denominado matriz Baconiana, acrescido de um tratamento adicional, que correspondeu à ausência de adubação nitrogenada de cobertura. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. As parcelas experimentais (4,9 x 10,0 m) foram compostas de sete linhas de milho de 10 m de comprimento, espaçadas de 70 cm. A área útil da parcela (16,8 m²) foi constituída pelas três fileiras centrais, eliminando-se 1 m de cada extremidade. Em parcelas de alguns tratamentos foram instalados coletores de amônia semi-abertos estáticos para quantificar as perdas de amônia aos 3, 7, 12, 19 e 26 d após a adubação de cobertura. No final do ciclo vegetativo do milho quatro plantas foram cortadas rente ao solo e dissecadas em colmo, folha, espiga e pendão. O material vegetal foi seco, pesado e analisado para determinação do teor de N. Ao final do ciclo quantificou-se a produtividade de grãos, o número e peso médio de grãos por espiga. Estimou-se o N absorvido pela população de plantas de milho e a recuperação aparente do N suprido pelas formas de ureia. Em outro experimento em casa de vegetação avaliou-se a UPP, a UGP e a UTI, sem revestimento ou revestidas com 200, 120 e 80 g kg⁻¹, de ácidos húmicos, respectivamente e aplicadas na superfície do solo ou incorporada a 3 cm de profundidade. Assim, os tratamentos resultaram da combinação fatorial (3 x 2 x 2) + 1, que correspondeu ao tratamento sem adubação de cobertura. Os ácidos húmicos foram sintetizados a partir de carvão de eucalipto obtido com temperatura final de carbonização de 350 °C. O

delineamento experimental foi blocos casualizados, com 4 repetições. As unidades experimentais foram vasos com 5 dm³ de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Em cada vaso foram instalados coletores de amônia semi-abertos dinâmico. Trinta dias após a adubação de cobertura as plantas foram cortadas rente ao solo. Determinou-se a matéria seca acumulada e o seu teor de N. No experimento em campo constatou-se que a aplicação superficial da UPP e das demais formas de ureia apresentaram quantidade equivalente de NH₃ volatilizada. As parcelas fertilizadas com a UGP apresentaram perdas de NH₃ significativamente maiores do que aquelas fertilizadas com a UGI. A aplicação incorporada promoveu menor volatilização de NH₃ do que a aplicação superficial demonstrando a eficiência desta prática de manejo da adubação. A UPI promoveu maior produtividade de milho do que a UPP. As formas de ureia granulada UGI, UGP e UTI favoreceram produtividade de milho equivalente a obtida com a UPP. A produtividade do milho não foi alterada pela época de aplicação da adubação nitrogenada, indicando que o N pode ser aplicado quando a planta apresentar duas folhas abertas. A produtividade do milho não diferiu entre os tratamentos com aplicação superficial e incorporada da ureia. O revestimento da ureia perolada (UPP) e granulada (UPI e UTI) com ácidos húmicos não proporcionou menor volatilização de NH₃ nem maior acúmulo de matéria seca nas plantas de milho. No entanto, para UPP aplicada na superfície do solo o revestimento com ácidos húmicos condicionou maior quantidade de N absorvido e maior recuperação aparente de N pelas plantas de milho.

ABSTRACT

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2010. **Ammonia volatilization and nitrogen recovery by maize of pearl, granulated and pads urea.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Advisors: Ivo Ribeiro da Silva and Roberto Ferreira de Novais.

In spite of its large quantity found in soil, N is one of the major factors that limit crop production, because the nitrate and ammonium that are preferably absorbable by plants account for less than 2 % of the total N in the soil. For this limitation, it is necessary to use nitrogen fertilization to meet crop requirements emphasizing the urea usage. Despite this, urea demonstrates low agronomic efficiency due to the NH_3 loss by volatilization, as the nitrogen fertilization is usually performed on coverage with application on the soil surface. Several alternatives are listed in order to reduce losses. Among them are: the mode of application of urea, the period of fertilization and the production of urea with larger granules. Given the above, this study aimed to evaluate the NH_3 loss by volatilization, the absorbed N, and the production by corn plants fertilized with different forms of urea. This work also aimed to evaluate the N loss by ammonia volatilization and the N supply to corn plants by urea in its pearled and granulated form, coated with humic acids synthesized from eucalyptus charcoal. An experiment was installed in a Red-and-Yellow cambic Acrisol, cultivated for several years and which now shows good fertility. We evaluated the PETROBRAS pearled urea (UPP), pearled urea UPI, PETROBRAS granulated urea (UGP), granulated urea UGI and special granulated urea (UTI). The dosages of fertilization on coverage were: 0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ N. We evaluated the application of topdressing at the growth stage of corn characterized by the second, fourth and sixth fully expanded leaves and also

the application of superficial urea (S) and incorporated to 5 cm depth (I), both in line next to the plants. These factors were combined according to an incomplete factorial, a Baconian matrix, resulting in 19 treatments, plus an additional treatment corresponding to the absence of nitrogen fertilization on coverage. Treatments were arranged in a randomized block design with three replications. Data from volatilization of NH_3 , number and weight seed by ear of corn, yield corn, content and N recovery were by corn plants subjected to analysis of variance with regression fits and comparisons using contrasts. In another experiment we evaluated the pearled (UPP) and granulated (UGP) urea produced by PETROBRAS and the special granulated urea (UTI), uncoated or coated with 200, 120 and 80 g kg^{-1} of humic acid, respectively, applied onto the soil surface or incorporated to 3 cm depth resulting in a factorial $(3 \times 2 \times 2) + 1$, which corresponds to the treatment without topdressing. The experiment was conducted in a greenhouse using corn in pots with 5 dm^3 of an Oxisol in a completely randomized design with four replications. The humic acids were synthesized from eucalyptus charcoal obtained with final carbonization temperature of 350 °C. The variables analyzed were: dry matter, amount of absorbed and accumulated N, NH_3 volatilization, content of NO_3^- and NH_4^+ in the soil. Data were subjected to analysis of variance. The plots fertilized with the UPP showed same losses of NH_3 as for plots fertilized with the other N sources in surface. The plots UGP fertilized plots showed NH_3 losses significantly higher than the ones fertilized with UGI. In incorporated application promoted less NH_3 volatilization compared with surface application demonstrating the efficiency of fertilizer management practices. UPI promoted higher corn yields than UPP. The UGI, UGP and UTI forms of granulated urea favored an equivalent yield to the obtained with UPP. The yield corn was not altered by the period of the

nitrogen fertilization application, indicating that N can be applied when the plant has two open leaves. The yield did not differ between the treatments with incorporated and superficial application of urea. The effects of coating with humic acids for each urea and the effects of the application form for each urea with or without coating were compared using the F test ($p < 0.05$). The mean effects of the forms of urea were compared with the treatment without fertilization of coverage (additional treatment) by means of orthogonal contrasts ($p < 0.05$). The characteristics of humic acids were similar to those found in the literature, indicating that the methodology is feasible for production. The volatilization of NH_3 and dry weight of plants were not affected by the use of humic acids as a coating for the forms of urea, however, for N uptake and apparent recovery of N there was a positive effect indicating that the coating of the UPP is advantageous when applied superficially.

INTRODUÇÃO GERAL

O N é um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento de plantas, sendo considerado até o mais limitante para obtenção de altas produtividades de milho. O N faz parte de diversas moléculas entre elas a clorofila que é a responsável pela absorção da energia luminosa utilizada no processo fotossintético. Devido ao grande dinamismo do N no ambiente e mais particularmente no solo, a sua disponibilidade imediata para as plantas é pequena, sendo necessária a aplicação via fertilizante para suprir as necessidades das culturas. Estimativas indicam um balanço negativo entre o N que é aplicado via fertilizantes e o que é extraído pelas culturas. Dentre os fertilizantes nitrogenados o que se destaca em termos de uso é a ureia, que passou a ser utilizada desde a adaptação do processo Haber-Bosch na produção industrial. A eficiência agrônômica da ureia, no entanto, é baixa devido às perdas, principalmente por volatilização de amônia (NH_3).

Com intuito de minimizar as perdas de NH_3 , diversas alternativas estão sendo avaliadas. A incorporação da uréia reduz perdas de NH_3 e favorece, por exemplo, o aumento na produtividade de grãos de milho. Porém, a inclusão dessa etapa no processo de produção acarreta aumento dos gastos e é

inadequada para o uso no sistema plantio direto. A adição de produtos acidificantes, o revestimento com polímeros e o uso de inibidores de urease apresentam resultados contraditórios na literatura, mas não deixa de ser uma linha que deve ser mais explorada. Recentemente ressurgiu a idéia de utilização de grânulos maiores. Algumas empresas a nível mundial vêm utilizando diversos tamanhos e formatos de grãos a fim de aumentar a eficiência da uréia. Khalil et al. (2006) verificaram por exemplo, menores perdas de N por volatilização à medida que houve incremento no tamanho dos grânulos de ureia, independente do tipo de solo. Há, no entanto, relatos na literatura de situações em que há maior volatilização de amônia com o aumento do tamanho dos grânulos (Black et al., 1987; Lara Cabezas et al., 1992). Apesar destas discrepâncias, a ureia granulada possibilita a obtenção de misturas NPK mais homogêneas, o que contribui para maior uniformidade na adubação.

Outra possibilidade é a adição da ureia com produtos com capacidade de troca catiônica elevada com o intuito de reter o amônio produzido na hidrólise da ureia. Este efeito tem sido verificado com zeólitas, apesar do grande impacto ambiental causado pela extração de zeólitas naturais e o elevado custo de zeólita sintética, fatos que limitam o seu uso. Com isso surgiu o interesse na utilização de ácidos húmicos devido à elevada CTC, do caráter ácido e do elevado poder tampão e baixo custo de obtenção. Yusuff et al. (2009) testando novos aditivos para ureia, verificaram que a utilização de ácido húmico e solo tiomórfico junto a ureia diminuiu significativamente a volatilização de amônia, em relação a aplicação apenas da ureia. Com este mesmo propósito, Paiva (2009) verificou que o revestimento da ureia perolada com ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão de eucalipto, uma fonte

renovável de C, retardou o início e diminuiu o pico de máxima volatilização da NH_3 , assim como reduziu a volatilização total. Não foi constatado inibição na atividade da urease, sendo tal efeito atribuído à elevada CTC dos ácidos húmicos ($440 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Com base nestas considerações justificam-se os objetivos deste trabalho que foram: avaliar as perdas de NH_3 por volatilização, o N absorvido e a produção por plantas de milho adubadas com diferentes formas de ureia e obter e caracterizar ácidos húmicos de carvão vegetal avaliando seu uso como revestimento na ureia perolada, granulada e2□□□tilhada.

LITERATURA CITADA

- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R. & SMITH, N.N. Effect of urea granule size on ammonia volatilization from surface-applied urea. Fert. Res. 11:87-96, 1987.
- KHALIL, M.I.; SCHMIDHALTER, U. & GUTSER, R. N₂O, NH₃ and NO_x emissions as a function of urea granule size and soil type under aerobic conditions. Water, Air and Soil Pollution, 175:127-148, 2006.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. & BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. R. Bras. Ci. Solo, 16:409-413, 1992.
- PAIVA, D.M. Influência de ácidos húmicos na hidrólise da uréia e na volatilização de amônia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 40p. (Dissertação de Mestrado)
- YUSUFF, M.T.M.; AHMED, O.H. & MAJID, N.M.A. Effect of mixing urea with humic acid and acid sulphate soil on ammonia loss, exchangeable ammonium and available nitrate. Am. J. Environ. Sci., 5:588-591, 2009.

CAPÍTULO 1

RESUMO

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Volatilização de amônia e recuperação de nitrogênio pelo milho da ureia perolada, granulada e pastilhada.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais.

Apesar da grande quantidade que se encontra no solo o N é um dos principais limitantes da produção vegetal, pois as formas preferencialmente absorvíveis pelas plantas correspondem a menos de 2 % do N total do solo. Devido a essa limitação, faz-se necessário fertilização nitrogenada para suprir a demanda das culturas destacando-se o uso da ureia. Apesar disto, a ureia apresenta baixa eficiência agronômica devido a perda de NH_3 por volatilização, em razão de que a adubação nitrogenada é, usualmente, feita em cobertura com aplicação na superfície do solo. Diversas alternativas são indicadas com intuito de reduzir as perdas. Dentre elas estão o modo de aplicação da ureia, a época de adubação e a produção de ureia com grânulos maiores. Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar as perdas de NH_3 por volatilização, o N absorvido e a produção por plantas de milho adubadas com

diferentes formas de ureia. O experimento foi instalado num Argissolo Vermelho-Amarelo cambico, cultivado por vários anos e que apresenta boa fertilidade atual. Foram avaliadas a ureia perolada PETROBRAS (UPP), uréia perolada UPI, uréia granulada PETROBRAS (UGP), uréia granulada UGI e uréia granulada especial (UTI). As doses na adubação de cobertura foram 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N. Avaliou-se a aplicação da adubação de cobertura no estágio de desenvolvimento da planta duas (F2), quatro (F4) e seis (F6) folhas totalmente expandidas e, ainda, a aplicação da ureia superficial (S) e incorporada à 5 cm (I), ambas em linha ao lado das plantas. Estes fatores foram combinados em um fatorial incompleto, de acordo com a estrutura de uma matriz Baconiana, resultando 19 tratamentos, acrescido de um tratamento adicional correspondente à ausência de adubação nitrogenada de cobertura. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Os dados de volatilização de NH₃, número e peso de grãos por espiga e a produtividade, o conteúdo e recuperação de N pelas plantas de milho foram submetidos a análise de variância, com ajustes de regressões e comparações por meio de contrastes. Com a aplicação superficial as parcelas fertilizadas com a UPP apresentaram perdas de NH₃ igual as parcelas fertilizadas com as outras formas de ureia. As parcelas fertilizadas com a UGP apresentaram perdas de NH₃ significativamente maiores do que aquelas fertilizadas com UGI. A aplicação incorporada promoveu menor volatilização de NH₃ do que a aplicação superficial demonstrando a eficiência desta pratica de manejo da adubação. A UPI promoveu maior produtividade de milho do que a UPP. As formas de ureia granulada UGI, UGP e UTI favoreceram produtividade equivalente a obtida com a UPP. A produtividade do milho não foi alterada pela época de aplicação da adubação nitrogenada,

indicando que o N pode ser aplicado quando a planta tiver duas folhas abertas. A produtividade não diferiu entre os tratamentos com aplicação superficial e incorporada da ureia.

ABSTRACT

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Federal Universidade Federal de Viçosa, 2010. **Ammonia volatilization and nitrogen recovery by maize of pearl, granulated and pads urea.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Advisors: Ivo Ribeiro da Silva and Roberto Ferreira de Novais.

In spite of its large quantity found in soil, N is one of the major factors that limit crop production, because the nitrate and ammonium that are preferably absorbable by plants account for less than 2 % of the total N in the soil. For this limitation, it is necessary to use nitrogen fertilization to meet crop requirements emphasizing the urea usage. Despite this, urea demonstrates low agronomic efficiency due to the NH_3 loss by volatilization, as the nitrogen fertilization is usually performed on coverage with application on the soil surface. Several alternatives are listed in order to reduce losses. Among them are: the mode of application of urea, the period of fertilization and the production of urea with larger granules. Given the above, this study aimed to evaluate the NH_3 loss by volatilization, the absorbed N, and the production by corn plants fertilized with different forms of urea. The experiment was installed in a Red-and-Yellow cambic Acrisol, cultivated for several years and which now shows good fertility. We evaluated the PETROBRAS pearled urea (UPP), pearled urea UPI,

PETROBRAS granulated urea (UGP), granulated urea UGI and special granulated urea (UTI). The dosages of fertilization on coverage were: 0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ N. We evaluated the application of topdressing at the growth stage of corn characterized by the second (F2), fourth (F4) and sixth (F6) fully expanded leaves and also the application of superficial urea (S) and incorporated to 5 cm depth (I), both in line next to the plants. These factors were combined according to an incomplete factorial, a Baconian matrix, resulting in 19 treatments, plus an additional treatment corresponding to the absence of nitrogen fertilization on coverage. Treatments were arranged in a randomized block design with three replications. Data from volatilization of NH₃, number and weight seed by ear of corn, yield corn, content and N recovery were by corn plants subjected to analysis of variance with regression fits and comparisons using contrasts. The plots fertilized with the UPP showed same losses of NH₃ as for plots fertilized with the other N sources in surface. The plots UGP fertilized plots showed NH₃ losses significantly higher than the ones fertilized with UGI. In incorporated application promoted less NH₃ volatilization compared with surface application demonstrating the efficiency of fertilizer management practices. UPI promoted higher corn yields than UPP. The UGI, UGP and UTI forms of granulated urea favored an equivalent yield to the obtained with UPP. The yield corn was not altered by the period of the nitrogen fertilization application, indicating that N can be applied when the plant has two open leaves. The yield did not differ between the treatments with incorporated and superficial application of urea.

INTRODUÇÃO

Por ser constituinte da clorofila, aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucléicos, nucleotídeos, coenzimas, hexoaminas e outros compostos essenciais ao metabolismo vegetal (Taiz & Zeiger, 2004) o N é o nutriente demandado em maior quantidade pelas plantas (2 a 75 g kg⁻¹ na matéria seca). Para um bom crescimento os teores variam de 20 a 50 g kg⁻¹ (Dechen & Nachtigall, 2007).

A litosfera compreende o maior reservatório de N (1 x 10¹¹ Tg) distribuindo-se nas rochas, nos oceanos e nos sedimentos. A atmosfera é o segundo grande reservatório (3,9 x 10⁹ Tg), onde predomina a forma gasosa N₂. Na biosfera acumulam-se entre 2,8 e 6,5 x 10⁹ Tg sendo que, de 96 a 98 % encontra-se na matéria orgânica do solo (Sylvia et al., 1999; Taiz & Zeiger, 2004; Moreira & Siqueira, 2006; Silva & Mendonça, 2007). Apesar destas grandes quantidades o N é, com frequência, um dos principais limitantes da produção vegetal, pois as formas preferencialmente absorvíveis pelas plantas (NH₄⁺ e NO₃⁻) correspondem a menos de 2 % do N total do solo, por participar de diversos processos que levam a perdas para a atmosfera e para camadas

mais profundas do solo (Sangoi et al., 2003; Kemmitt et al., 2005; Dittert et al., 2005; Wang et al., 2005).

Estimativas da extração de N, P e K pelas culturas no Brasil evidenciam que o suprimento de N pela fertilização tem sido próximo ao limite crítico para atender as necessidades das plantas (Lopes et al., 2007), o que tem contribuído para a gradual exaustão da fertilidade natural dos solos. Nestas condições a fertilização nitrogenada é fundamental, mas, por outro lado, há de se considerar que a eficiência de aproveitamento do N dos fertilizantes pelas plantas é baixa. A eficiência agronômica dos fertilizantes nitrogenados para os cereais é, em termos globais, de apenas 33 %, estimando-se perdas anuais de cerca de 16 bilhões de dolares (Raun & Johnson, 1999).

Cerca de 90 % da produção agrícola mundial utiliza a ureia. Estima-se que em 2006 o consumo mundial e brasileiro de ureia correspondeu a 52 % dos fertilizantes nitrogenados e que a produção mundial foi de 134,7 Mt (Ministério..., 2007; Facre, 2007). Espera-se que até 2020 o consumo anual de ureia no Brasil alcance 5 Mt, ressaltando-se que a produção nacional anual é, atualmente, de 1,5 Mt (Facre, 2007).

A volatilização da NH_3 é a principal responsável pela baixa eficiência agronômica da ureia e por alterações na composição da atmosfera. Estimam-se emissões globais anuais de NH_3 da ordem de 54 Gt, sendo que, 75 % são decorrentes da atividade humana (Lag Reid et al., 1999). A criação de animais domésticos e a fertilização nitrogenada contribuem com a emissão de 22 e 9 Gt ano⁻¹ de NH_3 respectivamente (Rana & Mastroilli, 1998; Sutton & Fowler, 2002; Cantarella, 2007).

A ureia no solo sofre hidrólise produzindo NH_3 , que consome prótons para formar NH_4^+ , elevando, conseqüentemente, o pH do solo em torno do

granulo de ureia, podendo chegar a 8,8 poucos dias após a adubação (Overrein & Moe, 1967). O NH_4^+ assume papel importante que, por causa de seu caráter catiônico é adsorvido ao complexo sortivo do solo tornando-se uma das formas de N estáveis no solo.

A constante de equilíbrio entre NH_3 e NH_4^+ ($5,85 \times 10^{-10}$) resulta na relação: $\log \frac{\text{NH}_3}{\text{NH}_4} = \text{pH} - 9,2$. Assim, na faixa de pH entre 5,5 a 6,5, que é adequada para a maioria das culturas, a NH_3 corresponde a apenas de 0,02 a 0,2 % do N amoniacal. Em pH 7,2 corresponde a 1 % e, somente a pH 9,2, corresponde a 50 % do N amoniacal. O tamponamento do solo e as interações com outros componentes alteram as condições deste equilíbrio no solo de modo que a pH 7 a percentagem de NH_3 é geralmente maior do que em soluções puras justificando as elevadas perdas de N (Cantarella, 2007).

De acordo com o equilíbrio visto anteriormente, para que ocorra uma significativa volatilização de NH_3 em solos ácidos, deve haver uma elevação do pH ao redor do grânulo do fertilizante (Fan et al., 1993). Ao se utilizar fertilizantes amoniacais de reação ácida ou neutra, como o sulfato de amônio e nitrato de amônio, a perda de NH_3 pode ser desprezível (Vitti et al., 2002; Costa et al., 2003). Com a ureia, no entanto, as perdas são elevadas. Há relatos de perdas de até 78 % do N aplicado nas adubações de cobertura (Lara Cabezas et al., 1997; Cantarella et al., 2003). Para diminuir a volatilização recomenda-se a incorporação da ureia no solo (Silva et al., 1995; Lara Cabezas et al., 2000), porém, esse processo eleva o custo de produção e é inadequado para o sistema plantio direto e para o cultivo da cana de açúcar sem queima.

Outra vertente que deve ser considerada em relação a eficiência agronômica da ureia, além das características físicas e químicas é o manejo da adubação. Pöttker & Wiethölter (2004) verificaram que não houve diferenças

significativas entre a adubação nitrogenada na semeadura e a adubação em cobertura, mas verificaram que a incorporação da ureia aumentou o rendimento de milho. Silva et al. (2005) observaram maior produtividade com aplicação por incorporação da ureia na semeadura ou 15 d após. A aplicação do N antes ou no momento do plantio apresenta algumas vantagens como maior rendimento operacional das máquinas e facilidade na aplicação a lanço (Bertolini et al., 2008). A antecipação da adubação nitrogenada em anos com elevada precipitação no estágio inicial de crescimento do milho, pode acarretar em menor rendimento de grãos devido a intensa lixiviação do NO_3^- , que acumula no solo em uma fase que a planta tem baixa demanda de N (Basso & Ceretta, 2000).

Alternativas industriais vêm sendo desenvolvidas na produção da ureia visando maior eficiência agronômica. Estas compreendem a adição de produtos acidificantes, o revestimento com polímeros ou ainda o uso de inibidores de urease obtendo-se a ureia de liberação lenta e estabilizada (Trenkel, 1997). Entre os inibidores de urease o NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida) tem se mostrado o mais eficiente mesmo em baixas concentrações, e já é utilizado comercialmente (Cantarella, 2007) com a vantagem de não alterar as propriedades biológicas do solo (Cantarella & Marcelino, 2007)

Recentemente, tem-se investido na produção de ureia com grânulos maiores com base na técnica da Toyo Engineering Corporation⁽¹⁾. Esta ureia tem 95 % dos grânulos com diâmetro entre 2 e 4 mm, 460 g kg⁻¹ de N, 4,5 g kg⁻¹ de formaldeído e 8 g kg⁻¹ de biureto. Há, atualmente, 17 unidades produtoras instaladas no mundo com uma capacidade de produção diária de,

⁽¹⁾ Informação obtida da apresentação por SAKATA. E., Business Leader, Toyo Engineering Co. no II Seminário sobre Tecnologia de Fertilizantes promovido pela PETROBRAS. 16 a 18 de abril de 2008. Rio de Janeiro.

aproximadamente, 20 Kt. A PETROBRAS iniciou em 2008 a produção de ureia granulada em sua unidade de Laranjeiras em Sergipe (FAFEN), com uma capacidade instalada para 600 t d⁻¹. Com este mesmo foco, a empresa alemã SANDVIK GmbH⁽²⁾ desenvolveu a ureia na forma de pastilhas (pastilhada), que dispensa o uso de formaldeído e apresenta grânulos com grande uniformidade e diâmetro de 2 a 4 mm. Com a granulação espera-se maior eficiência agronômica considerando que ocorra uma solubilização mais lenta. Khalil et al., (2006) avaliando diferentes tamanhos de grânulos verificaram menores perdas de N por volatilização à medida que houve um incremento no tamanho dos grânulos, independente do tipo de solo. Há, no entanto, relatos na literatura de situações em que há maior volatilização de NH₃ com o aumento do tamanho dos grânulos (Black et al., 1987; Lara Cabezas et al., 1992). Além disso, a ureia granulada possibilita misturas NPK mais homogêneas, o que contribui para maior uniformidade na adubação.

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar as perdas de NH₃ por volatilização, o N absorvido e a produção por plantas de milho adubadas com diferentes formas de ureia.

⁽²⁾ Informação obtida da apresentação feita por BAEDER, A; Process Systems Division SANDVIK, no II Seminário sobre Tecnologia de Fertilizantes promovido pela PETROBRAS. 16 a 18 de abril de 2008. Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFV, em um Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço, cultivado por vários anos, que apresentou $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,39 (1:2,5), 57 e 78 mg dm^{-3} de P e K (Mehlich-1), 3,77 e 0,68 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e Mg^{2+} (KCl 1 mol L^{-1}), respectivamente, 4,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H+Al (acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} pH 7,0), 29,7 g kg^{-1} de matéria orgânica (Walkley-Black), 30,9 mg L^{-1} de P remanescente e V de 51 %, caracterizando boa fertilidade atual.

Foram avaliadas duas formas de ureia perolada: sendo uma produzida pela PETROBRAS, identificada como UPP (446 g kg^{-1} de N) e outra identificada como UPI (446 g kg^{-1} de N); duas formas de ureia granulada, sendo uma produzida pela PETROBRAS, denominadas de UGP (449 g kg^{-1} de N) e outra denominada de UGI (445 g kg^{-1} de N) e uma forma de ureia granulada especial, identificada como UTI (451 g kg^{-1} de N). Todas as formas de ureia foram fornecidas pelo CENPES/PETROBRAS. Com exceção da UTI, as demais estão disponíveis no mercado nacional. As doses de adubação de cobertura foram: 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1} de N. Avaliou-se, ainda, a aplicação da adubação de cobertura no estágio de desenvolvimento das

plantas caracterizados pela segunda (F2), quarta (F4) e sexta (F6) folha totalmente expandidas e a aplicação da ureia superficial (S) e incorporada à 5 cm (I), ambas em linha ao lado das plantas. Estes fatores foram combinados de acordo com um fatorial incompleto, denominado matriz Baconiana, resultando em 19 tratamentos, que foram acrescidos de um tratamento adicional correspondente à ausência de adubação nitrogenada de cobertura (Quadro 1). O tratamento um foi constituído pelos níveis usuais para as variáveis em estudo, correspondendo ao tratamento de referência da matriz Baconiana. Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições.

Quadro 1. Tratamentos que combinam formas de ureia, dose de N, época e modo de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, de acordo com a estrutura de uma matriz Baconiana e um tratamento adicional (sem fertilização)

Tratamento	Forma de ureia ¹	Dose de N	Época de aplicação ²	Modo de aplicação ³
		kg ha ⁻¹		
1	UPP	120	F4	S
2	UPP	0	F4	S
3	UPP	40	F4	S
4	UPP	80	F4	S
5	UPP	160	F4	S
6	UGI	120	F4	S
7	UGP	120	F4	S
8	UPI	120	F4	S
9	UTI	120	F4	S
10	UPP	120	F4	I
11	UGI	120	F4	I
12	UGP	120	F4	I
13	UPI	120	F4	I
14	UTI	120	F4	I
15	UPP	120	F2	S
16	UPP	120	F6	S
17	UGP	120	F2	S
18	UGP	120	F6	S
19	UTI	120	F2	S
20	UTI	120	F6	S

¹ Ureia perolada (UPP e UPI); ureia granulada (UGP e UGI) e ureia granulada especial (UTI).

² Segunda (F2), quarta (F4) e sexta (F6) folha totalmente expandida.

³ Superficial (S) e incorporada à 5 cm (I) em linha ao lado das plantas.

As parcelas experimentais foram compostas de sete linhas de milho de 10 m de comprimento, espaçadas de 70 cm totalizando 49 m² (4,9 x 10,0 m). A área útil da parcela, 16,8 m², foi constituída pelas três fileiras centrais eliminando-se 1 m de cada extremidade.

O milho híbrido simples DKB 370 foi semeado em 2/12/2008 em sistema plantio direto, em área sob pousio anteriormente cultivada com tomate. A população foi uniformizada para 70.000 plantas por hectare. A fertilização de plantio foi com 400 kg ha⁻¹ da fórmula 6-30-6, que correspondeu a aplicação de 24, 120 e 24 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Não se fez a adubação com micronutrientes devido ao histórico de uso com olerícolas, que recebem, usualmente, esta adubação. O milho recebeu os tratos culturais e manejo usuais. As fertilizações de cobertura ocorreram em 22/12/2008, 9 e 12/1/2009, para as épocas F2, F4 e F6, respectivamente.

Nas parcelas dos tratamentos 1, 2, 6, 7, 8, 9, 11, 12 e 13 (Quadro 1) delimitaram-se micro parcelas de 2 m de comprimento na linha central, onde foram instalados coletores de amônia. Foram utilizados coletores semi-abertos estáticos de acordo com Lara Cabezas et al. (1997), construídos com tubos de PVC de 20 cm de diâmetro e 60 cm de altura, inseridos no solo 5 cm (Figura 1).

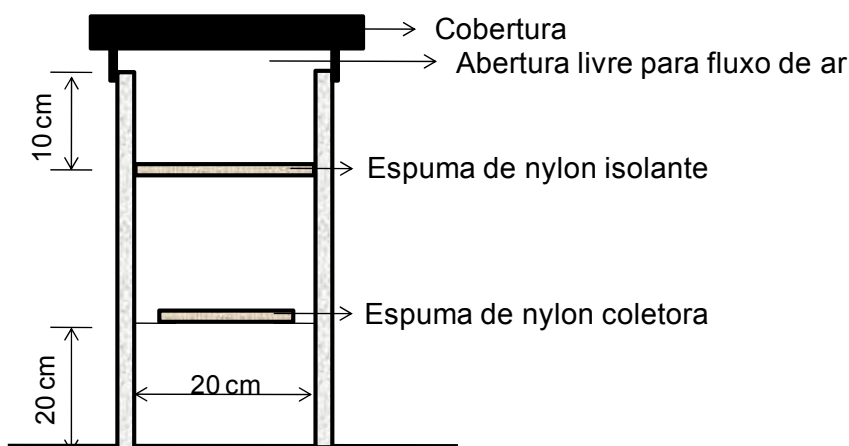


Figura 1. Esquema do coletor de amônia semi-aberto estático de acordo com Lara Cabezas et al. (1997).

Para a captura da amônia volatilizada foram utilizados discos de espuma de nylon com 15 cm de diâmetro (densidade = $0,012 \text{ kg dm}^{-3}$) e 3 cm de espessura, embebidos em solução 1 mol L^{-1} de H_2SO_4 mais 30 mL L^{-1} de glicerina. Em cada coletor o disco de espuma foi instalado a 20 cm do solo. Um segundo disco com 20 cm de diâmetro foi instalado 10 cm abaixo da parte superior do coletor para evitar contaminação da unidade coletora com NH_3 da atmosfera externa. Os coletores foram instalados imediatamente após a adubação de cobertura, efetuada em 9/1/2009, sendo localizado sobre a linha de aplicação do fertilizante. Foram realizadas amostragens aos 3, 7, 12, 19 e 26 d após a adubação de cobertura. Em cada amostragem as espumas de nylon foram retiradas transferidas para sacolas plásticas e conservadas em geladeira até a extração e dosagem da NH_3 e novas espumas foram colocados nos coletores. As espumas isolantes foram substituídas apenas quando ressecaram. A cada amostragem os coletores tiveram sua posição modificada para reduzir o efeito de microclima no interior do coletor.

Para determinação da NH_3 capturada pela espuma, foram utilizados 80 mL de $\text{KCl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para efetuar a primeira lavagem da espuma. Após a primeira lavagem foram feitas mais duas lavagens com 40 mL de água destilada. Todos esses volumes foram transferidos para tubos de destilação, juntamente com a espuma cortada em pequenos pedaços. Procedeu-se a destilação Kjeldahl utilizando solução de $\text{NaOH } 400 \text{ g L}^{-1}$ como alcalinizante. A NH_3 evoluída foi capturada em solução indicadora mista com ácido bórico, determinando-se o N amoniacal por titulação colorimétrica (Tedesco, 1995).

Quando a maioria das plantas apresentavam a inflorescência feminina com estilo-estigma murchos, evidenciando a fecundação e o fim do ciclo

vegetativo, foram colhidas quatro plantas por parcela. As plantas foram dissecadas em colmo, folha, espiga e pendão e, imediatamente, tomaram-se os respectivos pesos. Obtiveram-se sub-amostras para obtenção do peso após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por 72 h. Os materiais secos foram moídos (< 1 mm) e submetidos à análise para determinação do teor de N total pela digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl de acordo com Tedesco (1995). Considerando-se os teores e a massa de matéria seca de cada componente das plantas calcularam-se os conteúdos de N e, com o somatório destes obteve-se o N absorvido e acumulado na planta, que foi corrigido para a população de 70.000 plantas. Estimou-se a recuperação aparente de N (RAN) por meio da fórmula: $RAN = \frac{(NAB_t - NAB_0)}{NF}$, em que:

NAB_t = N absorvido (kg ha^{-1}) em um determinado tratamento com adubação nitrogenada de cobertura,

NAB_0 = N absorvido (kg ha^{-1}) no tratamento sem adubação nitrogenada de cobertura,

NF = Dose de N (kg ha^{-1}) aplicado na adubação de cobertura.

Ao final do ciclo do milho foram colhidas as espigas da área útil das parcelas. Escolheram-se de forma aleatória cinco espigas de cada parcela para determinar-se o número e massa de grãos por espiga. A produtividade de milho foi corrigida para 140 g kg^{-1} de umidade nos grãos.

A temperatura média e a precipitação acumulada foram obtidas na estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa para o período de condução do experimento e estão representados nas figuras 2 e 3, com os principais eventos do experimento representados na figura 3.

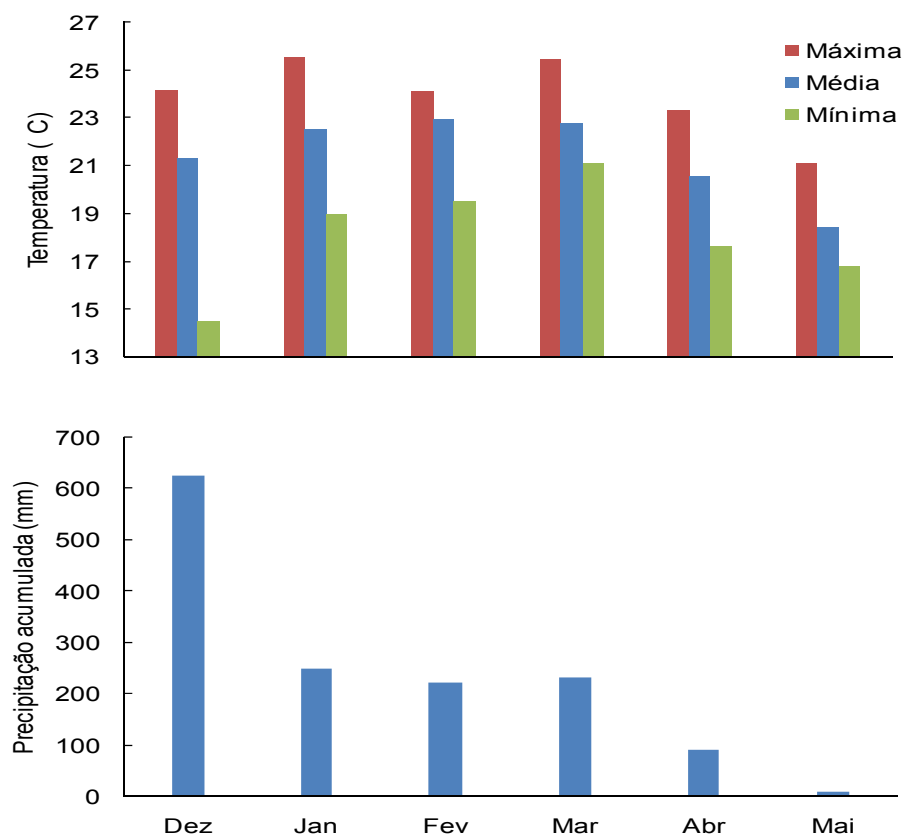


Figura 2. Temperatura máxima, média e mínima e precipitação mensal acumulada para o período de dezembro de 2008 a maio de 2009 registradas pela estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

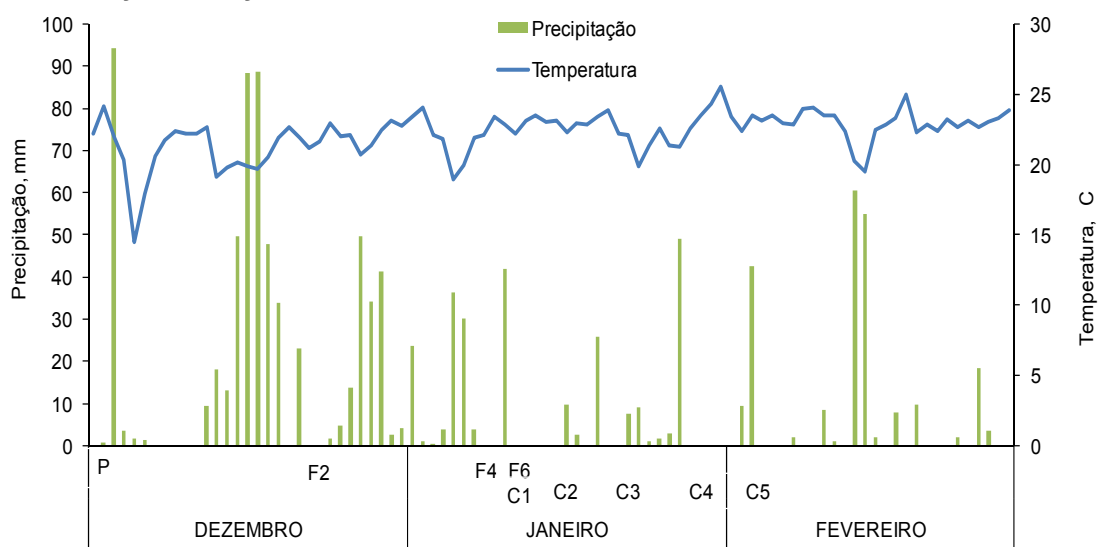


Figura 3. Temperatura e precipitação para o período de dezembro de 2008 a fevereiro de 2009 registradas pela estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG e os principais eventos relacionados ao experimento: P: plantio; F2, F4 e F6: adubação de cobertura no estádio da segunda, quarta e sexta folha totalmente expandidas, respectivamente; C1, C2, C3, C4 e C5: Coleta dos discos de espuma utilizados para captura da NH_3 volatilizada.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Considerando-se os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5 (Quadro 1) ajustaram-se regressões para relacionar a produtividade, número e peso de grãos por espiga e N absorvido com as doses de N. Foram selecionadas aquelas com significância ($p < 0,05$) dos coeficientes da regressão e maior valor do coeficiente de determinação. A comparação entre os demais tratamentos foi estabelecida por meio de contrastes, confrontando as formas de ureia, época de adubação de cobertura e modo de adubação de cobertura considerando-se a significância ($p < 0,1$) pelo teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A volatilização de NH_3 acumulada até o 26º dia após a adubação de cobertura foi, de modo geral, mais elevada com a aplicação superficial (Quadro 2), sendo que variaram de 45 a 87 kg ha^{-1} , para a UGI e UGP, respectivamente. Estas quantidades correspondem a 38 e 73 % da quantidade de N aplicado. A incorporação da UPP, UGP e UPI reduziu significativamente a volatilização de NH_3 (Quadro 2, contrastes C6, C7 e C8).

Com a aplicação superficial nenhuma das formas de ureia condicionaram volatilização estatisticamente diferente daquela verificada para a UPP (Quadro 2, contrastes C1 a C4). Em parte a não significância para os contrastes pode ser atribuída ao elevado coeficiente de variação (35 %), o que é usual em medidas da volatilização em condições de campo. Assim, considera-se relevante a observação de que a UPP apresentou maior volatilização do que a UGI e a UPI (Quadro 2, contrastes C1 e C4). Também é relevante a constatação de que a UGP propiciou maior volatilização do que a UPP (Quadro 2, contraste C2). Constata-se, também que a UGP favoreceu uma volatilização significativamente maior do que ocorreu com a UGI, sendo que correspondeu a perda de 87 kg ha^{-1} de N.

Quadro 2. Amônia volatilizada até o 26º dia desde a adubação de cobertura com diferentes formas de ureia, com aplicação superficial e incorporada no cultivo de milho em sistema plantio direto

Ureia ¹	Adubação	
	Superficial (S)	Incorporada (I)
	kg ha ⁻¹ (%)	
UPP	66,52 (55) ²	38,72 (32) ²
UGI	45,31 (38)	
UGP	86,72 (73)	26,04 (22)
UPI	54,71 (46)	17,36 (15)
UTI	72,29 (60)	
CV (%)	35,4	
C1	-UPP (S) vs UGI (S)	-21,20 ns
C2	-UPP (S) vs UGP (S)	20,20 ns
C3	-UPP (S) vs UTI (S)	5,77 ns
C4	-UPP (S) vs UPI (S)	-11,80 ns
C5	-UGP (S) vs UGI (S)	-41,41 *
C6	-UPP (S) vs UPP (I)	-27,79 *
C7	-UPI (S) vs UPI (I)	-37,35 *
C8	-UGP (S) vs UGP (I)	-60,68 **

¹ Ureia perolada (UPP e UPI), ureia granulada (UGP e UGI) e ureia granulada especial (UTI).

² Percentagem de perda em relação ao N aplicado em cobertura.

ns, ** e * não significativo e significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente.

A volatilização de NH₃ foi intensa nos sete primeiros dias desde a adubação de cobertura, sendo que foi mais intensa no terceiro dia, tanto para a aplicação superficial, quanto para a incorporada (Figura 4). A UGP foi a que apresentou volatilização inicial mais intensa, correspondendo a mais de 75 kg ha⁻¹ três dias após a aplicação superficial da adubação de cobertura. A UGI apresentou nesse período volatilização menor que 45 kg ha⁻¹.

Os três primeiros dias após a adubação de cobertura foi, sem dúvida, o período crítico, pois sete dias após as perdas praticamente se igualaram e aos doze, dezenove e vinte e seis dias foram similares a perda apresentada pela testemunha, tanto para a aplicação superficial quanto para a aplicação incorporada. Khalil et al. (2006), verificaram que com o aumento do tamanho dos grânulos ocorreu a redução na volatilização de amônia sendo essas perdas concentradas nos três primeiros dias após a adubação.

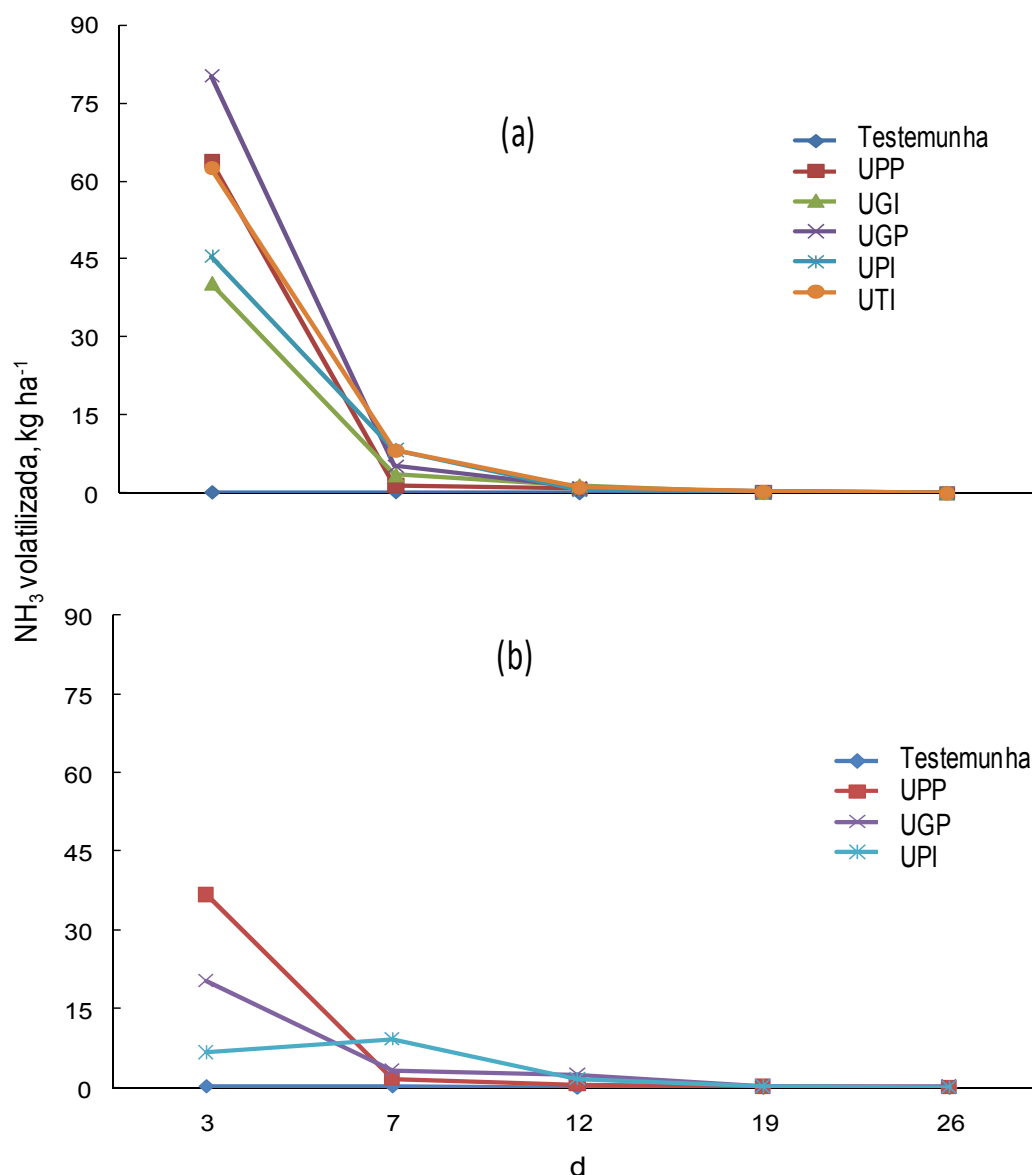


Figura 4. Amônia volatilizada em um cultivo de milho em plantio direto com adubação de cobertura com ureia perolada (UPP e UPI), ureia granulada (UGP e UGI) e ureia granulada especial (UTI) com aplicação superficial (a) e incorporado (b), de acordo com o tempo (dias) transcorrido desde a adubação.

Sem a adubação nitrogenada de cobertura e com a maior dose (160 kg ha^{-1}) alcançaram-se as produtividades de 6.466 e 7.276 kg ha^{-1} de grãos, respectivamente. A variação da produtividade de acordo com as doses de N, ajustou-se uma equação de regressão raiz quada (Figura 5a). Silva et al. (2005) e Gomes et al. (2007) obtiveram máxima produção de milho com as doses de 166 e 150 kg ha^{-1} de N, também em sistema plantio direto e utilizando

ureia na adubação de cobertura. As produtividades alcançadas naquelas condições experimentais foram 6.709 e 7.012 kg ha⁻¹, respectivamente, ressaltando, no entanto, que foram para uma população de 60.000 plantas por hectare.

O peso de grãos por espiga, que é um dos componentes da produtividade de milho, não foi significativamente alterado pelas doses de N (Figura 5d), alcançando-se o peso médio de 156 g por espiga. O número de grãos por espiga, alcançou maior número de grãos (615) com a dose de 40 kg ha⁻¹ de N, e uma queda foi observada com o aumento da dose, alcançando-se 569 grãos com 160 kg ha⁻¹ de N (Figura 5c). Isto implica que, houve um incremento no peso médio dos grãos, para justificar a pouca alteração no peso de grãos por espiga.

O nitrogênio absorvido variou entre 295 e 384 kg ha⁻¹ de N, sendo que a variação com as doses de N comportou-se de maneira similar a produtividade, ajustando-se, também, uma equação de regressão do tipo raiz quadrática (Figura 5b). Estes resultados sugerem que a absorção de nitrogênio foi um fator determinante da produtividade do milho.

A elevada absorção de N e, conseqüente, elevada produtividade do milho com baixa dose de N, poderia, em parte, ser explicada por um estímulo à mineralização do N orgânico do solo (efeito *priming*), embora, ele tenha, de acordo com Alvarez V. et al. (1999) um teor médio de matéria orgânica (29,7 g kg⁻¹). Assim, diante da resposta a N, considera-se que as condições experimentais foram favoráveis à comparação entre as formas de ureia e o manejo da adubação de cobertura.

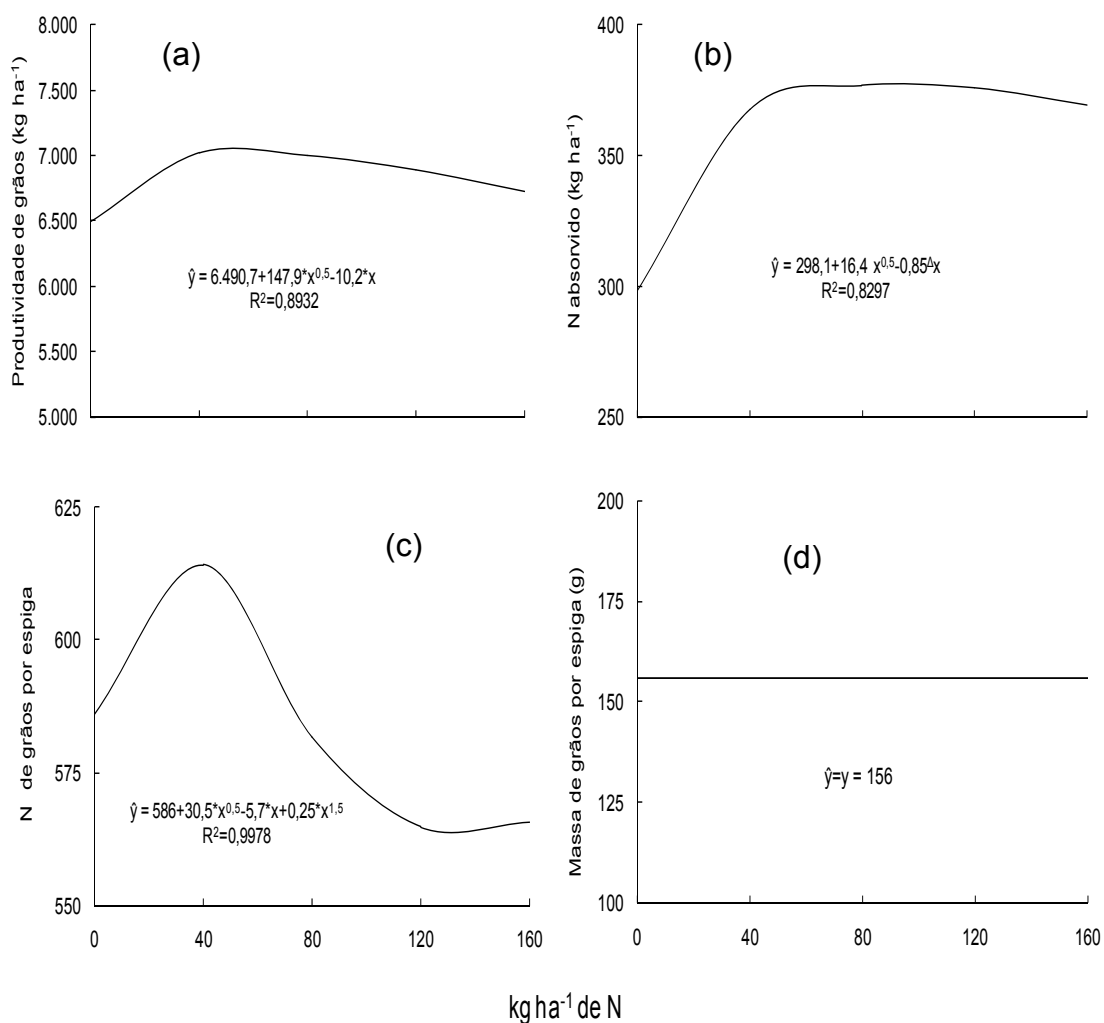


Figura 5. Produtividade de grãos (a), N absorvido (b), número (c), e peso de grãos por espiga (d) de milho cultivado em sistema plantio direto, de acordo com doses de N aplicado como ureia perolada PETROBRÁS na adubação de cobertura.

Para a comparação entre as formas de ureia consideraram-se os tratamentos em que ocorreu a adubação de cobertura com aplicação superficial de 120 kg ha⁻¹ de N, de modo superficial (S) no estágio F4 de desenvolvimento do milho. A menor produtividade (6.395 kg ha⁻¹) foi obtida com ureia granulada UGI, que foi próxima daquela sem a adubação de cobertura (6.426 kg ha⁻¹), e a maior (7.807 kg ha⁻¹) foi obtida com a ureia perolada UPI (Quadro 3), que, por sua vez, foi superior à produção máxima estimada (7.276 kg ha⁻¹), conforme detalhado anteriormente. De um modo geral, não houve alterações significativas no número e peso de grão por espiga (Quadro 3).

Independente das formas de ureia ocorreu pouca variação na quantidade de N absorvido (348 a 362 kg ha⁻¹) (Quadro 3). A recuperação aparente do N pelas plantas de milho, também não foi, de modo geral, influenciada pelas diferentes formas de ureia (Quadro 3).

Tanto as formas granuladas de ureia (UGP e UGI), como a forma pastilhada (UTI) não proporcionaram produtividade estatisticamente superior à obtida com a ureia perolada PETROBRAS (UPP) (Quadro 3, contrastes C1, C2 e C4). No entanto, é importante destacar que a produtividade com a UGP foi 1.014 kg ha⁻¹ maior do que àquela obtida com a UPP o que pode ser relevante sob o aspecto econômico. Entre as duas formas de ureia perolada (UPP e UPI) a UPI proporcionou produtividade significativamente superior, correspondendo a um acréscimo de 1.378 kg ha⁻¹ de grãos (Quadro 3, contraste C3).

Já, as produtividades obtidas com a UGP e UGI não diferiram estatisticamente (Quadro 3, contraste C5), embora a ureia produzida pela PETROBRAS tenha proporcionado 1.048 kg ha⁻¹ a mais na produtividade do milho. Esta maior produtividade resultou de aumentos significativos no número e peso de grãos por espiga (Quadro 3).

Na avaliação da época de aplicação da adubação de cobertura foram utilizadas as formas de ureia produzidas pela PETROBRAS (UPP e UGP) e a ureia granulada especial (UTI). As comparações foram realizadas com a adubação de cobertura no estágio F4, por ser a época usualmente recomendada para a cultura do milho. Assim, verifica-se que as produtividades, tanto com a adubação precoce (F2) como tardia (F6), não diferiram significativamente da produtividade obtida com a adubação no estágio F4 (Quadro 3, contrastes C6 a C11). Ressalta-se, no entanto, que as formas com maior granulação (UGP e UTI) proporcionaram maiores produtividades com a

adubação em F2 e menores quando a adubação ocorreu no estágio F6. Com a UGP a adubação tardia (F6) reduziu significativamente o peso de grãos por espiga, assim como diminuiu expressivamente o número de grão por espiga (Quadro 3, contraste C9). Pöttker & Wiethölter, (2004) e Gomes et al. (2007), não constataram diferenças significativa no rendimento de grãos de milho entre a aplicação de N antecipada e a adubação em cobertura. Contudo Silva et al. (2005) encontraram diferenças significativas, indicando que a aplicação da ureia na semeadura promove maior rendimento de grãos em relação a aplicação 15 ou 35 dias após a emergência das plantas. Os resultados encontrados na literatura são conflitantes e de modo geral a condição climática é citada como o fator que interfere sobremaneira na época de aplicação, principalmente a ocorrência de chuvas devido a lixiviação do nitrato proveniente da nitrificação do amônio da ureia.

Quadro 3. Produtividade de grãos, peso e número de grãos por espiga, nitrogênio absorvido (N abs) e recuperação aparente de N (N recup) pelas plantas de milho, de acordo com forma de uréia, a época e modo de aplicação da adubação de cobertura equivalente a 120 kg ha⁻¹

Ureia ¹	Adubação		Produtividade	Grãos		N abs	N recup
	Época ²	Modo ³					
			kg ha ⁻¹	g/esp	Nº/esp	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹
UPP	F2	S	6.501	166,2	592	354,7	494,2
	F4	S	6.430	156,2	574	352,2	473,4
	F6	S	7.198	158,8	590	363,0	563,7
	F4	I	6.824	161,8	602	363,9	571,1
UPI	F4	S	7.807	156,5	555	361,6	551,8
	F4	I	7.544	165,8	591	382,8	728,5
UGP	F2	S	7.831	161,1	606	345,5	417,4
	F4	S	7.443	175,1	589	348,4	442,1
	F6	S	6.915	142,1	537	379,9	704,3
	F4	I	7.372	147,8	547	343,6	401,4
UGI	F4	S	6.395	145,7	532	353,6	485,3
	F4	I	7.494	171,9	575	384,3	740,9
UTI	F2	S	7.163	154,0	611	353,0	479,8
	F4	S	6.464	155,8	589	356,1	505,4
	F6	S	6.925	150,1	554	313,5	150,6
	F4	I	7.424	158,5	541	358,5	526,0
Testemunha			6.478	156,12	586	295,4	-
CV (%)			11,0	8,0	7,0	13,6	69,5
Comparação entre ureia							
C1 = - UPP vs UGI			-34,68 ns	-10,58 ns	-41,25 ns	1,91 ns	1,59 ns
C2 = - UPP vs UGP			1.013,67 ns	18,80 °	15,25 ns	-5,01 ns	-4,17 ns
C3 = - UPP vs UPI			1.377,56 *	0,27 ns	-18,51 ns	12,55 ns	10,46 ns
C4 = - UPP vs UTI			34,41 ns	-0,48 ns	15,44 ns	5,12 ns	4,27 ns
C5 = - UGP vs UGI			-1.048,35 ns	-29,39 **	-56,52 °	6,92 ns	5,77 ns
Comparação entre épocas de aplicação							
C6 = - UPP F4 vs UPP F2			71,29 ns	9,96 ns	18,11 ns	3,32 ns	2,77 ns
C7 = - UPP F4 vs UPP F6			768,78 ns	2,58 ns	16,70 ns	14,44 ns	12,03 ns
C8 = - UGP F4 vs UGP F2			387,54 ns	-13,91 ns	16,92 ns	-3,94 ns	-3,28 ns
C9 = - UGP F4 vs UGP F6			-528,22 ns	-32,95 **	-51,77 ns	41,96 ns	34,96 ns
C10 = - UTI F4 vs UTI F2			698,61 ns	-1,78 ns	22,29 ns	-4,10 ns	-3,42 ns
C11 = - UTI F4 vs UTI F6			460,91 ns	-5,61 ns	-35,03 ns	-56,77 ns	-47,30 ns
Comparação entre modos de aplicação							
C12 = - UPP S vs UPP I			394,27 ns	5,51 ns	28,48 ns	15,63 ns	13,02 ns
C13 = - UGI S vs UGI I			1.099,51 °	26,25 *	42,51 ns	40,89 ns	34,07 ns
C14 = - UGP S vs UGP I			-71,14 ns	-27,23 *	-41,62 ns	-6,50 ns	-5,42 ns
C15 = - UPI S vs UPI I			-263,28 ns	9,25 ns	36,03 ns	28,26 ns	23,55 ns
C16 = - UTI S vs UTI I			960,45 ns	2,78 ns	-48,51 ns	3,28 ns	2,73 ns

¹ Ureia perolada (UPP e UPI), ureia granulada (UGP e UGI) e granulada especial (UTI).

² Adubação quando as plantas atingiram duas (F2), quatro (F4) e seis (F6) folhas expandidas

³ Aplicação superficial (S) e incorporada (I) ao lado da linha de plantio.

ns, **, * e ° não significativo e significativo a 1 %, 5 % e 10 % de probabilidade, respectivamente.

Para avaliar o efeito da incorporação ou não da ureia, a adubação de cobertura foi realizada no estágio F4 de desenvolvimento das plantas de milho. Apenas para a UGI a incorporação proporcionou aumento significativo ($p < 0,1$) na produtividade do milho (Quadro 3, contraste C13). Embora não significativo, tendeu um maior número de grãos por espiga, mas a massa de grãos por espiga foi significativamente maior. Nesta condição a produtividade foi de 7.494 kg ha^{-1} enquanto que, com a aplicação superficial esta foi de 6.395 kg ha^{-1} . Para as demais formas de ureia a incorporação não causou alterações significativas na produção (Quadro 3, contrastes 12, 14, 15 e 16), embora constata-se que a incorporação tenha proporcionado maiores produtividades com a UPP e UTI. De modo geral, a incorporação das diferentes formas de ureia não resultou em aumentos significativos tanto no N absorvido, assim como na recuperação aparente do N, que variou de 401 a 570 g kg^{-1} de N. Embora não tenha sido significativo, observou-se maior recuperação aparente do N com a incorporação da ureia granulada importada (Quadro 3, contraste 13). Silva et al. (2005) encontraram diferença significativa entre a aplicação superficial e incorporada, independente da época de aplicação da ureia. O maior rendimento de grãos de milho foi obtido quando a ureia foi incorporada ao solo e atribuem tal resultado a alta precipitação na época de aplicação da ureia com lixiviação do N aplicado reduzindo as perdas de N por volatilização.

CONCLUSÕES

- Na aplicação superficial as formas granuladas de ureia (UGP, UGI e UTI) apresentam volatilização de NH_3 igual a da ureia perolada PETROBRAS (UPP)
- A volatilização de NH_3 com a aplicação superficial da ureia granulada PETROBRAS (UGP) é maior do que a observada com a aplicação da UGI.
- A incorporação da ureia granulada e perolada ao solo propicia menor volatilização de NH_3 do que a aplicação superficial.
- A ureia perolada UPI condiciona maior produtividade de milho do que a ureia perolada PETROBRAS (UPP).
- As formas granuladas de ureia (UGP, UPI e UTI) condicionam produtividade de milho igual a obtida com a ureia perolada PETROBRAS.
- A adubação de cobertura com ureia, das plantas com duas ou com quatro folhas abertas propicia igual produtividade de milho.
- A adubação de cobertura com aplicação superficial ou incorporada da ureia propicia igual produtividade de milho.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359p.
- BASSO, C.J. & CERETA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:905-915, 2000.
- BERTOLINI, E.V.; GAMERO, C.A.; SALATA, A da C. & PIFFER, C.R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 32:2355-2366, 2008.
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R. & SMITH, N.N. Effect of urea granule size on ammonia volatilization from surface-applied urea. Fert. Res. 11:87-96, 1987.

CANTARELLA, H. & MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, Piracicaba, 2007. Anais. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute, 2007. v.1. p.2-19.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375 – 470.

CANTARELLA, H.; MATTOS JR. D.; QUAGGIO, J.A. & RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 67:215-223, 2003.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C. & CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. R. Bras. Ci. Solo, 27:631-637, 2003.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Elementos Requeridos à nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91 – 132.

DITTERT, K.; LAMPE, C.; GASCH, R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; WACHERSDORF, M.; PAPEN, H.; SATTERMACHER, B. & TAUBE, F. Short-term effects of single or combined application of mineral N fertilizer

and cattle slurry on the fluxes of radiatively active trace gases from grassland soil. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 1665-1674, 2005.

FACRE, W.R. Três formas de fertilizantes nitrogenados no futuro – Uréia. International Plant Nutrition Institute – Brasil. 2007. (Informações Agronômicas, 120).

FAN, M.X. & MACKENZIE, A.F. Urea and phosphate interactions in fertilizer microsites: Ammonia volatilization and pH changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:839-845, 1993.

GOMES, R.F.; SILVA, A.L. da; ASSIS, R.L. de & PIRES, F.R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:931-938, 2007.

KEMMITT, S.J.; WRIGHT, D. & JONES, D. L. Soil acidification used as a management strategy to reduce nitrate losses from agricultural land. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 867-875, 2005.

KHALIL, M.I.; SCHMIDHALTER, U. & GUTSER, R. N₂O, NH₃ and NO_x emissions as a function of urea granule size and soil type under aerobic conditions. *Water, air and Soil Pollution*, 175:127-148, 2006

LAGREID, M.; BOCKMAN, O.C. & KAARSTAD, O. Agriculture fertilizers and the environment. Wallingford, CABI Publishing, 1999. 294p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. & BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:409-413, 1992.

- LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. R. Bras. Ci. Solo, 21:481-487, 1997.
- LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.R. & DAHER, E. Fertilizantes Nitrogenados no Brasil: Um problema de escassez. International Plant Nutrition Institute – Brasil. 2007. (Informações Agronômicas, 120).
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta>. Acesso em: 26 ago. 2008.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do solo. 2.ed. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- OVERREIN, L.N. & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31:56-61, 1967.
- PÖTTKER, D. & WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. Ci. Rural, 34:1015-1020, 2006.
- RANA, G. & MASTRORILLI, M. Ammonia emissions from fields treated with green manure in a Mediterranean climate. Agricultural and Forest Meteorology, 90:265-274, 1998.
- RAUN, W.R. & JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J., 91:357-363, 1999.

- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrato afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ci. Rural*, 33: 65-70, 2003.
- SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E. & SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:353-362, 2005.
- SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. & GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:725-733, 2005.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., *Fertilidade do Solo*. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275 – 374.
- SUTTON, M.A. & FOWLER, D. Introduction: fluxes and impacts of atmospheric ammonia on national, landscape and farm scales. *Environ. Pollut.* 119:7-8, 2002.
- SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.F.; HARTEL, P.G. & ZUBERER, D.A. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. 2.ed. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 1999. 660p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Porto Alegre – RS, Artemed editora S.A., 2004. 719p.

- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris International Fertilizer Industry Association, 1997. 151p.
- VITTI, A.C. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2002. 114p. (Tese de Doutorado)
- WANG, Q.; ZHIWEI, H. & HIGANO, Y. An inventory of nitric oxide emissions from soils in China. Environ. Pollut., 135: 83-90, 2005.

CAPÍTULO 2

RESUMO

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Volatilização de amônia e recuperação de nitrogênio pelo milho da ureia perolada, granulada e pastilhada revestidas com ácidos húmicos.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Roberto Ferreira de Novais.

O N é um dos nutrientes requerido em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o seu crescimento. Na maioria dos solos o N é encontrado em quantidades que seria suficiente para atender a demanda das culturas, porém 96 a 98 % deste está em forma orgânica do solo, com diferentes graus de recalcitrância. Devido a falta de previsibilidade para a disponibilidade de N para as plantas, faz-se necessário a fertilização nitrogenada. Dentre as principais fontes de N usadas está a ureia. Apesar da frequente utilização, a ureia favorece a perda de N devido a volatilização de NH_3 . Com o intuito de minimizar as perdas de N, diversos estudos têm sido conduzidos avaliando-se técnicas de manejo da adubação e alternativas industriais. A mistura da ureia com produtos com elevada capacidade de troca catiônica favorece a adsorção do NH_4^+ e redução da volatilização de NH_3 . A partir dessa ideia surgiu o interesse de utilizar ácidos húmicos devido à elevada CTC, o caráter ácido, o

elevado poder tampão e o baixo custo de obtenção. Este trabalho teve por objetivo avaliar a perda de N por volatilização de amônia e o suprimento de N por uréia para plantas de milho na forma perolada e granulada revestida com ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão de eucalipto. Avaliou-se a ureia perolada e granulada produzida pela PETROBRAS e a ureia granulada especial (UTI) sem revestimento ou revestidas com 200, 120 e 80 g kg⁻¹, respectivamente, de ácidos húmicos e aplicadas na superfície do solo ou incorporada a 3 cm de profundidade resultando num fatorial (3 x 2 x 2) + 1, que corresponde ao tratamento sem adubação de cobertura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando o milho em vasos com 5 dm³ de um Latossolo Vermelho-Amarelo no delineamento blocos casualizados com 4 repetições. Os ácidos húmicos foram sintetizados a partir de carvão de eucalipto obtido com temperatura final de carbonização de 350 °C. As variáveis analisadas foram: massa de matéria seca, quantidade de N absorvido e acumulado, volatilização de NH₃, teor de NO₃⁻ e NH₄⁺ no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos do revestimento com os ácidos húmicos para cada ureia e os efeitos do modo de aplicação para cada ureia com ou sem revestimento foram comparados por meio do teste de F (p < 0,05). Os efeitos médios das formas de ureia foram comparados com o tratamento sem fertilização de cobertura (tratamento adicional) por meio de contrastes ortogonais (p < 0,05). As características dos ácidos húmicos foram semelhantes as que são encontradas na literatura, indicando que está metodologia é viável para sua produção. A volatilização de NH₃ e a massa de matéria seca das plantas não foram afetadas pelo uso dos ácidos húmicos como revestimento para as formas de ureia, porem, para o N absorvido e a recuperação aparente

de N verificou-se um efeito positivo indicando que o recobrimento da UPP quando aplicada superficialmente é vantajoso.

ABSTRACT

SOUZA FILHO, Luiz Francisco da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2010. **Ammonia volatilization and nitrogen recovery by maize from pearled, granulated, prilled and humic acid-coated urea.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Advisors: Ivo Ribeiro da Silva and Roberto Ferreira de Novais.

Nitrogen is one of the most required nutrients by plants and also what most limits their growth. In most soils N is found in amounts that would be enough to meet crop requirements, but 96-98 % of this is in soil organic matter, with varying degrees of recalcitrance. Due to the lack of predictability of the nitrogen's availability for plants, the nitrogen fertilization is necessary. Among the main sources of N used, is urea. Despite its frequent use, urea favors the N loss due to the volatilization of NH_3 . Aiming to minimize losses of N, several studies have been conducted evaluating fertilizer management techniques and industrial alternatives. The mixture of urea and products with high cationic exchange capacity favors the adsorption of NH_4^+ and reduces the volatilization of NH_3 . From that idea, the interest of using humic acids emerged because of the high CEC, the acidic and high buffering capacity in addition the low cost of obtaining. This work aimed to evaluate the N loss by ammonia volatilization and the N supply to corn plants by urea in its pearled and granulated form,

coated with humic acids synthesized from eucalyptus charcoal. We evaluated the pearled (UPP) and granulated (UPG) urea produced by PETROBRAS and the special granulated urea (UTI), uncoated or coated with 200, 120 and 80 g kg⁻¹ of humic acid, respectively, applied onto the soil surface or incorporated to 3 cm depth resulting in a factorial (3 x 2 x 2) + 1, which corresponds to the treatment without topdressing. The experiment was conducted in a greenhouse using corn in pots with 5 dm³ of an Oxisol in a completely randomized design with four replications. The humic acids were synthesized from eucalyptus charcoal obtained with final carbonization temperature of 350 °C. The variables analyzed were: dry matter, amount of absorbed and accumulated N, NH₃ volatilization, content of NO₃⁻ and NH₄⁺ in the soil. Data were subjected to analysis of variance. The effects of coating with humic acids for each urea and the effects of the application form for each urea with or without coating were compared using the F test (p <0.05). The mean effects of the forms of urea were compared with the treatment without fertilization of coverage (additional treatment) by means of orthogonal contrasts (p <0.05). The characteristics of humic acids were similar to those found in the literature, indicating that the methodology is feasible for production. The volatilization of NH₃ and dry weight of plants were not affected by the use of humic acids as a coating for the forms of urea, however, for N uptake and apparent recovery of N there was a positive effect indicating that the coating of the UPP is advantageous when applied superficially.

INTRODUÇÃO

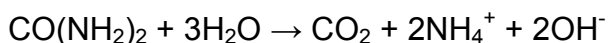
O N é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o seu crescimento (Souza & Fernandes, 2006). Para um bom crescimento, considera-se que os teores devam ficar entre 20 a 50 g kg⁻¹ de N na matéria seca (Dechen & Nachtigall, 2007).

Na maioria dos solos o N é encontrado em quantidades que seria suficiente para atender a demanda das culturas, porém, 96 a 98 % deste está em forma orgânica com diferentes graus de recalcitrância (Sylvia et al., 1999; Taiz & Zeiger, 2004; Moreira & Siqueira, 2006; Silva & Mendonça, 2007). Por isso a disponibilidade de N no solo é controlada principalmente pelos processos complexos de imobilização e de mineralização que ocorrem durante a decomposição de resíduos orgânicos e da matéria orgânica do solo (Aita & Giacomini, 2007).

Devido a falta de previsibilidade para a disponibilidade de N para as plantas, faz-se necessário a fertilização nitrogenada, quase que de forma generalizada e com doses definidas de forma imprecisa. Dentre as principais fontes de N está a ureia. Sua participação na matriz mundial de fertilizantes nitrogenados no ano de 2006 chegou a 52 % com previsão de alcançar 55 %

no ano de 2011. No Brasil no ano de 2006 o consumo desse fertilizante alcançou 52 % do total de fertilizantes nitrogenados (Franco & Saraiva Neto, 2007)

A despeito da intensa utilização, a ureia favorece a perda de N devido a volatilização de NH_3 . No solo ela esta sujeita à hidrólise, que é catalisada pela urease, e representada pela reação:



Vê-se pela reação que ocorre a produção de OH^- , provocando a elevação do pH em torno dos grânulos, o qual pode chegar a 8,8 poucos dias após a adubação (Overrein & Moe, 1967). Essa elevação do pH implica na dissociação do NH_4^+ em NH_3 que se volatiliza. Relatos na literatura indicam perdas de até 78 % do N aplicado em adubações de cobertura (Lara Cabezas et al., 1997; Cantarella et al., 2003).

Com o intuito de minimizar as perdas de N, diversos estudos têm sido conduzidos avaliando-se técnicas de manejo da adubação e alternativas industriais. Dentre as técnicas destaca-se a incorporação da ureia no solo. Industrialmente tem-se utilizado a adição de produtos acidificantes, a ureia de liberação lenta e estabilizada, a mistura com fertilizantes nitrogenados de reação ácida ou neutra e a mistura com materiais de elevada CTC. Estas alternativas, em diferente grau, elevam o custo do fertilizante ou da fertilização e tem maior ou menor impacto ambiental.

A mistura da ureia com produtos com capacidade de troca catiônica favorece a adsorção do NH_4^+ , o que reduz a volatilização de NH_3 . Este efeito tem sido verificado com zeólitas, que são alumino - silicatos com estrutura cristalina tetraédrica contendo cavidades e com CTC de até $120 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (He et al., 2002; Monte & Resende, 2005; Ahmed et al., 2006). O grande impacto

ambiental causado pela extração de zeolitas naturais e o elevado custo da zeólita sintética limitam o seu uso.

De acordo com Ahmed et al. (2006) a utilização de materiais que reduzam o pH no micrositio criado ao redor do grânulo da ureia no solo é potencialmente promissor com o uso de produtos acidificantes. A partir dessa idéia surgiu o interesse de utilizar ácidos húmicos devido à elevada CTC, o caráter ácido, o elevado poder tampão e o baixo custo de obtenção (Weil & Magdoff, 2004; Silva & Mendonça, 2007; Yusuff et al., 2009).

Yusuff et al. (2009) verificaram que a utilização de ácidos húmicos e solos tiomórficos junto com a ureia diminuiu significativamente a volatilização de amônia, em relação a aplicação apenas da ureia. Além de diminuir significativamente a perda total de N, os ácidos húmicos reduzem sensivelmente as perdas diárias, evitando dessa forma um pico de perda nos primeiros dias, que acontece, naturalmente, com a aplicação da ureia sem aditivos (Ahmed et al., 2006).

Além de desfavorecer a volatilização de NH_3 , a adição de ácidos húmicos colabora para a manutenção do NH_4^+ no solo devido a sua elevada CTC. Assim, Yusuff et al. (2009) verificaram acréscimo significativo do teor de NH_4^+ trocável no solo, corroborando os dados apresentados por Ahmed et al. (2006). Adicionalmente é ressaltada também na literatura a significativa retenção de outros cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ pelos ácidos húmicos (Ahmed et al., 2006).

Com este mesmo propósito Paiva (2009) verificou que o revestimento da ureia perolada com ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão de eucalipto retardou o início e o pico de máxima volatilização da NH_3 , assim como reduziu a volatilização total. Não foi constatado inibição na atividade da urease, sendo

tal efeito atribuído à elevada CTC dos ácidos húmicos ($440 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). A relevância deste resultado é a perspectiva de uso de uma fonte renovável de C para a produção de ácidos húmicos. Em decorrência desses resultados este trabalho teve por objetivo avaliar a perda de N por volatilização de amônia e o suprimento de N por ureia na forma perolada e granulada revestida com ácidos húmicos sintetizados a partir de carvão de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, utilizando a camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4,6 (1:2,5), 2,0 e 32 mg dm^{-3} de P e K (Mehlich 1), 0,33 e 0,12 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e Mg^{2+} (KCl 1 mol L^{-1}), 1,82 e 12,63 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} e H+Al (acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} pH 7,0), 61,6 g kg^{-1} de matéria orgânica (Walkley-Black) e 12,1 mg L^{-1} de P remanescente.

Avaliou-se a ureia na forma perolada (UPP – 443 g kg^{-1} de N) e granulada (UGP – 449 g kg^{-1} de N), ambas produzidas pela PETROBRAS e a ureia granulada especial (UTI – 451 g kg^{-1} de N), sem e com revestimento com ácidos húmicos e a aplicação superficial ou incorporada no solo a 3 cm de profundidade. As formas de ureia UPP, UGP e UTI foram revestidas com 200, 120 e 80 g kg^{-1} de ácidos húmicos, respectivamente. Assim, os tratamentos corresponderam à combinação destes fatores e mais um tratamento adicional, sem adubação nitrogenada de cobertura, resultando no fatorial $(2 \times 2 \times 3) + 1$. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram vasos plásticos com 5 dm^3 de solo cultivados com duas plantas de milho.

Os ácidos húmicos foram sintetizados a partir de carvão de eucalipto obtido com temperatura final de carbonização de 350 °C, de acordo com Trompowsky (2005) e com alterações proposta por Paiva (2009).

O solo foi seco à sombra e passado em peneira com malha de 4 mm. Aplicou-se uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 na proporção molar de 4:1, em dose suficiente para neutralizar o Al^{3+} e elevar o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ a $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Após a aplicação desse corretivo elevou-se o teor de água do solo para 80 % da sua capacidade de campo. Os vasos foram mantidos na casa de vegetação por 30 dias, monitorando-se a umidade do solo por meio da variação de peso. A umidade foi mantida por meio de irrigações com água deionizada. Ao final deste período o solo de cada vaso foi seco e passado por peneira de 4 mm. Aplicou-se ao solo de cada vaso uma adubação com 300, 150, 40, 0,81, 1,33, 1,55, 3,66, 0,15 e 4,00 mg dm^{-3} de P, K, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, respectivamente. A adubação foi aplicada via solução nutritiva, homogeneizada com todo o volume do solo de cada vaso.

Em cada vaso foram plantadas cinco sementes de milho do híbrido DKB 390 YG. Após a emergência das plântulas foi feito o desbaste mantendo-se duas plantas por vaso, quando aplicou-se 50 mg dm^{-3} de N utilizando solução de NH_4NO_3 .

Na adubação de cobertura foram aplicados 1.000 mg de N por vaso na forma de ureia, de acordo com os respectivos tratamentos. Esta adubação ocorreu quando as plantas atingiram três folhas totalmente expandidas. Os grânulos da ureia foram distribuídos uniformemente em torno das plantas em um círculo com 5 cm de raio.

Em cada vaso foram instalados três coletores de NH_3 na linha de aplicação da ureia, sendo constituídos por cilindros de PVC com 20 cm de

comprimento e 5 cm de diâmetro. Ao ser instalado, a base do tubo foi introduzida 2 cm no solo. A unidade coletora de NH_3 foi um disco de espuma de nylon com 5,1 cm de diâmetro embebido com solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} e glicerina 30 mL L^{-1} , instalado dentro do cilindro de PVC, 5 cm acima do solo. A um e a 5 cm abaixo da extremidade superior do cilindro foram instalados discos de espuma, também embebidos com a mesma solução de H_2SO_4 para evitar a contaminação com NH_3 da atmosfera externa ao coletor. Os coletores de NH_3 foram instalados imediatamente após adubação de cobertura. A unidade coletora de NH_3 foi instalada em um dos coletores, que foi retirada 72 h após. Neste momento instalou-se a unidade coletora no segundo coletor que foi retirada 96 h depois. Por ultimo instalou-se a unidade coletora no terceiro coletor, que foi retirada 168 h após. Assim, foram realizadas medidas da volatilização à 72, 168 e 336 h desde a adubação. Os discos de espuma retirados foram acondicionados em sacolas plásticas e mantidos em geladeira até a extração e dosagem da NH_3 capturada.

Para determinar a NH_3 capturada os discos de espumas foram lavadas com 40 mL de KCl 0,5 mol L^{-1} , seguida de duas lavagens com 20 mL com água destilada. Todo esse volume foi transferido para tubos de destilação juntamente com a espuma cortada em pequenos pedaços. Procedeu-se a destilação Kjeldahl utilizando solução de NaOH 400 g L^{-1} como alcalinizante, coletando-se a NH_3 evoluída em solução indicadora mista com ácido bórico e o N amoniacal foi determinado por meio da titulação colorimétrica (Tedesco, 1995).

No momento da remoção das unidades coletoras de NH_3 na projeção dos coletores foram coletadas amostras de solo nos 6 cm superficiais, utilizando-se sonda com 5 cm de diâmetro. Imediatamente após a coleta, as

amostras foram congeladas em ultrafreezer a -85 °C até a extração e dosagem dos teores de NO_3^- e NH_4^+ . Para extração foram transferidos 5 g de solo para recipientes com 50 mL de KCl 1 mol L⁻¹. Os recipientes foram agitados por 30 min e o extrato foi obtido por decantação. Os teores de NO_3^- e NH_4^+ foram determinados em uma alíquota de 20 mL do extrato por meio de duas destilações sequenciadas de acordo com Tedesco (1995). Na primeira destilação com a adição da solução de NaOH 400 g L⁻¹ capturou-se o N- NH_4^+ na solução indicadora mista de ácido bórico. Na segunda destilação adicionou-se liga de Devarda para redução do nitrato a amônio e quantificou-se, então, o N- NO_3^- . Em ambas a determinação do N foi por titulação colorimétrica (Tedesco, 1995).

Aos 30 dias após a adubação de cobertura as plantas de milho foram cortadas rente ao solo e separadas em folha e colmo. O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por 72 h. Foi tomado o peso do material vegetal seco e procedeu-se a sua trituração (< 1 mm). Foi determinado o teor de N total pelo método da destilação Kjeldahl de acordo com Tedesco (1995). Com base nos teores de N e a quantidade de matéria seca produzida estimou-se o N acumulado e com a soma destes o N absorvido e acumulado pela planta. Foi estabelecida a recuperação aparente do N por meio da fórmula:

$$\text{RAN} = ((\text{NAB}_t - \text{NAB}_0)/\text{NF}), \text{ em que:}$$

NAB_t = N absorvido em um determinado tratamento com adubação nitrogenada de cobertura,

NAB_0 = N absorvido no tratamento sem adubação nitrogenada de cobertura,

NF = dose de N aplicada na adubação de cobertura.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos do revestimento com os ácidos húmicos para cada tipo de ureia e os efeitos da forma de aplicação para cada ureia com ou sem revestimento foram comparados por meio do teste de F ($p < 0,05$). Os efeitos médios das formas de ureia foram comparados com o tratamento sem fertilização de cobertura (tratamento adicional) por meio de contrastes ortogonais ($p < 0,01$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção e caracterização dos ácidos húmicos

O rendimento de carvão obtido da madeira de eucalipto na temperatura de carbonização de 350 °C foi de 415 g kg⁻¹, que resultou em 127 g kg⁻¹ de ácidos húmicos. Esse rendimento foi inferior aos 272 g kg⁻¹ obtidos por Paiva (2009). O menor rendimento alcançado pode ser atribuído à perda durante o processo de lavagens com água deionizada, proposto por Kasim et al. (2008), Dong et al. (2009) e Paiva (2009), como alternativa à diálise para purificação dos ácidos húmicos. A perda de ácidos húmicos ocorreu devido a solubilização com o aumento do pH e foi visualmente percebida pela coloração escura da água após a centrifugação. Tentou-se utilizar a lavagem, pois o processo de diálise é moroso e também de difícil aplicabilidade na produção de grandes quantidades de ácidos húmicos. Diante desta constatação, parte dos ácidos húmicos foi obtida por lavagem e parte por diálise. A composição elementar e características químicas dos ácidos húmicos são apresentadas no quadro 1. O teor de carbono dos ácidos húmicos foi 523,9 g kg⁻¹. Esse teor foi menor do que o encontrado por Paiva (2009) (629 g kg⁻¹), para ácidos húmicos produzidos de carvão de eucalipto. No entanto, foi próximo aos teores encontrados para ácidos húmicos de solo (530 a 587 g kg⁻¹) apresentados por

Canellas et al. (2008) e de solos ricos em C pirogênico (570 a 630 g kg⁻¹) obtidos por Benites et al. (2005). Yusuff et al. (2009) & Rosliza et al. (2009) também encontraram teores em torno de 555 g kg⁻¹ de C em ácidos húmicos obtidos de solos turfosos. Maior teor de C resulta em estruturas moleculares aromáticas policondensadas que influenciam a estabilidade do material e, em razão de alterações químicas e biológicas têm elevada reatividade devido aos grupos carboxílicos (Dick et al., 2009).

Quadro 1. Características químicas do ácidos húmicos obtidos de carvão de eucalipto na temperatura final de carbonização de 350 °C

Características	Ácido húmico
C (g kg ⁻¹) ¹	523,9
H (g kg ⁻¹) ¹	33,5
N (g kg ⁻¹) ¹	27,2
O (g kg ⁻¹) ¹	415,4
C:N (molar)	22,50
O:C (molar)	0,59
H:C (molar)	0,77
pH (água)	2,45
Abs 465 nm	1,154
Abs 665 nm	0,226
E4/E6 (465 nm/665 nm)	5,106
Grupos Carboxílicos (mol _c kg ⁻¹)	7,85
Grupos Fenólicos (mol _c kg ⁻¹)	2,17
CTC Total (mol _c kg ⁻¹) ²	10,02

¹base seca sem cinzas, ²acidez total.

O teor de H 33,5 g kg⁻¹ ficou abaixo do encontrado por Paiva (2009) (36,9 g kg⁻¹) para ácidos húmicos de carvão de eucalipto. Pimenta et al. (2009) encontraram 44,1 g kg⁻¹ e 24 g kg⁻¹ de N para ácidos húmicos de carvão de pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) e de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), ambos obtidos com a temperatura final de carbonização de 350 °C.

O teor de N ($27,2 \text{ g kg}^{-1}$) ficou abaixo dos valores encontrados por Paiva (2009) ($31,4 \text{ g kg}^{-1}$) e Pimenta et al. (2009) ($42,7$ e $44,6 \text{ g kg}^{-1}$). O teor de oxigênio ($415,4 \text{ g kg}^{-1}$) foi superior aos teores encontrados por Pimenta et al. (2009) (320 e $292,7 \text{ g kg}^{-1}$) e por Paiva (2009) (302 g kg^{-1}).

A aromaticidade de moléculas orgânicas é caracterizada pela relação H/C, tomando-se como referência o benzeno (C_6H_6), cuja razão é igual a um. Assim, a relação 0,77 indica a predominância de grupos aromáticos condensados nos ácidos húmicos obtidos. A mesma predominância foi constatada por Paiva (2009) para carvão de eucalipto e Pimenta et al. (2009) com carvão de espécies arbóreas do semi-árido brasileiro.

A relação de absorvâncias E4/E6 de 5,1 apresentada pelos ácidos húmicos está dentro da faixa apresentada na literatura para ácidos húmicos de solo (4,7 a 7,0) (Chen et al., 1977; Benites, 2002; Cereta et al., 2008). No entanto, foi superior ao 2,3 obtidos por Paiva (2009) mas inferior ao 9,1 e 6,8 constatados por Pimenta et al. (2009). Essa relação caracteriza a estabilidade do material, sendo que, quanto menor a relação maior é o grau de humificação e maior a estabilidade. Comparando com o valor encontrado por Paiva (2009) os ácidos húmicos utilizados no presente estudo foram menos estáveis.

Vale ressaltar que os ácidos húmicos utilizados apresentaram maior CTC ($10 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$) do que os encontrados por Paiva (2009) ($4,4 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Volatilização de NH_3 e suprimento de N pela ureia

Observa-se que a maior volatilização de NH_3 ocorreu nas primeiras 72 h após a aplicação da ureia e que esta foi, de modo geral, menor na aplicação incorporada (Figuras 1, 2 e 3). Para a UPP a volatilização reduziu

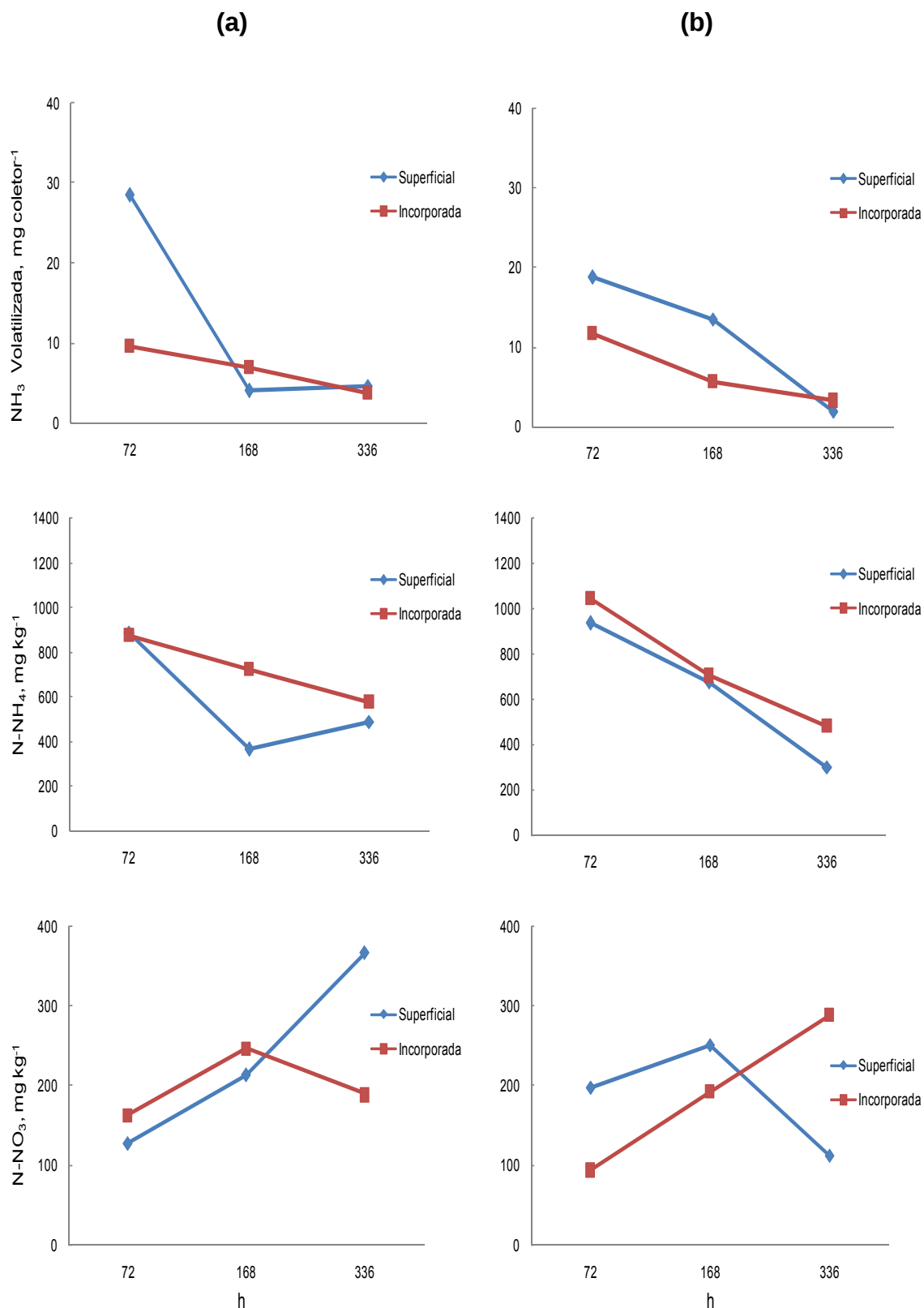


Figura 1. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e de nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia perolada PETROBRAS sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.

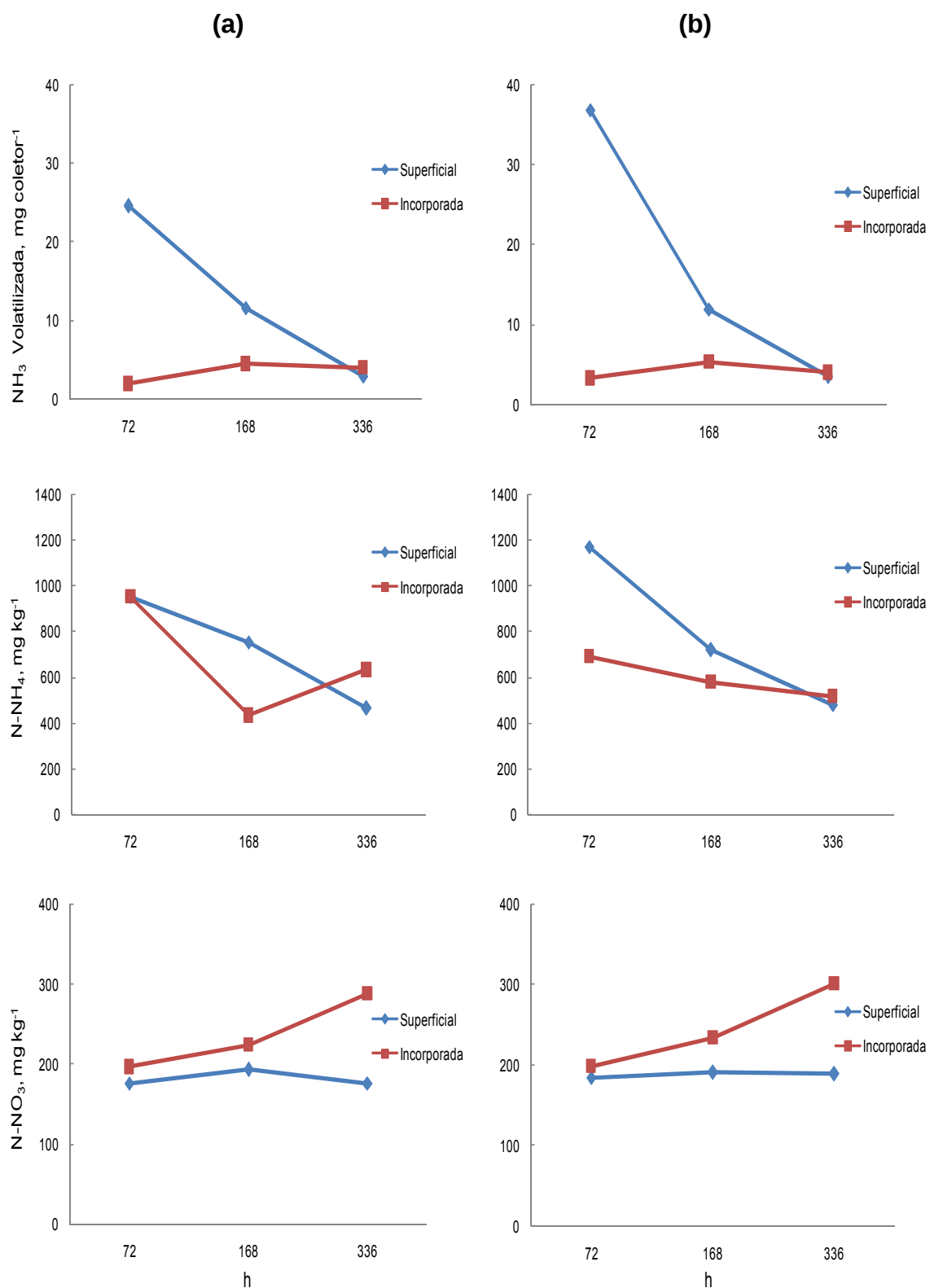


Figura 2. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e de nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia granulada PETROBRAS sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.

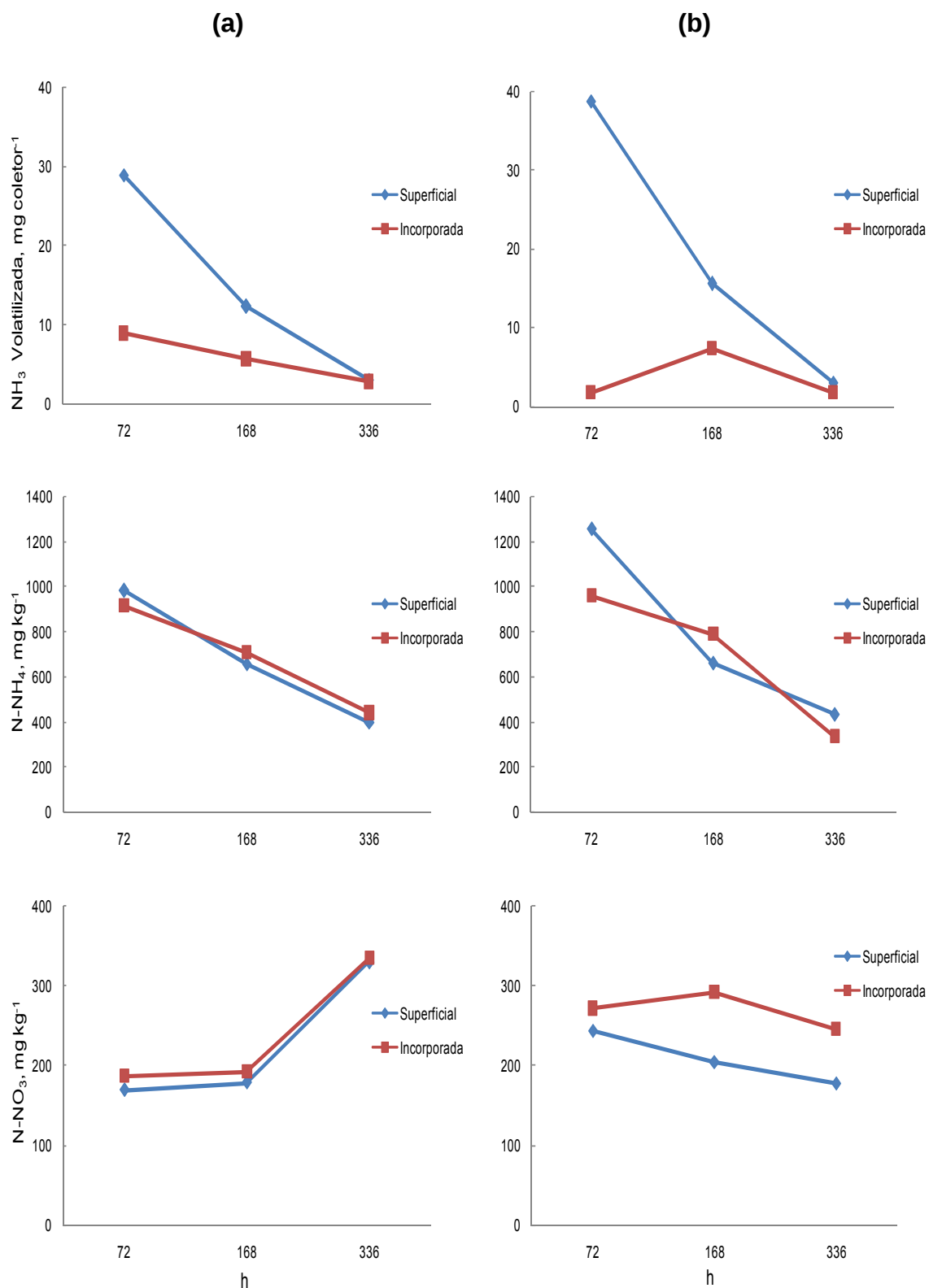


Figura 3. Amônia Volatilizada, teores de amônio (N-NH_4) e de nitrato (N-NO_3) no solo de acordo com aplicação superficial ou incorporada da ureia granulada especial sem (a) e com (b) revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto de acordo com o tempo desde a aplicação.

drasticamente até as 168 h e estabilizou-se a partir daí, enquanto que para a UGP e UTI a volatilização reduziu de forma contínua até as 336 h. O revestimento com ácidos húmicos alterou a tendência de evolução da volatilização apenas para a UPP (Figura 1). A quantidade total de NH_3 volatilizada até 336 h depois da adubação não foi, em geral, significativamente alterada pelo revestimento da ureia com ácidos húmicos (Quadro 2). Verifica-se, no entanto, a tendência de maior volatilização com a UGP e UTI revestidas com ácidos húmicos, na aplicação superficial. Com menor superfície específica, devido ao maior tamanho dos grânulos, proporcionalmente, menor quantidade de ácidos húmicos foi aderida aos grãos. Assim, as primeiras frações de NH_3 produzidas foram suficientes para neutralizar o potencial de ação dos ácidos húmicos. Independente da forma de ureia, com ou sem revestimento com ácidos húmicos o total de NH_3 volatilizado foi significativamente menor com a incorporação da ureia (Quadro 2). Para a UPP esta redução foi de 42 %, no entanto para a UGP e UTI foi da ordem de 70 %.

Quadro 2. Amônia volatilizada acumulada até 336 h desde a adubação superficial ou incorporada com diferentes formas de ureia, com ou sem revestimento com ácidos húmicos de carvão de eucalipto

Adubação	Ureia ¹	Revestimento com ácidos húmicos ²	
		Com	Sem
Volatilização de NH ₃ , mg/coletor			
Superficial	UPP	34,10 a A	37,13 a A
	UGP	52,35 a A	39,08 a A
	UTI	57,38 a A	44,22 a A
Incorporada	UPP	20,62 a B	20,24 a B
	UGP	12,69 a B	10,32 a B
	UTI	10,86 a B	17,30 a B
Testemunha		0,11	
CV (%)		37,01	

¹ Ureia perolada PETROBRAS (UPP); ureia granulada PETROBRAS (UGP), ureia granulada especial (UTI).

² Ácidos húmicos obtidos a partir de carvão produzido de eucalipto a temperatura de 350 °C.

Na linha, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Em cada coluna medias para cada forma de ureia seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Após 72 h da aplicação os teores de NH_4^+ no solo eram da ordem de 900 mg kg^{-1} , mas houve um declínio quase que linear nestes teores até 336 h depois da adubação (Figuras 1, 2 e 3). De modo geral esta variação foi compensada pelo aumento linear nos teores de NO_3^- (Figuras 1, 2 e 3), que foi mais evidente na adubação incorporada.

A adubação com a UPP, UGP e UTI, em média, não proporcionou aumento significativo na quantidade de matéria seca acumulada nas plantas de milho (Quadro 3, contrastes C1, C2 e C3). Apesar da não significância a UTI proporcionou o maior incremento médio no crescimento. No entanto, com a adubação nitrogenada as plantas absorveram, em média, quantidades de N significativamente maiores (Quadro 3, contrastes C1, C2 e C3). Isto sugere que a não resposta a adubação não foi em decorrência da elevada disponibilidade de N no solo, o que poderia ser atribuído ao elevado teor de matéria.

Quadro 3. Quantidades de matéria seca e de N absorvido e a recuperação aparente de N por plantas de milho submetidas a adubação com formas de ureia, com ou sem revestimento com ácidos húmicos produzidos de carvão de eucalipto, com aplicação superficial ou incorporada

Aplicação	Ureia ¹	Revestimento com ácidos húmicos ²					
		Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
		Matéria seca g/vaso		N absorvido mg/duas plantas		Recuperação aparente de N g kg ⁻¹	
Superficial	UPP	19,37a	16,36a	638,15a	531,63b	244,50a	131,81b
	UGP	18,02a	19,91a	585,82a	654,50a	190,17a	258,63a
	UTI	18,41a	19,20a	591,41a	623,24a	195,83a	224,61a
Incorporada	UPP	19,62a	16,95a	641,19a	613,31a	248,16a	211,99a
	UGP	18,48a	17,15a	609,37a	584,28a	211,72a	192,71a
	UTI	18,01a	20,56a	602,46a	668,01a	210,14a	272,59a
Testemunha		18,23		396,41			
CV (%)		14,36		11,64		33,01	
C1		-0,155 ns		209,66 **			
C2		0,155 ns		212,08 **			
C3		0,815 ns		224,87 **			

¹ Ureia perolada PETROBRAS (UPP), ureia granulada PETROBRAS (UGP), e ureia granulada especial (UTI).

² Ácidos húmicos obtidos a partir de carvão produzido de eucalipto a temperatura de 350 °C. Letras minúsculas dentro da mesma linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste F a 5 %. C1=Testemunha vs UPP; C2=Testemunha vs UGP; C3=Testemunha vs UTI. ns e **, não significativo e significativo a 1 %, respectivamente.

De maneira geral, independente do modo de aplicação, o revestimento das formas de ureia com ácidos húmicos não resultou em maior crescimento das plantas, nem em maiores quantidades de N absorvido e recuperado (Quadro 3). Apenas a UPP revestida com ácidos húmicos, quando aplicada superficialmente, favoreceu uma absorção de N significativamente maior e, conseqüentemente, maior taxa de recuperação aparente de N (Quadro 3). Observa-se, no entanto, a tendência de uma relação inversa entre as quantidades de NH_3 volatilizada e de N absorvido. A tendência de uma maior volatilização na aplicação superficial das UGP e UTI revestidas com ácidos húmicos (Quadro 2), por exemplo, relaciona-se com uma menor absorção de N pelas plantas de milho (Quadro 3).

A recuperação aparente de N variou entre 132 e 273 g kg^{-1} de N (Quadro 3). Estes índices de recuperação são inferiores aos 400 a 700 g kg^{-1} de N encontrados no trabalho de campo apresentado anteriormente e a valores encontrados em outros experimentos de campo..

CONCLUSÕES

- O revestimento da ureia perolada e granulada com ácidos húmicos não reduziu a volatilização de amônia.
- O revestimento da ureia perolada com ácidos húmicos proporcionou maior suprimento de N para as plantas de milho.

LITERATURA CITADA

- AHMED, O.H.; AMINUDDIN, H. & HUSNI, M.H.A. Reducing ammonia loss from urea and improving soil-exchangeable ammonium retention through mixing triple superphosphate, humic acid and zeolite. *Soil Use and Management*, 22:315-319, 2006.
- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. *Materia Orgânica do Solo, Nitrogênio e Enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola*. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. & VITTI, G.C. *Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira*. Piracicaba-SP, International Plant Nutrition Institute-Brasil, 2007. p. 1-41.
- BENITES, V.M. *Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 74p. (Tese de Doutorado).
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E. DE S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVOTNY, E.H.; REIS, E.L. & KER, J.C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, v. 127, p. 104-113, 2005.

- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; RUMJANEK, V.M. & SANTOS, G.A. Métodos complementares. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 277-290.
- CANTARELLA, H.; MATTOS JR. D.; QUAGGIO, J.A. & RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 67:215-223, 2003.
- CERETA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L. & COLNAGO, L.A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 277-290.
- CHEN, Y.; SENESI, N. & SCHNITZER, M. Information Provided on Humic Substances by E4/E6 Ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 352-358, 1977.
- DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECOW, J. & BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F & ALLEONI, L.R.F, Química e Mineralogia do Solo, Parte II - Aplicações. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 91 – 132.
- DONG, L.; CÓRDOVA-KREYLOS, A.L.; YANG, J. YUAN, H. & SCOW, K.M. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biology and Biochemistry*, 41:1612-1621, 2009.
- FRANCO, J.A.M. & SARAIVA NETO, A. Produção de Fertilizantes Nitrogenados e suprimento de Matéria-Prima. In: YAMADA, T.; ABDALLA,

- S.R.S. & VITTI, G.C. Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba-SP, International Plant Nutrition Institute-Brasil, 2007. p. 73-108.
- HE, Z.L.; CALVERT, D.V.; ALVA, A. K.; LI, Y. C. & BANKS, D. J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil*, 247:253-260, 2002.
- KASIM, S.; AHMED, O.H.; MAJID, N.M.A. & YUSOP, M.K. Simple method of purifying humic acids isolated from tropical hemists (Peat soil). *American Journal of Applied Sciences*, 12:1812-1815, 2008.
- LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:481-487, 1997.
- MONTE, M.B.M. & RESENDE, N.G.A.M. Zeolitas Naturais. In: Lins, F.F.; Luz, A.B. Rochas e Minerais Industriais. Cetem. p.699-720. 2005.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do solo. 2.ed. Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- OVERREIN, L.N. & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:56-61, 1967.
- PAIVA, D.M. Influência de ácidos húmicos na hidrólise da uréia e na volatilização de amônia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 40p. (Dissertação de Mestrado).

- PIMENTA, A.S; SANTANA,J.A.S; ANJOS, R.M.; BENITES, V.M. & ARAÚJO, S.O. Caracterização de ácidos húmicos produzidos a partir de carvão vegetal de duas espécies florestais do semi-árido: Jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*). Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, 4:01-11, 2009.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1 – 68.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275 – 374.
- SOUZA, S.R & FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S., Nutrição Mineral de Plantas. 1. ed. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. P. 215-252.
- SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.F.; HARTEL, P.G. & ZUBERER, D.A. Principles and Applications of Soil Microbiology. 2.ed. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 1998. 660p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3.ed. Porto Alegre – RS, Artemed editora S.A., 2004. 719p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

- TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.;
HOCKADAY, W.C. & HATCHER, P.G. Characterization of humic like
substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal.
Organic Geochemistry 36:1480–1489, 2005.
- WEIL, R.R. & MAGDOFF, F. Significance of Soil Organic Matter to Soil Quality
and Health. In: MAGDOFF, F. AND WEIL, R.R. Soil organic matter in
sustainable agriculture. CRC Press. 2004. p.1-44.
- YUSUFF, M.T.M.; AHMED, O.H. & MAJID, N.M.A. Effect of mixing urea with
humic acid and acid sulphate soil on ammonia loss, exchangeable
ammonium and available nitrate. Am. J. Environ. Sci., 5:588-591, 2009.

CONCLUSÕES GERAIS

- As fontes testadas não apresentaram vantagens em relação a fonte estabelecida como padrão para as variáveis estudadas.
- O ácido húmico não influenciou as características avaliadas para a UPP, enquanto que para UGP e UTI seu uso influenciou negativamente a volatilização de NH_3 .