

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados**

**Gabriel Barth**

**Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de concentração:  
Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Gabriel Barth  
Engenheiro Agrônomo**

**Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados**

**Orientador:  
Prof. Dr. GODOFREDO CESAR VITTI**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Barth, Gabriel  
Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados /  
Gabriel Barth. - - Piracicaba, 2009.  
78 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar 2. Fertilizantes nitrogenados 3. Inibidores de enzimas 4. Nitrificação  
5. 5. Uréia I. Título

CDD 633.61  
B284i

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Aos meus pais **Leo e Margaretha**,  
por seu exemplo de vida simples e de trabalho, mas sempre pautada nos valores éticos  
e morais, bases de personalidade e caráter em que apoio minha vida.

Aos meus irmãos **Hugo, Lioba, Francisca, Maria, José, Matias e Angélica**,  
pelo carinho e incentivo, pela alegria do convívio.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me agraciado com a vida, pelas oportunidades, alegrias e saúde, e nos momentos de fraqueza e desânimo por ter me amparado e dado forças para retomar a caminhada.

Ao Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, pela orientação, paciência, confiança e sincera amizade, pelos conhecimentos transmitidos e pelo exemplo profissional de competência e honestidade.

Aos Profs. Drs. Sabine von Tucher e Urs Schmidhalter, pela amizade e acolhida em seu grupo de pesquisa no Departamento de Nutrição de Plantas da Universidade Tecnológica de Munique (Freising – Alemanha) durante o Doutorado-Sanduíche, pelas facilidades disponibilizadas para pesquisa e pelos ensinamentos. À laboratorista Christine Hass, pelos inúmeros auxílios na execução dos experimentos de incubação e, pela paciência nas dicas do idioma alemão.

Aos Profs. Dr. Heitor Cantarella (IAC), Dr. Eduardo Fávero Caires (UEPG) e Dr. Godofredo Cesar Vitti (ESALQ-USP), por orientarem os rumos da minha formação profissional e constituírem os pilares-mestres do meu conhecimento científico e agrônomo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas representado pelos seus mestres, pela acolhida durante o período de doutoramento e pela formação acadêmica. Aos membros do Coral Luiz de Queiroz, pelos inúmeros momentos de descontração e pelas amizades.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial Denise Mescolloti, Jaqueline, João A. R. Granja e Sílvia Helena Carvalho e, pela ajuda incondicional em todos momentos.

Aos estagiários e amigos integrantes do GAPE nestes últimos anos, pela inestimável ajuda na execução de etapas do trabalho à campo, pelo companheirismo e pela amizade. Aos amigos do IAC, Rafael Marcelino e Jonhny Rodrigues Soares pelo auxílio nos experimentos de incubação e, Renata Presta por análises laboratoriais.

À usina COSAN, nas pessoas de Antônio Luis Palhares (desenvolvimento agrônômico) e João Américo Beltrame (gerente técnico) pela concessão de área experimental e pelo fundamental auxílio na execução do experimento à campo.

Aos colegas, amigos e “irmãos” do passado e presente da pós-graduação na ESALQ-USP Adilson de Oliveira Júnior, Adriel Ferreira da Fonseca, Alessandra Monteiro de Paula, Alexandre Martins Martines, André César Vitti, Daniel Renato Lammel, Dilmar Baretta, Eros Arthur Bohac Francisco, Fernando J. Garbuio, Jackson L. Lange, Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, Julius Blum, Maria Ligia de Souza Silva, Magnus D. Deon, Mirian Cristina Gomes Costa, Rodrigo Coqui da Silva, Rodrigo Vianeí Crycza, Simone Braga Bertini, Susana Churka, pelos inúmeros e valiosos auxílios e dicas pertinentes ao doutorado e, pela grande amizade e partilha do conhecimento.

À minha família brasileira na Alemanha composta pelos colegas Alessandra Fidelis, Ana Matoso Teixeira, André Beltrame e Michely Tomazi, e parentes das famílias Gair, Hubert, Stapp, Odermatt (Suíça), pela companhia e amizade que abrandaram a saudade do nosso país.

Aos amigos de moradia em Piracicaba Eros A. B. Francisco, Fernando J. Garbuio, Franklin Behkau, Gean C. S. Matias, Hugo Tozze, Rodrigo Crycza e Zaqueu F. Montezano pelas conversas, conselhos e pela convivência fraternal.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa e pelo apoio financeiro para execução do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro durante período de Doutorado-Sanduiche na Alemanha.

À SN-Centro na pessoa de Antônio de Pádua Cruz, pelo financiamento parcial do experimento à campo.

E a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

***“A grandeza e a sabedoria infinita do Criador só são acessíveis àquele que se esforça para ler os seus pensamentos nas entrelinhas do grande livro a que chamamos natureza.”***

***Justus von Liebig (1803-1873), químico alemão***



## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Manejo da cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo.....	13
2.2 Importância e manejo da adubação nitrogenada em cana sem queima prévia	14
2.3 Uréia e inibidores de urease.....	16
2.4 Inibidores de nitrificação.....	18
Referências .....	20
3 EFICIÊNCIA DE FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA-DE- AÇÚCAR COLHIDA SEM DESPALHA A FOGO .....	27
Resumo .....	27
Abstract .....	27
3.1 Introdução .....	28
3.2 Material e métodos .....	30
3.3 Resultados e discussão .....	33
3.4 Conclusões .....	39
Referências .....	39
4 ESTUDOS COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO DICIANODIAMIDA EM TRÊS SOLOS FERTILIZADOS COM SULFATO DE AMÔNIO.....	43
Resumo .....	43
Abstract .....	43
4.1 Introdução .....	43
4.2 Material e métodos .....	45
4.3 Resultados e discussão .....	46
4.4 Conclusões .....	52
Referências .....	52

5 EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE NITRIFICAÇÃO (DCD E DMPP) EM SOLOS DO BRASIL E ALEMANHA EM DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (URÉIA E SULFATO DE AMÔNIO) .....	54
Resumo .....	54
Abstract .....	54
5.1 Introdução .....	55
5.2 Material e métodos .....	56
5.3 Resultados e discussão .....	57
5.4 Conclusões .....	63
Referências .....	64
6 EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE UREASE E DE NITRIFICAÇÃO EM SOLO FERTILIZADO COM URÉIA.....	66
Resumo .....	66
Abstract .....	66
6.1 Introdução .....	67
6.2 Material e métodos .....	68
6.3 Resultados e discussão .....	72
6.4 Conclusões .....	74
Referências .....	76
7 CONCLUSÕES GERAIS .....	78

## RESUMO

### Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados

Nitrogênio é o nutriente mais utilizado mundialmente na agricultura devido promover grandes aumentos de produtividade e de qualidade, porém durante seu uso pode haver perdas de N por lixiviação e volatilização. O uso de inibidores de urease e de nitrificação podem aumentar a eficiência de uso de adubos nitrogenados. Objetivou-se: a) estudar doses e fontes de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) colhida sem despalha a fogo e avaliar a resposta desta cultura em aplicação do N na superfície do solo; b) avaliar a eficiência do uso de dicianodiamida em solos de diferentes texturas, com e sem a presença de palha, em estudo de incubação com sulfato de amônio; c) avaliar a eficiência de DCD e DMPP em solos do Brasil e da Alemanha em estudo de incubação e d) avaliar a eficiência de DCD e de NBPT na volatilização de amônia e na taxa de nitrificação de uréia. Houve aumento de produção de colmos de cana-de-açúcar nas doses de 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, porém não houve diferença das diferentes fontes nitrogenadas, mesmo havendo redução de volatilização de NH<sub>3</sub> da uréia com o uso de NBPT, em torno de 60%. Houve redução da taxa de oxidação de amônio como uso de DCD, com maior eficiência no solo de textura média e, conseqüentemente menor formação de nitrato. Com a redução da taxa de nitrificação houve uma menor acidificação do solo. Houve redução da população de microrganismos nitrificadores com o uso de DCD. O uso de inibidores de nitrificação (DCD e DMPP) retardou o processo de nitrificação em todos os solos (alemão e brasileiros), porém, com uma eficiência bem mais acentuada no solo arenoso. Houve maior eficiência do DCD nos primeiros 10 dias de incubação devido seu maior movimento no solo e no período final de incubação o DMPP foi mais eficiente devido sua menor degradação no solo. O NBPT foi eficiente em reduzir as perdas por volatilização, já o uso de DCD aumentou as perdas de N-NH<sub>3</sub> da fonte uréia e diminuiu a eficiência do NBPT quando aplicado em conjunto com este, independente da dose. O DCD foi eficiente em diminuir o processo de nitrificação e não teve influencia na sua eficiência quando foi utilizado em associação com NBPT.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; Volatilização; Nitrificação; Inibidores de urease e nitrificação; Tiofosfato de N-(n-butil) triamida (NBPT); Dicianodiamida (DCD); Fosfato de 3,4-dimetilpirazol (DMPP)

## ABSTRACT

### Urease and nitrification inhibitors on efficiency of nitrogen fertilizers

Nitrogen is the most world widely applied plant nutrient in agriculture because promote high yield and quality increases but, during you're using in agriculture losses by volatilization and leaching can occur. By using urease and nitrification inhibitors the nitrogen fertilizers efficiency can be increase. The objectives of this study was: a) study rates and sources of nitrogen fertilizers on sugarcane (*Saccharum spp.*) production harvested without burning and evaluate the response of this crop to over trash applied N; b) evaluate the efficiency of using DCD in different texture soils, with or without sugarcane trash, in a incubation experiment with ammonium sulphate; c) evaluate the efficiency of DCD and DMPP in Brazilian and German soils in a incubation experiment and d) evaluate the efficiency of DCD and NBPT on ammonia volatilization and nitrification process of urea. Sugarcane yields increase with 0, 50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup> de N rates, but not with different N sources. With using NBPT ammonia volatilization was about 60% less, but also didn't increase sugarcane yield. Ammonium oxidation process in incubation study was inhibited with DCD use and, this inhibition was high in the soil with less clay. With reduction in nitrification process acidification of soil was lower. It was less nitrification microorganisms in soil with using DCD. With nitrification inhibitors (DCD and DMPP) the nitrification processa was delayed in all soils (german and brazilians), especially in sandy soil. DCD was more efficient in the next 10 days because have more mobility in soil wile DMPP was more efficient in the end of nitrification process because is more persistent in soil by his slow degradation process. The use of NBPT with urea is efficient to reduce ammonia volatilization wile urea treated with DCD these N loss is increased. When urea is treated with DCD and NBPT together the ammonia volatilization less is more than NBPT alone, but less of total ammonia volatilization of urea alone. DCD alone is efficient in inhibit nitrification process and NBPT didn't have any effect in nitrification process or in DCD efficiency.

Keywords: Nitrogen fertilization; Volatilization; Nitrification; Urease and nitrification inhibitors; N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT); Dicyandiamide (DCD); 3,4-dimethylpirazole phosphate (DMPP)

## 1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente mais aplicado mundialmente na agricultura e, desenvolve um importante papel tanto no aspecto econômico como ecológico. Se por um lado o N é o nutriente que promove maiores aumentos de produtividade e de qualidade de produtos agrícolas, por outro lado, os compostos de N na hidrosfera (acúmulo de nitrato no lençol freático) e na atmosfera (emissão de gases) tem muitos efeitos indesejados no meio ambiente.

Uma das principais fontes de N utilizadas na agricultura é a uréia, devido ao baixo custo e elevada concentração de N (45%). Porém, esta fonte tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo com palha, devido às perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Diversos fatores interferem nesse processo, sendo que a hidrólise causada, pela enzima urease, presente no solo e palhada, pode ter grande interferência. Aditivos aplicados à uréia têm demonstrado diminuir as perdas de N por volatilização de amônia por inibir a ação desta enzima. Mesmo assim, maiores estudos sobre o comportamento deste inibidor de urease em sistema de colheita sem despalha são necessários.

O nitrato de amônio (NA) seria um bom substituto da uréia, por não apresentar perdas significativas de N por volatilização, mesmo tendo uma menor concentração de N (33%). Porém, o NA tem sofrido restrições por ser explosivo dependendo de como é manipulado. Outra fonte é o sulfato de amônio (SA), que tem a vantagem de não ter problemas com volatilização de amônia e conter S em sua formulação, porém, apresenta concentração de N menor (20%) e maior custo por unidade de N. Assim, tem se despontado como alternativa fazer a mistura de NA com SA, eliminado o problema do NA e elevando os teores de N do SA, bem como o fornecimento de S.

Outra forma de perda de N é através de sua lixiviação na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no perfil do solo. Embora alguns estudos têm demonstrado que na cultura da cana-de-açúcar as perdas por lixiviação não são preocupantes, maiores estudos a respeito do comportamento de diferentes fontes se faz necessário.

Existem diversas maneiras de se diminuir as perdas de N por volatilização e lixiviação de nitrato das fontes de fertilizantes nitrogenados aplicados na agricultura. Entre estas, tem-se destacado o uso de inibidores de urease e de nitrificação. Porém, maiores estudos são necessários para avaliar a eficiência destes inibidores em aumentar a eficiência de uso de adubos nitrogenados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manejo da cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo

O Brasil possui uma área plantada com a cultura de cana-de-açúcar superior a 6 milhões de hectares, sendo que esta área vem aumentando ano a ano. Além do aumento em área cultivada, há um aumento proporcional destas áreas colhidas mecanicamente, em vista da lei estadual nº 11.241, de 19 de dezembro de 2002, que estabelece prazos gradativos para eliminar a queima dos canaviais no Estado de São Paulo.

Ao colher a cana mecanicamente sem a queima prévia, mantém-se sobre a superfície do solo uma quantidade considerável de resíduos vegetais, que correspondem às folhas secas, ponteiros e pedaços de colmos. Essa quantidade varia de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de material seco (OLIVEIRA et al., 2003), o que corresponde de 40 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (TRIVELIN et al., 1995; 1996; CANTARELLA, 1998), porém, proporcionalmente há muito mais carbono, resultando numa relação C:N em torno de 100. Com isso é de se esperar uma intensa imobilização de N do solo. Com isso, o N mineralizado da palha fica disponível na segunda metade do ciclo da cultura (GAVA et al., 2005).

Os principais benefícios da cobertura do solo com a palha, resultantes do aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS), são a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, na formação e estabilização de agregados que confere uma melhor estrutura ao solo (VALLIS et al., 1996; BLAIR, 2000), o que leva a melhorias nas condições de aeração e aumento da capacidade de infiltração e retenção de água (NG KEE KWONG et al., 1987). Outros aspectos importantes são que a camada de palha sobre a superfície do solo favorece a infiltração, reduz o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, reduzindo a erosão (Delgado, 1985), aumenta o teor de umidade e reduz sua variação ao longo de períodos secos em relação a áreas sem palha, proporcionando menor deficiência hídrica (DELGADO, 1985; WOOD, 1991).

Consequentemente pode haver o aumento da produtividade com a permanência da palha na superfície do solo (YADAV et al., 1987).

As principais desvantagens desse sistema de manejo apresentadas são a dificuldade na realização das práticas culturais, como o cultivo da soqueira; a volatilização do N-fertilizante de fontes nitrogenadas propícias à volatilização quando a incorporação for ineficiente ou o adubo aplicado na superfície (MAGRO, 1998; TRIVELIN et al., 1998; CANTARELLA et al., 1999; COSTA et al., 2003), reduzindo dessa forma suas eficiências agronômicas; a imobilização microbiológica de N no solo devido a alta relação C:N; a incidência maior de cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*); risco de fogo pós-colheita e dificuldade na brotação de soqueiras de determinados cultivares.

## **2.2 Importância e manejo da adubação nitrogenada em cana sem queima prévia**

Embora o N constitua em torno de 1% da matéria seca da cana-de-açúcar, tem um papel fundamental no desenvolvimento da planta. É constituinte obrigatório de proteínas e ácidos nucléicos, participando direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e enzimáticos, e faz parte da molécula de clorofila (CARNAÚBA, 1990; MALAVOLTA et al., 1997).

Dos nutrientes essenciais, o nitrogênio é um dos absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, ficando atrás apenas do potássio (MALAVOLTA et al., 1997; COALE et al., 1993).

Tanto o excesso quanto a deficiência de N tem influencia na qualidade tecnológica dos colmos. O principal efeito bioquímico da falta de N é aquele que interfere na síntese protéica. A inibição da síntese de clorofila resulta em uma clorose generalizada, ocorrendo, assim, diminuição na síntese de aminoácidos essenciais, além de afetar os processos de síntese de carboidratos e esqueletos carbônicos envolvidos nas sínteses orgânicas subseqüentes. Com isso, decresce o teor de umidade da planta,



com conseqüente diminuição da qualidade do caldo; aumenta o teor de fibra; diminui a concentração de sacarose; ocorre acúmulo de sacarose nas folhas e alta relação folha:colmo. Com o excesso de N, ocorre seu acúmulo no colmo, piora a qualidade e atrasa a maturação (CARNAÚBA, 1990; SILVEIRA e CROCOMO, 1990; KORNDÖRFER e MARTINS, 1992).

A adubação nitrogenada promove aumento da produtividade em cana-planta (KORNDÖRFER et al., 2002), como também é importante para o aumento de produtividade e de longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar. ORLANDO FILHO et al. (1999) obtiveram um aumento de 20% e 35% para as doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação à testemunha para as medias de produtividade de 4 cortes, fontes e formas de aplicação. A resposta à fertilização nitrogenada reflete em maior vigor das soqueiras, aumentando o diferencial de produtividade, tornando-se necessário manejar a cana-de-açúcar como uma cultura perene (ORLANDO FILHO et al., 1999).

No sistema de colheita de cana-se-açúcar sem despalha a fogo o tráfego de máquinas pode gerar problemas de compactação e, em alguns casos associados à baixas temperaturas e umidade, a atividade microbiana seria dificultada pela menor aeração do solo. Com isso, a decomposição da matéria orgânica (restos culturais e raízes) de alta relação C:N, junto com o período de grande exigência em N pela cultura, fariam com que qualquer adição de N ao processo fosse acompanhada por uma rápida resposta em termos de crescimento da soqueira (ZAMBELO Jr. e ORLANDO FILHO, 1981).

As fontes de N mais utilizadas são as que apresentam um menor custo por unidade de N, sendo a uréia e a aquamônia as fontes sólidas e líquidas, respectivamente, as mais comuns. Havendo adaptação dos implementos utilizados nas áreas sem palha, para fazer a incorporação do adubo nas áreas com palha, qualquer fonte nitrogenada poderá ser utilizada. Porém, deve-se levar em consideração a viabilidade econômica da operação.

### 2.3 Uréia e inibidores de urease

A uréia, quando aplicada em superfície e sobre a palhada, pode diminuir muito a sua eficiência agrônômica, como resultado das perdas de amônia por volatilização (ELLINGTON, 1985; KIEHL, 1989; FRENEY et al., 1992; LARA CABEZAS et al., 1997; CANTARELLA et al., 1999; TRIVELIN et al., 2002; COSTA et al., 2003; ISA et al., 2005). Com isso, outras fontes de fertilizantes nitrogenados passam a tornar-se mais viáveis, como é o caso do nitrato de amônio (CANTARELLA et al., 1999) e do sulfato de amônio (WOOD, 1991).

O processo de volatilização de amônia aplicando-se uréia envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando na formação de carbonato de amônio. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais. A uréia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada em 2 ou 3 dias, dependendo da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a uréia é aplicada. Estes fatores influenciam diretamente a atividade dos microrganismos presentes no solo e na palha, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (REYNOLDS et al., 1987).

O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e água (RAIJ, 1991). Parte do  $\text{NH}_3$  formado reage com íons  $\text{H}^+$  da solução do solo e com íons  $\text{H}^+$  dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion  $\text{NH}_4^+$ . Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado (RODRIGUES e KIEHL, 1992). Valores elevados de pH conduzem à volatilização de amônia, devido a baixa formação de íons  $\text{NH}_4^+$ . Assim, diversos fatores afetam a volatilização de amônia, como temperatura, umidade, trocas gasosas, taxa de evaporação da água, conteúdo de água no solo, pH, poder tampão do solo, capacidade de troca catiônica, classe textural e atividade da urease.

Tem-se buscado solucionar e/ou mitigar as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  da uréia. Algumas ferramentas podem ser utilizadas, como a incorporação da uréia no solo (LARA CABEZAS e YAMADA, 1999; CANTARELLA et al., 1999), aplicação sob a palhada com equipamento com pressurizador pneumático (NASCIMENTO, 2005), mistura com vinhaça (GAVA et al., 2001), aumento da nitrificação (FLEISHER e HAGIN, 1981) e o tratamento da uréia com inibidor da urease (BYRNES e FRENEY, 1995; Sanz-Cobena et al. 2008).

Estudos relacionados à inibição da urease já datam de mais de 60 anos (CONRAD, 1940) e, um grande número de compostos com diferentes características tem sido testados e patenteados como inibidores de urease. Porém a grande maioria desses compostos quando utilizados em conjunto com a uréia são ineficientes para uso na agricultura, quando são aplicados no solo.

Os únicos compostos que tem provável viabilidade são os que possuem estruturas análogas à molécula de uréia. Os pontos de ligação e o comprimento dos grupamentos amida da phosphoryl di- e triamida são similares aos da uréia e, essas amidas não são substrato da urease. Essas características aparentemente possibilitam o inibidor ligar-se aos sítios ativos da urease, ocupando estes locais por um longo período (DOMINGUEZ et al. 2008). Porém, pela degradação da molécula análoga, esse período de ligação pode ser variável. Com isso, pode-se ter bons resultados ou não (BYRNES e FRENEY, 1995) na redução da volatilização de amônia através da inibição da atividade da enzima urease.

Espera-se que os maiores benefícios da utilização de inibidores de urease sejam obtidos quando a incorporação da uréia é difícil, há poucas oportunidades da uréia ser carregada para o solo pela água infiltrante e pela alta atividade da urease na superfície do solo devido ao revolvimento do solo ou acúmulo de material orgânico. Estudos preliminares tem demonstrado que os inibidores de urease que estão sendo comercializados tem uma eficiência por um período de tempo variável, em torno de 3 (FILLERY e DE DATTA, 1986) a 12-14 dias (BRONSON et al., 1989; CHRISTIANSON et al., 1990). Isto pode estar relacionado ao pH do solo (HENDRICKSON e DOUGLAS, 1993), bem como pelas demais propriedades químicas do solo (BREMNER e CHAI,

1986; WATSON et al., 1994), pela temperatura e umidade. Assim, maiores estudos em relação ao comportamento destes inibidores ao serem aplicados no campo em diferentes condições climáticas são necessários, visto que a aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura da cana-de-açúcar ocorre geralmente logo após o início da brotação da soqueira. Vale lembrar que a colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo ocorre desde março até novembro e, que nesse período tem regimes hídricos bem distintos.

## 2.4 Inibidores de nitrificação

As perdas do nitrogênio por lixiviação ocorrem quando a translocação do elemento se dá através de fluxo de água no perfil do solo a uma profundidade além daquela explorada pelo sistema radicular da planta, tendo como consequência a diminuição da eficiência da adubação e contaminação do lençol freático. A intensidade de lixiviação depende de vários fatores relacionados ao solo, clima, da natureza ou forma em que o elemento se encontra, doses de fertilizantes, da intensidade de mineralização da matéria orgânica e com que velocidade os nutrientes são retirados da solução do solo pelos vegetais ou pelos microrganismos, respectivamente. O nitrogênio lixiviado se encontra quase que exclusivamente na forma de  $\text{NO}_3^-$  (SOUTHWICK et al., 1995). Trabalhos têm demonstrado que as perdas de N por lixiviação na cultura de cana-de-açúcar não têm sido muito elevadas (OLIVEIRA et al., 1999; 2002). Porém, em algumas situações onde possa haver a risco de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , pode-se lançar mão de algumas técnicas, como o parcelamento da adubação e a utilização de inibidores de nitrificação.

Esses compostos retardam o processo oxidativo das bactérias do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_2^-$  no solo (primeira fase da nitrificação) por um período de tempo pela diminuição da atividade das bactérias do gênero *Nitrosomas* no solo. A segunda fase da nitrificação, onde as bactérias do gênero *Nitrobacter* promovem a transformação de  $\text{NO}_2^-$  para  $\text{NO}_3^-$ , normalmente não é alterada.

Tem-se relatado na literatura inúmeros compostos como inibidores de nitrificação (BUNDY e BREMNER, 1973; MCARTY e BREMNER, 1989; AULAKH, et al., 2001; ZERULLA et al., 2001). Esses compostos ocupam (ligam-se) os sítios ativos da monoxigenase, que um amplo substrato para a oxidação catalítica. Conforme o produto resultante dessa ligação denomina-se o mecanismo base de inibição, sendo os principais os compostos de S, compostos de acetileno e compostos heterocíclicos (MCARTY, 1999). A estabilidade dessa ligação confere a habilidade dos compostos em retardar o processo de nitrificação (SAHRAWAT, 1980). Diversos fatores do solo, como a matéria orgânica, a temperatura, o valor pH e a umidade do solo influem diretamente na eficiência dos inibidores de nitrificação (KELLIHER, et al. 2008; IRIGOYEN et al. 2003; PRASAD e POWER, 1995; BARTH et al. 2001), devido ao fato destes fatores estarem diretamente relacionados ao processo de nitrificação no solo (SAHRAWAT, 2008). Logo, há resultados distintos em diferentes tipos de solo (GIOACCHINI et al., 2002). Estudos demonstram que os inibidores de nitrificação podem ser eficientes na redução do processo de oxidação da amônia por alguns dias ou semanas (CHAVES et al., 1995) porém, esse efeito pode não ser significativo após 6 meses (GUIRAUD et al., 1989). Mesmo assim, obteve-se incremento na produção de colmos na cultura da cana-de-açúcar (PARASHAR et al., 1980; SINGH et al., 1987).

O uso de inibidores de nitrificação, além de promover uma menor perda de N por lixiviação, pode ser usado para reduzir o acúmulo de nitrato nas plantas, em especial as de consumo *in natura* (IRIGOYEN et al. 2006).

No Brasil, há poucos trabalhos sobre o comportamento dos diferentes compostos inibidores de nitrificação. Assim, não se sabe se estes teriam o mesmo efeito nas condições de clima e solo brasileiras comparadas às anteriormente estudadas, como por exemplo solos de clima temperado.

## Referências

- BARTH, G.; TUCHER, S. von. SCHMIDHALTER, U. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 34, p. 98-102, 2001.
- BLAIR, N. Impacto f cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 55, p. 183-191, 2000.
- BREMNER, J.M. Nitrogen-Urea. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KENEY, D.R. (Ed.). 2. Ed. **Methods of soil analysis**. Madison: ASA/SSSA, 1982. p. 699-709.
- BREMNER, J.M.; CHAI, H.S. Evaluation of N-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 17, p. 337-351, 1986.
- BRONSON, K.F.; TOUCHTON, J.T.; HILTBOLD, A.E.; HENDRICKSON, L.L. Control of ammonia volatilization with N-(N-butyl)thiophosphoric triamide in loamy sands. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1439-1451, 1989.
- BUNDY, L.G.; BREMNER, J.M. Inhibitor of nitrification in soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 37, p. 396-398, 1973.
- BYRNES, B.H.; FRENEY, J.R. Recent developments on the use of urease inhibitors in the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, p. 251-259, 1995.
- CALCINO, D.V.; MAKEPEACE, P.K. Fertilizer placement on green cane trash blanketed rations north Queensland. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1988. cidade. **Proceedings...**Cairns:ASSCT, 1988. p. 125-130.
- CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 21-22, 1998.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 270-276.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 2007.Piracicaba. **Palestra...** 19p.Piracicaba:Fealq, 2007. 1 CD RON
- CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação

nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, p. 25, 1999.

CARDOSO, F.P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto no Cerrado**, Piracicaba, v.7, n. 26, p.4, 2002.

CARNAÚBA, B.A.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, p. 24-41, 1990.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, p. 21-27, 1990.

COALE, F.J.; SANCHEZ, C.A.; IZUNO, F.T.; BOTTCHEER, A.D. Nutrient accumulation and removal by sugarcane grown on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 310-315, 1993.

CONRAD, J. P. The nature of the catalyst causing the hydrolysis of urea in soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 50, p. 119-134, 1940.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. Piracicaba, 1999. 92 p.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003.

DELGADO, A.A. Os efeitos da queima dos canaviais. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 42-45, 1985.

DOMÍNGUEZ, M.J.; SANMARTIN, C.; FONT, M.; PALOP, J. A.; FRANCISCO, S.S.; URRUTIA, O.; HOUDUSSE, F.; GARCÍA-MINA, J.M. Design, synthesis, and biological evaluation of phosphoramidate derivatives as urease inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 56, p. 3721-3731, 2008.

ELLINGTON, A. Ammonia volatilization losses from fertilizers applied to acid soil in the field. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 8, p. 283-296, 1986.

FILLERY, I. R.P.; DE DATTA, S.K. Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice fields: I. Methodology, ammonia fluxes, and nitrogen-15 losses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 80-86, 1986.

FLEISHER, Z.; HAGIN, J. Lowering ammonia volatilization losses from urea application by activation of nitrification process. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 2, p. 127-134, 1981.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss trash cover sugarcane fields fertilizer with urea. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 31, p. 341-349, 1992.

- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 689-695, 2005.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; PENATTI, C.P. Perdas de amônia proveniente da mistura de vinhaça e uréia aplicada ao solo com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, p. 40-42, 2001.
- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 36, p. 129-135, 2002.
- GOULD, W.D.; HAGEDORN, C.; MCCREADY, R.G.C. Urea transformation and fertilizer efficiency in soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 40, p. 209-238, 1986.
- GUIRAUD, G.; MAROL, C.; THIBAUD, M.C. Mineralization of nitrogen in the presence of a nitrification inhibitor. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 29-34, 1989.
- HENDRICKSON, L.L.; DOUGLAS, E.A. Metabolism of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1613-1618, 1993.
- IRIGOYEN, I.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P.; MURO, J. The influence of 3,4 dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, p. 555-562, 2006.
- IRIGOYEN, I.; MURO, J.; AZPILIKUETA, M.; APARICIO-TEJO, P.; LAMSFUS, C. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.41, p. 1177-1183, 2003.
- ISA, D.W.; HOFMAN, G.; CLEEMPUT, O. van. Uptake and balance of fertilizer nitrogen applied to sugarcane. **Field Crop Research**, 2005. (available at <[www.elsevier.com/locate/fcr](http://www.elsevier.com/locate/fcr)>).
- KELLIHER, F.M.; CLOUGH, T.J.; CLARK, H.; RYS, G.; SEDCOLE, J.R. The temperature dependence of dicyanodiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, p. 1878-1882, 2008.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 75-80, 1989.
- KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, p. 26-31, 1992.
- KORNDÖRFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 23-26, 1997.



- KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.; CHIMELLO, M.A.; LEONE, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.
- LANE, J. H.; EYNON, L. Determinations of reducing sugars by means of Fehling's solution with methylene blue as internal indicator. **Journal Society Chemical Industry**, London, v. 42, p. 32-37, 1934.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 30, p. 389-406, 1999.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; YAMADA, T. Uréia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, v. 86, p. 9-10, 1999.
- MAGRO, J.A. Sistema cana crua: perspectivas de viabilidade. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 31-32, 1998.
- McARTY, G.W.; BREMNER, J.M. Inhibitor of nitrification in soil by heterocyclic nitrogen compounds. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 8, p. 204-211, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- NASCIMENTO, D. Trocando nitrato de amônio por uréia. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 59, p. 130-132, 2005.
- NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 102, p. 79-83, 1987.
- OLIVEIRA, M.W.; BARBOSA, M.H.P.; MENDES, L.C.; DAMASCENO, C.M. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, p. 30-31, 2003.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; VITTI, A.C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, p. 28-31, 1999.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO A.E.; MURAOKA, T.; MORTATI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 861-868, 2002.

- ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEEXE, C.A.; GLÓRIA, A.M. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 1, n. 4, p. 7-11, 1994.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A.; BELTRAME, J. A.; LAVORENTI, N. A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 39-41, 1999.
- PRASAD, R.; POWER, J. F. Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 54, p. 233-281, 1995.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 403-408, 1992.
- SAHRAWAT, k. L. Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, p. 1436-1446, 2008.
- SAHRAWAT, K. L. On the criteria for comparing the ability of compounds for retardation of nitrification in soil. **Plant and Soil**, Dodrecht, v. 55, p. 487-490, 1980.
- SANTOS, A.R.; VALLE, F.R.; SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 309-313, 1991.
- SANZ-COBENA, A.; MISSELBROOK, T.H.; ARCE, A.; MINGOT, J.I.; DIEZ, J.A.; VALLEJO, A. An inhibitor of urease activity affectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 126, p. 243-249, 2008.
- SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Fortaleza, v. 2, p. 7-15, 1990.
- SOUTHWICK, L.M.; WILLIS, G H.; JOHNSON, D.C.; SELIM, H.M. Leaching of nitrate, atrazine, and metribuzin from sugarcane in southern Louisiana. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 24, p. 684-690, 1995.
- TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: Klute et al. **Methods of soil analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: SSSa/ASA, 1982. p. 911-929.

THE SAS SYSTEM. SAS Institute Inc. Release 8.02. Cary, NC: The SAS Institute Inc. 1999.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R., L.; RODRIGUES, J. C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia -<sup>15</sup>N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; OLIVEIRA, M. W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte II: Perdas por volatilização de amônia e recuperação do <sup>15</sup>N aplicado ao solo. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 23-29, 1998.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 193-201, 2002.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade de cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduo de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 637-646, 2002b.

VALLIS, I.; PARTON, W. J.; KEATING, B. A.; WOOD, A. W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 115-132, 1996.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114p. Tese (Doutorado na área de... ) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J.; ALLEN, M.D.B.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 69-85, 1991.

YADAV, L.R.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. **Biological Wastes**, Oxford, v. 20, p. 133-141, 1987.

ZAMBELLO Jr, E.; ORLANDO FILHO, J.A adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 3, p. 5-26, 1981.

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; LOCQUENGIEN, K. H. von. PASDA, G.; RÄDLE, M. 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification

inhibitor for agriculture and horticulture. An introduction. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 34, p. 79-84, 2001.

### 3 DOSES E FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM DESPALHA A FOGO

#### Resumo

Nas adubações nitrogenadas a uréia é a principal fonte de N utilizada devido ao baixo custo e elevada concentração de N (45%). Porém, esta fonte tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo com palha, devido às perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Com o objetivo de estudar a eficiência de diferentes fontes e doses de N na adubação nitrogenada em cana crua, com ou sem a presença de inibidor de uréase desenvolveu-se um estudo a campo em área de produção comercial de cana-de-açúcar da Usina Costa Pinto/Grupo COSAN localizada em Piracicaba-SP, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura média-arenosa, por dois anos agrícolas. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi SP83 2847 (2005/06) e RB867515 (2006/07), em terceira e segunda soca, respectivamente. As parcelas receberam 4 fontes de adubos nitrogenados, uréia (45% N), uréia com inibidor da urease (45% N; NBPT 1%), uréia com inibidor de nitrificação (46%N; dicianodiamida + 1H-1,2,4-Triazole) e sulfonitrato de amônio (26% N) e nas subparcelas, serão estudadas doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$ ). Logo após aplicação dos fertilizantes nitrogenados foi avaliada a volatilização de N- $\text{NH}_3$  nos tratamentos com uréia e sem nitrogênio, através da instalação de coletores semi-abertos, conforme descrito por Lara Cabezas et al. (1999). As perdas de N da uréia foram em torno de 24 e 17%, respectivamente nas duas safras. O uso de inibidor de urease (NBPT) promoveu redução em torno de 60 %. Não houve alteração na produção de colmos em função das fontes de N, mas houve resposta linear positiva para as doses de N aplicadas.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; Nitrogênio; Fontes; Doses; Inibidores de urease e nitrificação

#### Abstract

Urea is the most important source of nitrogen fertilization because low cost and light N concentration (45%). But, this source has problems with ammonia ( $\text{NH}_3$ ) volatilization when it is broadcasted in surface soil with trash. With the aim to study the efficiency of different sources and rates of N in sugarcane harvest mechanically (without burn the trash), a field experiment was carried out in commercial area of Usina Costa Pinto/Grupo COSAN in Piracicaba-SP. The soil used is a typical Oxisol (red, with low basis saturation), in two annual crops. The sugarcane cultivars used were SP83 2847 (2005/06) and RB867515 (2006/07), in third and second ratoon, respectively. The sources used were urea (45% N), urea with urease inhibitor (45% N; NBPT 1%), urea with nitrification inhibitor (46%N; dicyandiamide + 1H-1,2,4-Triazole), ammonium sulphate (20% N), ammonium nitrate (32% N) and ammonium sulphate nitrate (ASN-27% N) and the rates were 0, 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$  of N. After N fertilizers broadcasting

the  $\text{NH}_3$  emissions were measured with a semi-open method described for Lara Cabezas et al. (1999), only in treatments with urea and in ASN. The  $\text{NH}_3$  emissions were about 22 and 18%, respectively in two year crops. With use of urease inhibitor (NBPT), the  $\text{NH}_3$  emission is mitigate in around 60%. Didn't have difference in yield with N sources, but increase with N rates.

Keywords: *Saccharum spp.*; Nitrogen; Sources; Rates; Urease and nitrification inhibitors

### 3.1 Introdução

O Brasil possui uma área plantada com a cultura de cana-de-açúcar superior a 6 milhões de hectares, sendo que esta área vem aumentando ano a ano. Além do aumento em área cultivada, há um aumento proporcional destas áreas colhidas mecanicamente, em vista de legislação ambiental, que estabelece prazos gradativos para eliminar a queima dos canaviais no Estado de São Paulo.

Ao colher a cana mecanicamente sem a queima prévia, mantém-se sobre a superfície do solo uma quantidade considerável de resíduos vegetais, que correspondem às folhas secas, ponteiros e pedaços de colmos. Essa quantidade varia de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de material seco (OLIVEIRA et al., 2003), o que corresponde de 40 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (TRIVELIN et al., 1995; 1996; CANTARELLA, 1998), porém, proporcionalmente há muito mais carbono, resultando numa relação C:N em torno de 100. Com isso é de se esperar uma intensa imobilização de N do solo. Com isso, o N mineralizado da palha fica disponível na segunda metade do ciclo da cultura (GAVA et al., 2005).

As principais desvantagens desse sistema de manejo apresentadas são a dificuldade na realização das práticas culturais, como o cultivo da soqueira; a volatilização do N-fertilizante de fontes nitrogenadas propícias à volatilização quando a incorporação for ineficiente ou o adubo aplicado na superfície (MAGRO, 1998; TRIVELIN et al., 1998; CANTARELLA et al., 1999; COSTA et al., 2003), reduzindo dessa forma suas eficiências agronômicas.

O processo de volatilização de amônia aplicando-se uréia envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando na formação de

carbonato de amônio. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais. A uréia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada em 2 ou 3 dias, dependendo da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a uréia é aplicada. Estes fatores influenciam diretamente a atividade dos microrganismos presentes no solo e na palha, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (REYNOLDS et al., 1987).

Tem-se buscado solucionar e/ou mitigar as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  da uréia. Algumas ferramentas podem ser utilizadas, como a incorporação da uréia no solo (LARA CABEZAS e YAMADA, 1999; CANTARELLA et al., 1999), mistura com vinhaça (GAVA et al., 2001), aumento da nitrificação (FLEISHER e HAGIN, 1981) e o tratamento da uréia com inibidor da urease (BYRNES e FRENEY, 1995).

Os maiores benefícios da utilização de inibidores de urease são obtidos quando a incorporação da uréia é difícil, há poucas oportunidades da uréia ser carregada para o solo pela água infiltrante e pela alta atividade da urease na superfície do solo devido ao revolvimento do solo ou acúmulo de material orgânico. Estudos preliminares tem demonstrado que os inibidores de urease que estão sendo comercializados tem uma eficiência por um período de tempo variável, em torno de 3 (FILLERY e De DATTA, 1986) a 12-14 dias (BRONSON et al., 1989; CHRISTIANSON et al., 1990). Isto pode estar relacionado ao pH do solo (HENDRICKSON e DOUGLAS, 1993), bem como pelas demais propriedades químicas do solo (BREMNER e CHAI, 1986; WATSON et al., 1994), pela temperatura e umidade. Assim, maiores estudos em relação ao comportamento destes inibidores ao serem aplicados no campo em diferentes condições climáticas são necessários, visto que a aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura da cana-de-açúcar ocorre geralmente logo após o início da brotação da soqueira. Vale lembrar que a colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo ocorre desde março até novembro e, que nesse período tem regimes hídricos bem distintos.

Este trabalho teve por objetivo estudar a eficiência de diferentes fontes e doses de N na adubação nitrogenada em cana crua, com ou sem a presença de inibidor de urease, quanto as perdas de N por volatilização e na produtividade da cultura.

### 3.2 Material e métodos

Os experimentos de campo foram realizados em Piracicaba, SP (22°40'S, 47°53'W, 500m altitude), em um Latossolo Amarelo, em dois anos (Ano/safra 2005-06 e 2006-07). Antes do inicio do experimento foi realizado uma amostragem do solo para avaliação dos atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-40 cm, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados de parâmetros químicos e físicos do solo antes da instalação dos experimentos a campo

Prof. (cm)	pH <sup>1</sup>	H + Al	Al	Ca	Mg	K	P <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	MO	V	sand	silt	clay
		-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					-mg dm <sup>-3</sup> -		g dm <sup>-3</sup>	%	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Ano safra 2005/06													
0 - 20	4,9	25	1	15	6	1,1	7	13	15	47	760	60	180
20 - 40	4,4	28	4	7	4	0,4	3	16	11	29	760	40	200
Ano safra 2006/07													
0 - 20	4,9	28	0,5	21	7,5	1,1	9	4,5	15	52	800	30	170
20 - 40	4,6	31	2	18	5	0,3	22	5	13	43	700	60	240

<sup>1</sup>pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, <sup>2</sup>P em Resina, <sup>3</sup>Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5)

No primeiro ano safra (2005/06) foi utilizado o cultivar SP832847, após o terceiro corte e no segundo ano safra foi utilizado o cultivar RB867515, após segundo corte. Em ambos anos a aplicação dos tratamentos foi realizada sobre a palhada de cana-de-



açúcar, haja vista que a colheita anterior foi realizada mecanicamente, sem despalha a fogo. A palhada de cana foi quantificada em 8,7 e 12,7 t ha<sup>-1</sup> (MS), no primeiro e segundo ano, respectivamente.

Foi empregado delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições no primeiro ano e fatorial no segundo. Cada unidade experimental (parcela) foi constituída de sete linhas de cana-de-açúcar com 1,4 metros de espaçamento e 13 metros de comprimento totalizando área de 127,4 m<sup>2</sup>. As avaliações serão realizadas nas cinco linhas centrais, sendo que uma linha em cada lateral da parcela será considerada bordadura.

As parcelas receberam 6 fontes de adubos nitrogenados, uréia (45% N), uréia com inibidor da urease (45% N; NBPT 1%), uréia com inibidor de nitrificação (46%N; dicianodiamida + 1H-1,2,4-Triazole), sulfato de amônio, nitrato de amônio e sulfonitrato de amônio (26% N) e nas subparcelas, serão estudadas doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). A aplicação do fertilizante foi realizada no início de novembro de 2005 (1º ano) e final de agosto de 2006 (2º ano), sobre a palha de cana remanescente, de forma manual e localizada na parcela, procurando-se colocar o fertilizante paralelamente a 25 cm de distância das linhas de cana.

Logo após aplicação dos fertilizantes nitrogenados foi avaliada a volatilização de N-NH<sub>3</sub> nos tratamentos com uréia e sem nitrogênio, através da instalação de coletores semi-abertos, conforme descrito por LARA CABEZAS et al. (1999). As espumas embebidas com ácido, foram coletadas e trocadas até se obter a estabilização do processo de volatilização de amônia.

A diagnose foliar de N e S foi realizada conforme MALAVOLTA et al. (1997), em média 4 meses após o início da brotação da soqueira.

A colheita da parte aérea (colmos) foi realizada em setembro de 2006 e 2007, respectivamente. No primeiro ano a colheita foi realizada mecanicamente e no segundo com a queima da palhada.

### 3.3 Resultados e discussão

As Figuras 1 e 2 apresentam a porcentagem de N-NH<sub>3</sub> volatilizada nas safras agrícolas de 2005/06 e 2006/07, respectivamente, nas doses de 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, para as fontes amídicas de nitrogênio (N) (uréia (UR), uréia + inibidor de urease (UR + NBPT) e uréia + inibidor de nitrificação (UR + DCD)) e a fonte de sulfonitrato de amônio (SNA).

Observa-se um comportamento semelhante nas duas safras agrícolas, ou seja, uma perda acentuada de N-NH<sub>3</sub> nos primeiros dias das fontes de UR e uma taxa muito baixa de perda do SNA. As fontes com inibidores foram eficientes em mitigar as perdas de N por volatilização. Houve uma redução de 59,8 e 16,2% na safra 2005/06 e 58,3 e 9,3% na safra 2006/07 para as fontes UR + NBPT e UR + DCD, respectivamente.

A perda de N da UR por volatilização foi da ordem de 22 e 18,4% para as safras 2005/06 e 2006/07, respectivamente, demonstrando que as perdas de N não foram muito elevadas. Isso pode ser devido as chuvas ocorridas no período de realização dos dois ensaios, especialmente nos primeiros dias após a aplicação dos adubos nitrogenados (Figuras 3 e 4).

Principalmente na segunda safra era esperado uma perda maior de N, mas a chuva ocorrida inesperadamente na noite seguinte à instalação do ensaio no campo pode ter “incorporado” o N-fertilizante na camada superficial do solo. Porém, encontra-se na literatura trabalhos que demonstram que as perdas de N nessas condições de manejo (cana crua) não são muito altas. COSTA et al. (2003) obtiveram resultados semelhantes na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (UR). CANTARELLA et al. (2008) observaram perdas médias de 14,5% da UR aplicada em sete ensaios de campo conduzidos com cana crua em diversas localidades do Estado de São Paulo. Esta porcentagem de perda era bem menor quando as condições de umidade era baixas, ou seja, desses sete ensaios quatro foram conduzidos em condições de seca, resultando em perdas médias em torno de 20,5%; e três em condições de clima chuvoso e muito chuvoso e com perdas na ordem de 6,5%.

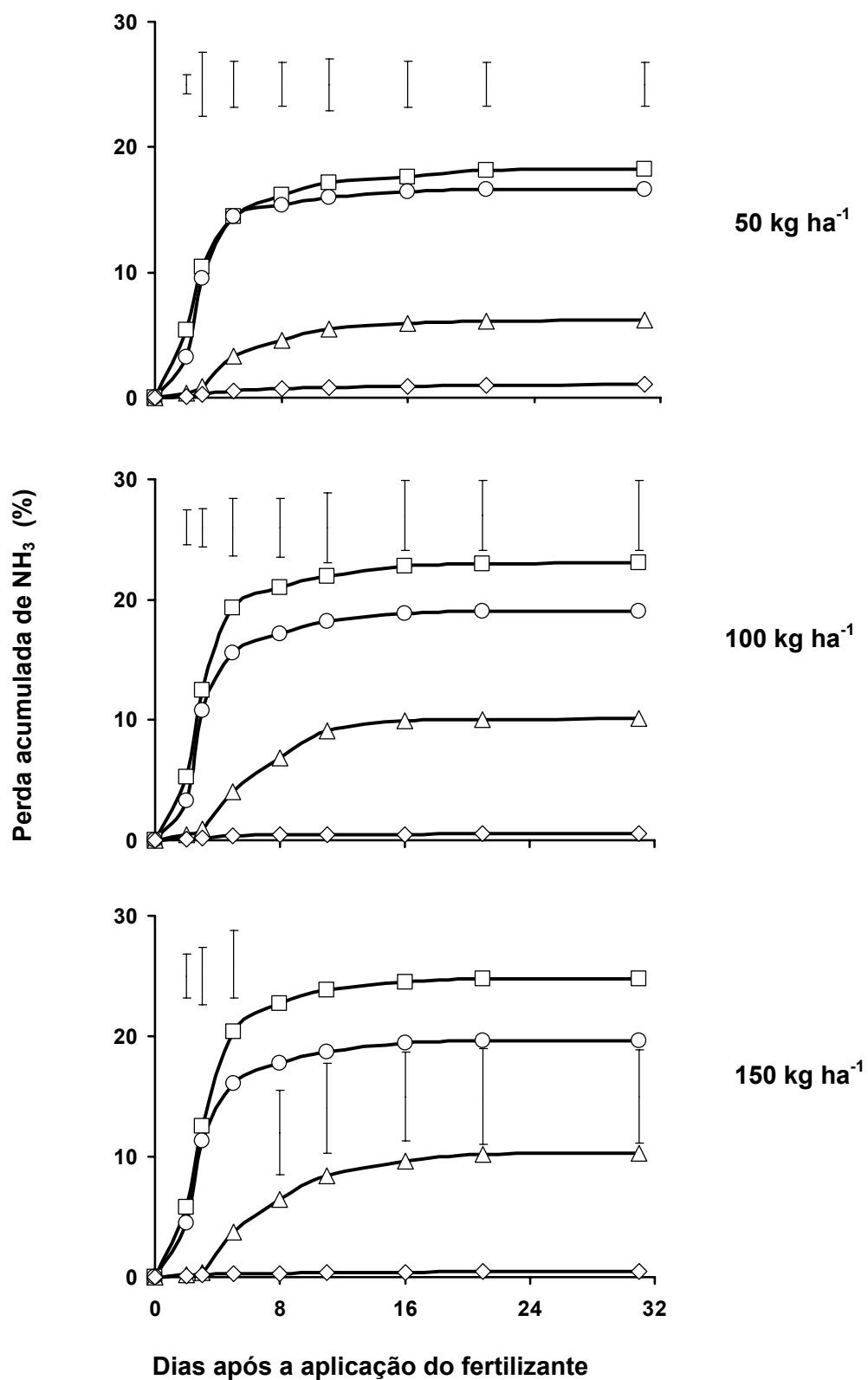


Figura 1 - Porcentagem de volatilização de amônia em três doses (50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) de diferentes fontes de fertilizantes N. Safra 2005/2006. (□ UR; ○UR + DCD; △ UR + NBPT; ◇ SNA). Barras verticais = DMS pelo teste de Tukey (p < 0,05)

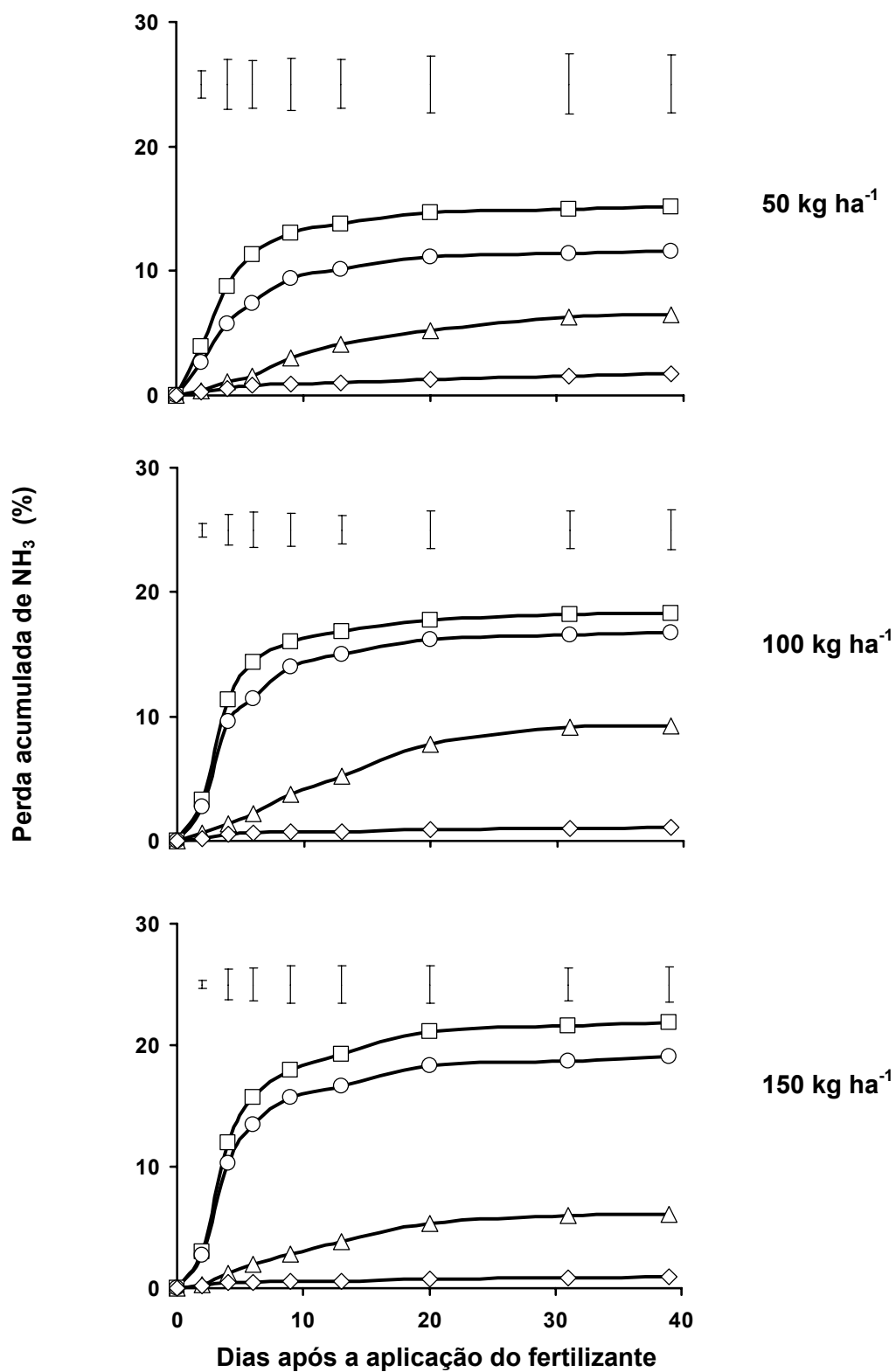


Figura 2 - Porcentagem de volatilização de amônia em três doses (50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) de diferentes fontes de fertilizantes N. Safra 2006/2007. (□ UR; ○UR + DCD; △UR + NBPT; ◇ SNA). Barras verticais = DMS pelo teste de Tukey (p < 0,05)

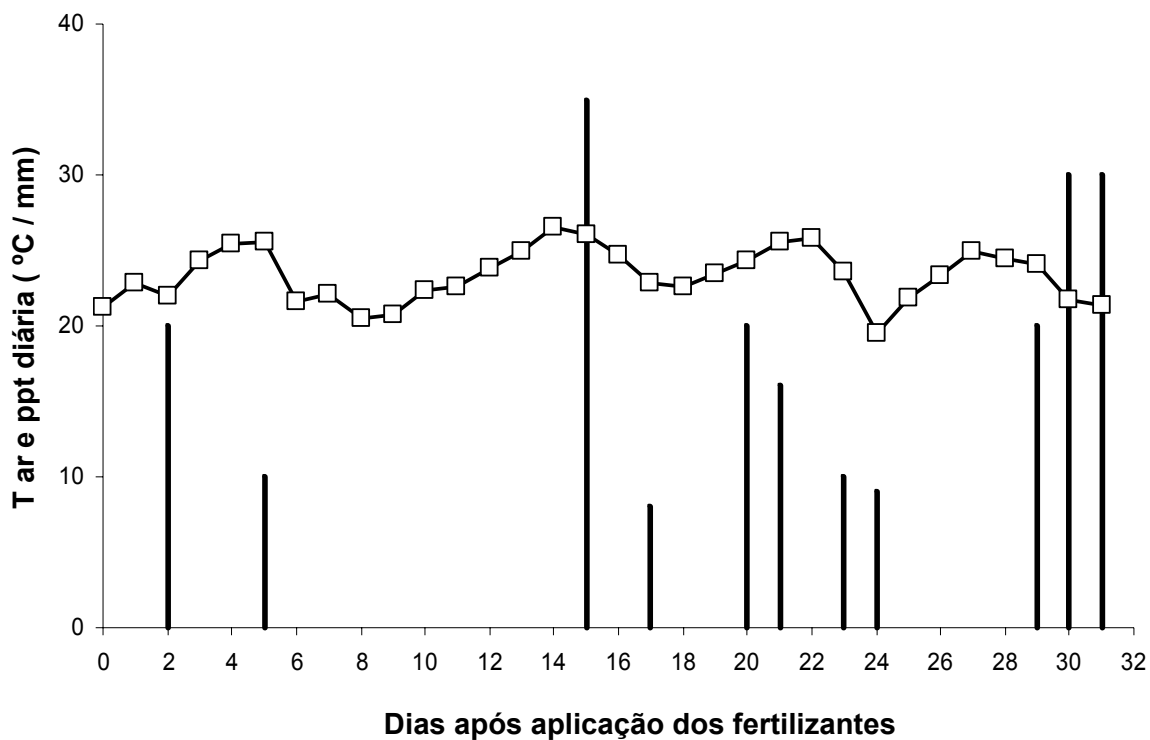


Figura 3 - Temperatura do ar e precipitação diária durante período de avaliação de volatilização. Ano safral 2005/2006. (Dia 0 = 02/11/2005)

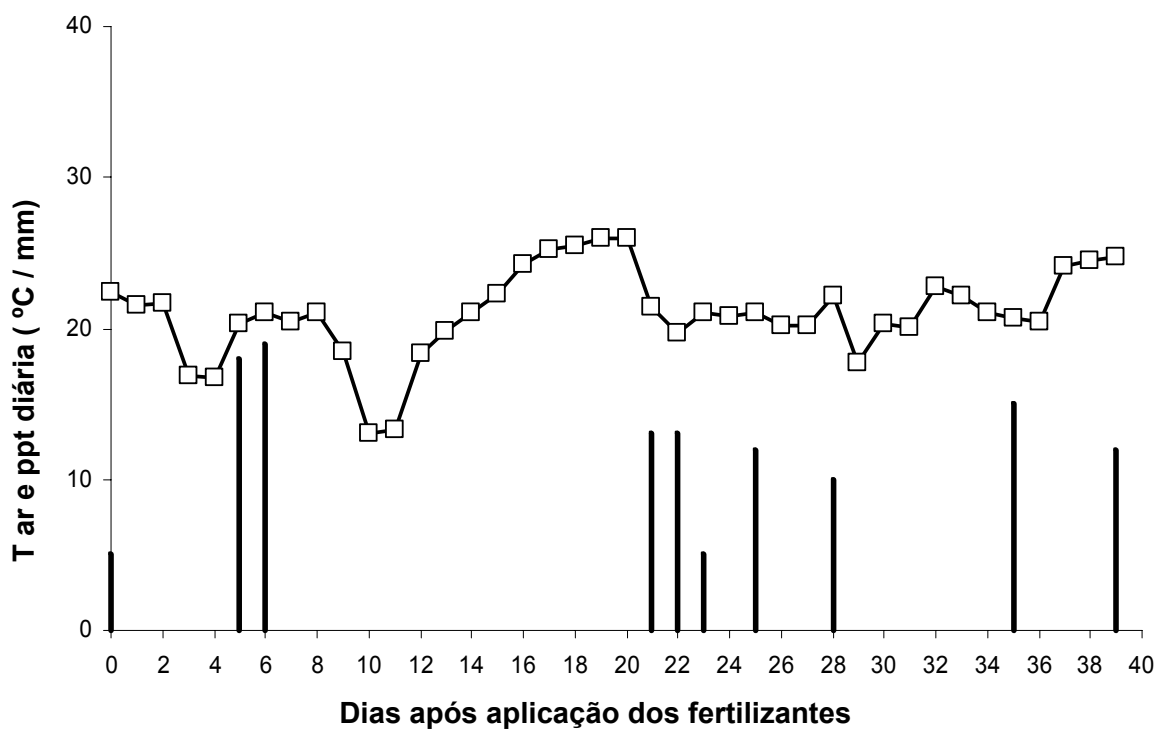


Figura 4 - Temperatura do ar e precipitação diária durante período de avaliação de volatilização. Ano safral 2006/2007. (Dia 0 = 26/08/2006)

Tabela 3 - Teor foliar de nitrogênio e enxofre em função de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados aplicados em cana crua em duas safras agrícolas

Fontes	Urea		Urea + NBPT		Urea + DCD		SA		NA		SNA	
	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07
-----g kg <sup>-1</sup> -----												
<b>Doses</b>	<b>Nitrogênio</b>											
<b>0</b>	20,5	21,0	20,3	21,8	20,3	20,8	20,8	21,0	20,3	20,5	21,3	21,0
<b>50</b>	20,8	21,5	20,5	21,8	20,3	21,3	21,0	22,8	21,3	22,0	21,0	22,0
<b>100</b>	22,3	22,3	21,3	23,0	21,5	21,8	21,0	24,3	21,5	22,5	23,5	23,5
<b>150</b>	23,5	23,8	22,8	24,0	23,0	22,5	23,2	23,8	2,8	23,5	23,3	24,8
<b>Efeito</b>	L**	L**	L**	L**	L**	L**	L**	L**	L*	L**	L**	L**
<b>C.V.%</b>	4,2	6,3	4,9	7,3	4,4	5,4	3,1	8,0	5,2	5,2	4,2	7,1
	<b>Enxofre</b>											
<b>0</b>	1,4	2,0	1,4	2,1	1,4	1,9	1,5	2,0	1,4	1,9	1,5	1,9
<b>50</b>	1,4	1,8	1,4	2,0	1,4	1,8	1,6	2,1	1,4	2,1	1,5	2,1
<b>100</b>	1,6	2,0	1,4	1,8	1,5	2,1	1,8	2,3	1,4	1,9	1,8	2,2
<b>150</b>	1,5	2,0	1,5	2,1	1,5	1,8	2,1	2,5	1,4	1,9	1,9	2,2
<b>Efeito</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	L**	L*	ns	ns	ns	ns
<b>C.V.%</b>	23,9	20,4	26,7	12,9	21,4	12,9	20,4	15,7	32,7	12,1	28,4	12,1

Tabela 4 - Valores de TCH, PCC e TPH em função de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados aplicados em cana crua em duas safras agrícolas

Fontes	Urea		Urea + NBPT		Urea + DCD		SA		NA		SNA	
	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07	05/06	06/07
-----ton ha <sup>-1</sup> -----												
<b>Doses</b>	<b>TCH</b>											
<b>0</b>	53,6	54,7	53,7	54,8	50,4	52,1	56,5	51,8	54,1	51,8	56,5	51,1
<b>50</b>	59,5	56,2	61,7	60,9	62,8	58,9	63,2	53,1	63,5	56,0	66,8	58,2
<b>100</b>	65,3	64,5	63,2	63,4	63,3	62,2	63,9	65,3	66,9	61,3	71,6	55,4
<b>150</b>	67,9	69,5	68,1	68,2	67,3	69,6	73,4	64,0	72,4	67,6	71,9	62,5
<b>Efeito</b>	L*	L*	L**	L**	L**	L*	L*	L**	L*	L**	L*	L*
<b>C.V.%</b>	12,8	12,5	9,5	9,6	10,4	16,1	12,3	11,5	14,3	10,8	10,6	9,5
	<b>PCC</b>											
<b>0</b>	16,4	16,1	16,4	15,8	16,3	15,5	16,6	15,6	16,9	16,2	16,5	16,0
<b>50</b>	16,6	15,4	16,5	15,8	16,5	16,4	16,6	15,9	16,4	15,6	16,3	16,1
<b>100</b>	16,3	15,2	16,1	16,0	16,4	15,7	16,6	15,8	16,9	16,0	16,8	15,9
<b>150</b>	16,4	16,2	16,4	15,9	17,0	15,5	16,7	16,0	16,6	15,7	16,7	14,8
<b>Efeito</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>C.V.%</b>	3,1	2,7	4,4	4,2	4,3	4,0	4,0	2,1	2,0	4,1	3,9	4,8
	<b>TPH</b>											
<b>0</b>	8,8	8,8	8,8	8,7	8,2	8,1	9,4	8,1	9,2	8,4	9,3	8,2
<b>50</b>	9,9	8,6	10,2	9,6	10,4	9,7	10,5	8,4	10,4	8,7	10,9	9,4
<b>100</b>	10,6	9,8	10,2	10,2	10,4	9,7	10,6	10,4	11,3	9,8	10,0	8,8
<b>150</b>	11,1	11,3	11,2	10,8	11,4	10,8	12,3	10,2	12,0	10,6	12,0	9,3
<b>Efeito</b>	L*	ns	L**	ns	L**	ns	L**	ns	L**	ns	L*	ns
<b>C.V.%</b>	12,0	15,4	9,5	15,9	11,5	19,2	12,1	17,3	13,3	13,3	12,9	10,9

A perda acumulada em função das doses de N encontram-se na tabela 2. Observa-se que houve um aumento das perdas com o aumento da dose do fertilizante nitrogenado, o que seria esperado. Porém observa-se que, em geral, há um aumento proporcionalmente maior ao aumento da dose das fontes amídicas. Isso fica visualmente mais evidente comparando-se a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N com as doses maiores de 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, nessas doses as perdas foram maiores do que o dobro ou o triplo do encontrado na menor dose. Esse efeito pode estar relacionado à concentração do fertilizante em uma menor área, fazendo com que a uréase da palha e/ou do solo atue por mais tempo na hidrólise no N-amídico. VITTI (2003) observou que houve perda de 46,3% da UR por volatilização quando esta foi aplicada em faixas, enquanto que houve perdas de 37% quando o fertilizante foi aplicado em área total, nas mesmas condições. SANTOS et al. (1991) observaram um aumento na velocidade de hidrólise da UR com o aumento na concentração do fertilizante, porém não proporcional às doses avaliadas. Nessa reação, há consumo de H<sup>+</sup> do meio, elevando, conseqüentemente o pH. O que favorece a volatilização de amônia, principalmente com o aumento das doses de UR (KIEHL, 1989).

A ausência de resposta à diminuição de perdas de N pela volatilização de NH<sub>3</sub> pode estar relacionada ao que já foi exposto anteriormente, ou seja, a quantidade de N perdida, não foi suficiente para causar redução na produção de colmos. Há trabalhos que mostram redução na produção com a perda de N por volatilização (GOULD et al., 1986; VITTI, 2003). Ausência de resposta a inibidores de urease (NBPT) e nitrificação (DCD ou DMPP) são encontrados na literatura (MENÉNDEZ et al., 2009; MONTEMURRO et al., 1998), apesar da diminuição de perdas de N.

O aumento da produtividade da cana-de-açúcar em função das doses de N (Tabela 3) pode ser devido a melhoria no estado nutricional da cultura. Isto mostra que a adubação nitrogenada deve ser realizada, mesmo quando esta já foi colhida por alguns ciclos (socas) e a produtividade neste caso não é tão elevada (VITTI et al., 2007). CARDOSO (2002), observou que a redução da adubação nitrogenada (de 100 para 30 kg ha<sup>-1</sup> de N), causou queda drástica no rendimento de colmos. Com o retorno da adubação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, no ciclo seguinte a produtividade aumentou, porém



com ganhos não tão expressivos em comparação as que antecederam o período da redução da aplicação de N.

### 3.4 Conclusões

1. O uso de inibidor de urease promove redução de perdas de N por volatilização de N-NH<sub>3</sub> da fonte uréia. A fonte nítrico-amoniacoal tem pouca perda de N comparada à fonte amídica.

2. O uso de diferentes fontes de N não causa alteração na produtividade de colmos de cana-de-açúcar, independente das taxas de perda de N das mesmas.

3. A produtividade de cana-de-açúcar aumenta com o aumento da dose de N, o que demonstra que esta deve ser realizada, independente da fonte de N utilizada.

### Referências

BREMNER, J.M.; CHAI, H.S. Evaluation of N-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 17, p. 337-351, 1986.

BRONSON, K.F.; TOUCHTON, J.T.; HILTBOLD, A.E.; HENDRICKSON, L.L. Control of ammonia volatilization with N-(N-butyl)thiophosphoric triamide in loamy sands. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1439-1451, 1989.

BYRNES, B.H.; FRENEY, J.R. Recent developments on the use of urease inhibitors in the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, p. 251-259, 1995.

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 21-22, 1998.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, p. 25, 1999.

CANTARELLA H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from uréase

inhibitor-treated applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.

CARDOSO, F.P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto no Cerrado**, Piracicaba, v. 7, n. 26, p.4, 2002.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G.A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, p. 21-27, 1990.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003.

FILLERY, I.R.P.; DE DATTA, S.K. Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice fields: I. Methodology, ammonia fluxes, and nitrogen-15 losses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 80-86, 1986.

FLEISHER, Z.; HAGIN, J. Lowering ammonia volatilization losses from urea application by activation of nitrification process. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 2, p. 127-134, 1981.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 689-695, 2005.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A.C.; PENATTI, C.P. Perdas de amônia proveniente da mistura de vinhaça e uréia aplicada ao solo com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, p. 40-42, 2001.

GOULD, W.D.; HAGEDORN, C.; MCCREADY, R.G.C. Urea transformation and fertilizer efficiency in soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 40, p. 209-238, 1986.

HENDRICKSON, L.L.; DOUGLAS, E.A. Metabolism of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1613-1618, 1993.

KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 75-80, 1989.

LARA CABEZAS, W.A.R.; YAMADA, T. Uréia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, v. 86, p. 9-10, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 30, p. 389-406, 1999.

MAGRO, J.A. Sistema cana crua: perspectivas de viabilidade. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 31-32, 1998.

MENÉNDEZ, S.; MERINO, P.; PINTO, M.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; ESTAVILLO, J.M. Effect of N-(n-butyl) thiofosforic triamide and 3,4 dimethylpyrazole phosphate on gaseous emissions from grasslands under different soil water content. **Jornal of Environmental Quality**, Madisomn, v., 38, p. 27-35, 2009.

MONTEMURRO, F.; CAPOTORTI, G.; LACERTOSA, G.; PALAZZO, D. Effects of uréase and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, p. 245-252, 1998.

OLIVEIRA, M.W.; BARBOSA, M.H.P.; MENDES, L.C.; DAMASCENO, C.M. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, p. 30-31, 2003.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia -<sup>15</sup>N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia -<sup>15</sup>N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte II: Perdas por volatilização de amônia e recuperação do <sup>15</sup>N aplicado ao solo. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, p. 23-29, 1998.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114p. Tese (Doutorado na área de ) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 249-256, 2007.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J.; ALLEN, M.D.B.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization

from surface-applied urea. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

## 4 ESTUDOS COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO DICIANODIAMIDA EM TRÊS SOLOS FERTILIZADOS COM SULFATO DE AMÔNIO

### Resumo

A eficiência dos inibidores de nitrificação depende de vários fatores como temperatura, umidade e tipo de solo. A aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados com o uso de DCD podem ter sua eficiência alterada quando aplicados sobre a palha. Foi desenvolvido um experimento de incubação com o objetivo avaliar a eficiência do inibidor de nitrificação na nitrificação de sulfato de amônio, em três tipos de textura de solo (arenosa, média e argilosa) e três formas de aplicação (superfície, superfície com palha de cana-de-açúcar e incorporado), utilizando-se uma dose de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de N. Houve redução da taxa de oxidação de amônio como uso de DCD, com maior eficiência no solo de textura média e, conseqüentemente menor formação de nitrato. Com a redução da taxa de nitrificação houve uma menor acidificação do solo. Houve redução da população de microrganismos nitrificadores com o uso de DCD.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; Nitrificação; Inibidor de nitrificação

### Abstract

The efficiency of nitrification inhibitors it depends on of many factors like temperature, soil umidity and soil type. Nitrogen fertilizers applied on topsoil in association with DCD can be have some altertions when applied over crop trash. A incubation experiment was carried out with the aim to evaluate the efficiency of DCD on nitrification process of ammonium sulphate in three soil types and textures (sandy, intermediate and clay), and three applications forms (topsoil, over sugarcane trash and mixed in soil), with a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  N rate. Ammonium oxidation process in incubation study was inhibited with DCD use and, this inhibition was high in the soil with less clay. With reduction in nitrification process acidification of soil was lower. It was less nitrification microorganisms in soil with using DCD.

Keywords: Nitrogen fertilization; Nitrification; Nitrification inhibitor

### 4.1 Introdução

As perdas do nitrogênio por lixiviação ocorrem quando a translocação do elemento se dá através de fluxo de água no perfil do solo a uma profundidade além daquela explorada pelo sistema radicular da planta, tendo como conseqüência a

diminuição da eficiência da adubação e contaminação do lençol freático. A intensidade de lixiviação depende de vários fatores relacionados ao solo, clima, da natureza ou forma em que o elemento se encontra, doses de fertilizantes, da intensidade de mineralização da matéria orgânica e com que velocidade os nutrientes são retirados da solução do solo pelos vegetais ou pelos microrganismos, respectivamente. O nitrogênio lixiviado se encontra quase que exclusivamente na forma de  $\text{NO}_3^-$  (SOUTHWICK et al., 1995). Trabalhos têm demonstrado que as perdas de N por lixiviação na cultura de cana-de-açúcar não têm sido muito elevadas (OLIVEIRA et al., 1999; 2002). Porém, em algumas situações onde possa haver a risco de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , pode-se lançar mão de algumas técnicas, como o parcelamento da adubação e a utilização de inibidores de nitrificação.

Esses compostos retardam o processo oxidativo das bactérias do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_2^-$  no solo (primeira fase da nitrificação) por um período de tempo pela diminuição da atividade das bactérias do gênero *Nitrosomas* no solo. A segunda fase da nitrificação, onde as bactérias do gênero *Nitrobacter* promovem a transformação de  $\text{NO}_2^-$  para  $\text{NO}_3^-$ , normalmente não é alterada.

Tem-se relatado na literatura inúmeros compostos como inibidores de nitrificação (BUNDY e BREMNER, 1973; MCARTY e BREMNER, 1989; AULAKH, et al., 2001; ZERULLA et al., 2001). Esses compostos ocupam (ligam-se) os sítios ativos da monooxigenase, que um amplo substrato para a oxidação catalítica. Conforme o produto resultante dessa ligação denomina-se o mecanismo base de inibição, sendo os principais os compostos de S, compostos de acetileno e compostos heterocíclicos (MCARTY, 1999). A estabilidade dessa ligação confere a habilidade dos compostos em retardar o processo de nitrificação (SAHRAWAT, 1980). Diversos fatores do solo, como a matéria orgânica, a temperatura, o valor pH e a umidade do solo influem diretamente na eficiência dos inibidores de nitrificação (PRASAD e POWER, 1995; BARTH et al. 2001). Logo, há resultados distintos em diferentes tipos de solo (GIOACCHINI et al., 2002). Estudos demonstram que os inibidores de nitrificação podem ser eficientes na redução do processo de oxidação da amônia por alguns dias ou semanas (CHAVES et al., 1995) porém, esse efeito pode não ser significativo após 6 meses (GUIRAUD et al.,

1989). Mesmo assim, obteve-se incremento na produção de colmos na cultura da cana-de-açúcar (PARASHAR et al., 1980; SINGH et al., 1987).

No Brasil, há poucos trabalhos sobre o comportamento dos diferentes compostos inibidores de nitrificação. Assim, não se sabe se estes teriam o mesmo efeito nas condições de clima e solo brasileiras comparadas às anteriormente estudadas, como por exemplo solos de clima temperado.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do inibidor de nitrificação na nitrificação de sulfato de amônio, em três tipos de textura de solo (arenosa, média e argilosa) e três formas de aplicação (superfície, superfície com palha de cana-de-açúcar e incorporado).

#### **4.2 Material e métodos**

O experimento foi instalado em laboratório com ambiente climatizado (25-27 °C), na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. Foram utilizados três tipos de solo com diferentes teores de argila: “arenoso” (máx. 20% de argila), textura média (máx. 35% de argila) e argiloso (mais de 60% de argila). Os solos foram coletados em área agrícola já corrigida (pH > 5,1), na camada de 0-20 cm.

O solo foi seco ao ar, peneirado (2 mm) e caracterizado químicamente e fisicamente (textura). As amostras de solo (50g) foram acondicionadas em recipientes plásticos de 500 ml e, mantidos a umidade constante de 70% da capacidade de campo, por 10 dias para ativar a flora microbiana.

Foi adotado o sistema fatorial inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos num arranjo fatorial 3x3x3x8 (3 solos; 3 modos de aplicação, 3 tratamentos e 8 épocas de avaliação), com três repetições. Os tratamentos foram: testemunha (solo sem fertilização), sulfato de amônio e sulfato de amônio com inibidor de nitrificação, na dose de 300 mg de N por kg de solo. No tratamento com inibidor, este irá compor 15% da dose de N.

Após receberem os respectivos tratamentos, foram incubadas por períodos pré estabelecidos de 0, 7, 14, 21, 28, 42, 63 e 98 dias, mantendo-se temperatura e umidade

constante (25°C) em ambiente no escuro. Nas épocas de avaliação foi adicionado 125 ml de água nos recipientes plásticos sendo feita leitura de pH (água; 1:2,5) após agitação de 10 minutos. Após a leitura de pH foi adicionado 125 ml de uma solução de KCL 4 mol L<sup>-1</sup> (extração KCl 2 mol L<sup>-1</sup>; relação solo-solução 1:5)e, após agitação de 1 hora e filtragem coletou-se extrato para determinação dos teores de amônio e nitrato, determinados por destilação, segundo CANTARELLA e TRIVELIN ( 2001).

Foi realizado a quantificação de organismos oxidantes de amônio segundo ANDRADE et al. (1994), somente no tratamento incorporado e, em três épocas de amostragem (0, 21 e 42 dias).

#### **4.3 Resultados e discussão**

A taxa de oxidação de amônio teve comportamento diferenciado para cada tipo de solo (Fig. 1). Observa-se que o solo argiloso teve uma taxa de oxidação do



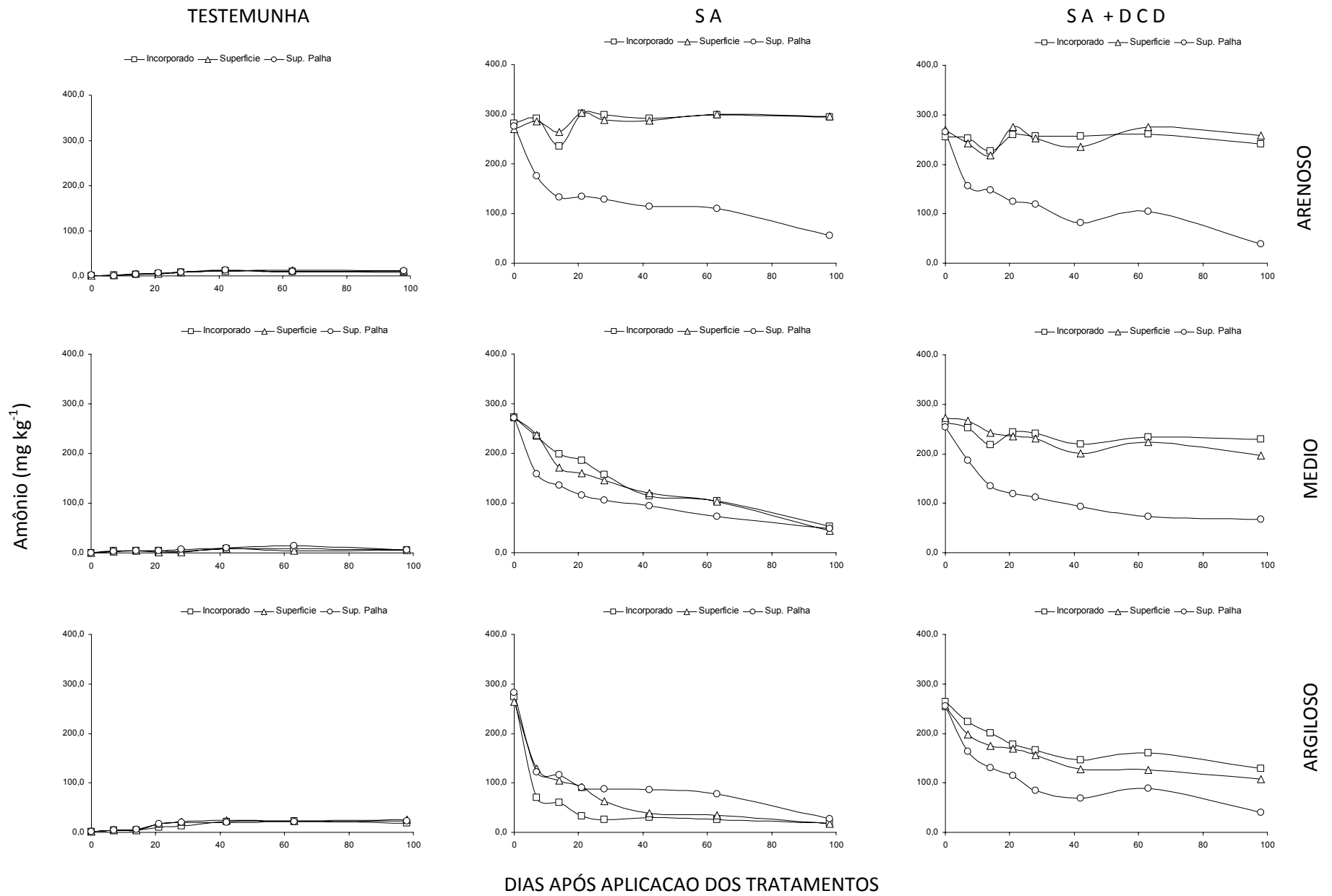


Figura 1. Teor de amônio em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em diferentes tipos de solo e formas de aplicação.

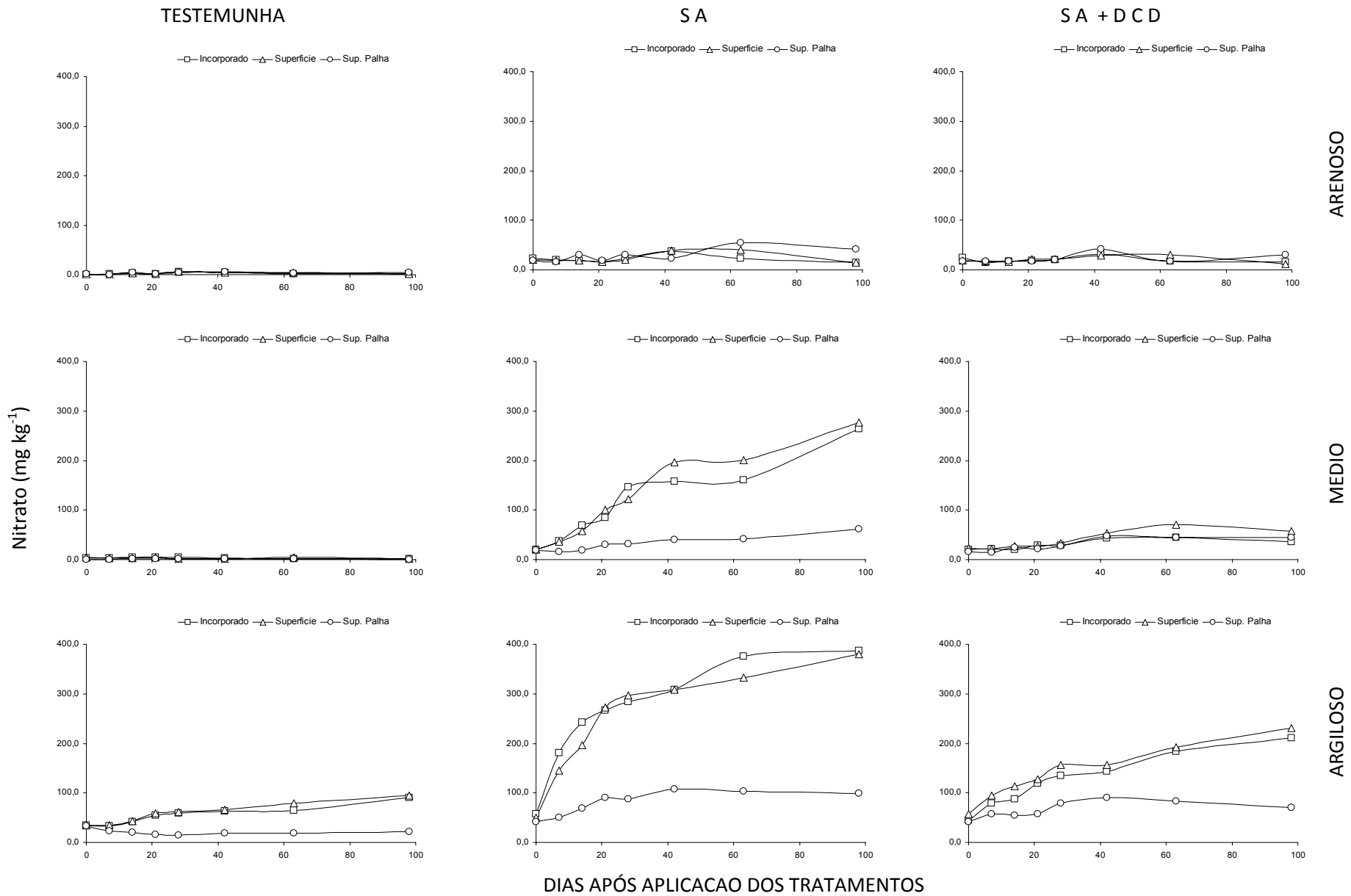


Figura 2 - Teor de nitrato em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em diferentes tipos de solo e formas de aplicação

ARENOSO

MEDIO

ARGILOSO

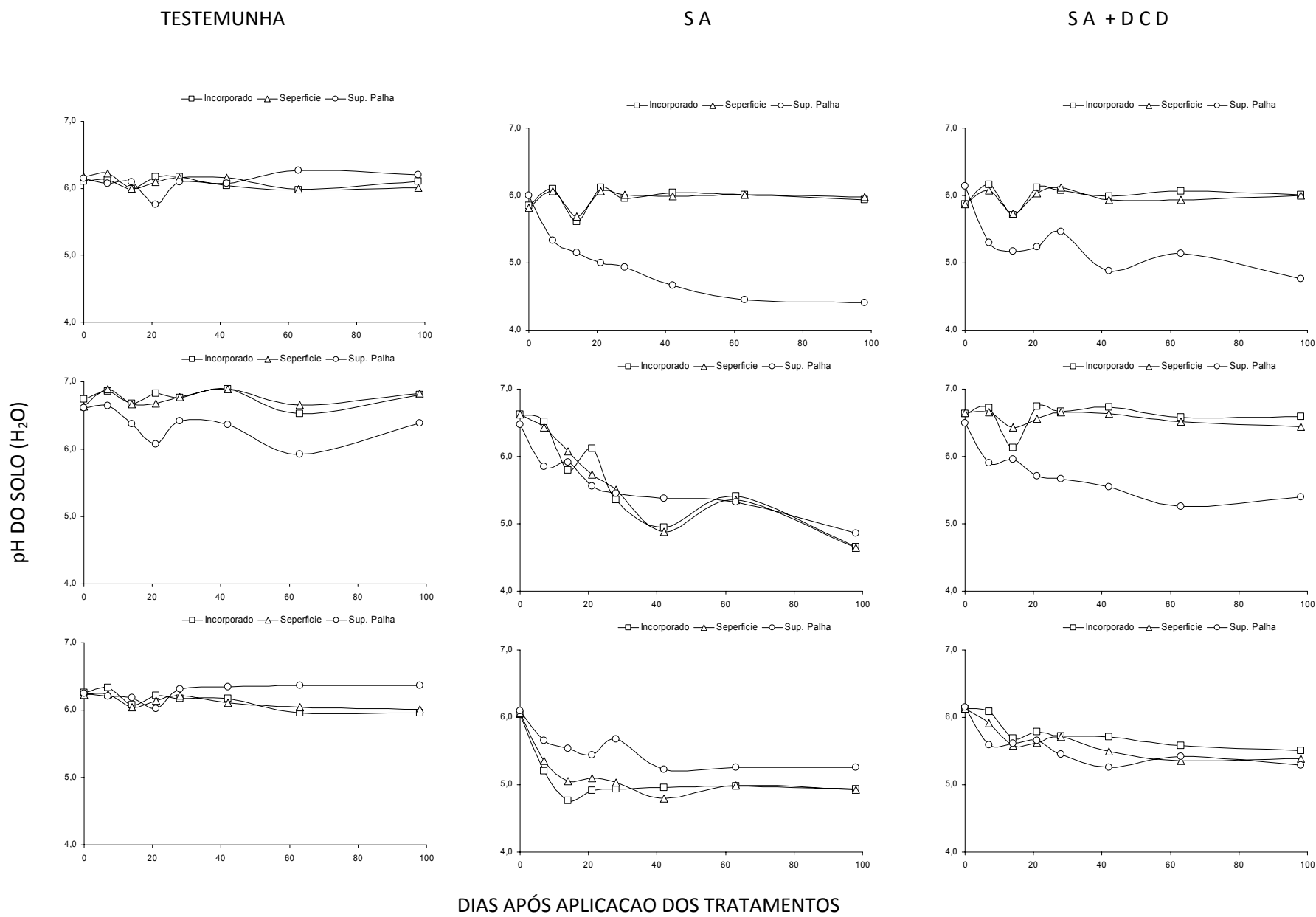


Figura 3 - Valor de pH em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em diferentes tipos de solo e formas de aplicação

ARENOSO

MEDIO

ARGILOSO

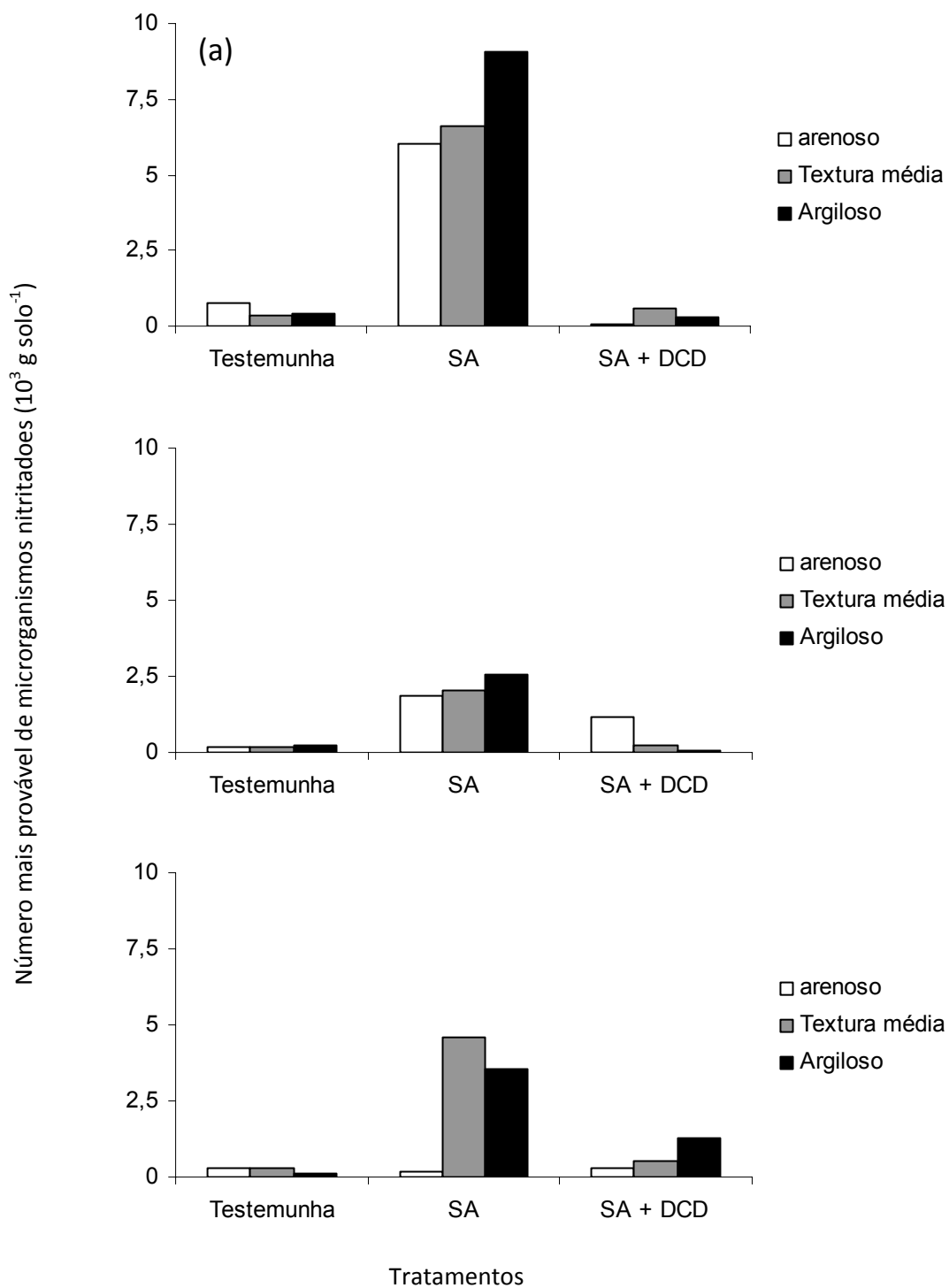


Figura 4 – População de microrganismos oxidantes de amônio em três tipos de solo, fertilizados com sulfato de amônio (SA) ou não (Testemunha) ou com inibidor de nitrificação (SA + DCD), aos 7 (a), 21 (b) e 42 (c) dias após aplicação dos tratamentos

amônio muito mais rápido que os demais, tendo, portanto, maior atividade microbiológica, o que é normal em solos argilosos. Já o solo arenoso teve sua taxa de oxidação de amônio após os 20 dias, devido, provavelmente, à falta de água, pois o mesmo por ser muito arenoso tem uma baixa capacidade de retenção de água e com uma pequena perda já se atinge valores de potencial hídrico limitantes ao desenvolvimento e/ou metabolismo biológico. Sendo assim, este solo não terá seus resultados muito discutidos, pois os mesmos encontram-se comprometidos. Observa-se, porém que com a palha houve oxidação de amônio, que comprova a falta de água, visto que a quantidade de palha adicionada continha uma boa quantidade de água.

A oxidação de amônio resultou em aumento do teor de nitrato no solo (Fig 2), exceto para os tratamentos com palha. Neste caso o N teve uma alta taxa de imobilização pela palha de cana-de-açúcar, que apresenta uma alta relação C/N.

Considerando a eficiência do DCD nos solos de textura média e argilosa, observa-se que este é altamente eficiente em solos de textura mais fina. Resultados semelhantes foram obtidos por BARTH et al. (2008). Estes autores demonstraram que NIs são mais eficientes em solos de textura fina e isto é relacionado aos constituintes inorgânicos do solo que adsorvem o NI para a fração argila do solo (BARTH et al. 2001).

A adição de palha causou uma alta taxa de imobilização do N aplicado, pois se observa que houve redução do teor de amônio sem uma formação de nitrato correspondente. O uso de DCD não alterou ou interferiu no efeito de imobilização do N pela palha.

A acidificação do solo foi alterada pelo tipo de solo e pelo uso de DCD (Fig. 3). No solo argiloso houve uma rápida acidificação do solo devido à rápida taxa de nitrificação, porém este teve valores finais semelhantes ao solo de textura média. O uso de DCD promoveu uma menor acidificação do solo, devido a inibição do processo de nitrificação do solo, principalmente no solo de textura média.

A população de microrganismos nitritadores avaliados no tratamento incorporado teve influencia do uso de DCD (Fig. 4). Observa-se que o uso de DCD diminuiu a

população destes microrganismos, chegando mesmo a valores semelhantes ao controle. Este resultado precisa ser mais elucidado tendo em vista que o DCD age de forma bacteriostática, inibindo ou reduzindo a atividade destes microrganismos sem chegar a mata-los (AMBERGER, 1989).

#### 4.4 Conclusões

1. O uso de DCD foi eficiente na inibição do processo de nitrificação, retardando a conversão de amônio em nitrato.
2. A eficiência do DCD foi bem maior no solo de textura média comparado ao solo argiloso.
3. A redução da taxa de nitrificação reflete numa menor acidificação do solo.
4. O uso de DCD reduziu a população de microrganismos nitritadores.

#### Referencias

- AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1933-1955, 1989.
- ANDRADE, D.S.; MIYAZAWA, M. HAMAKAWA, P.J. Microrganismos amonificadores e nitrificadores. In.: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. cap. 17 p. 356-376.
- AULAKH, M.S.; SINGH, K.; DORAN, J. Effects of 4-amino 1,2,4-triazole, dicyandiamide and encapsulated calcium carbide on nitrification inhibitor in a subtropical soil under upland and flooded conditions. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 33, p. 258-263, 2001.
- BARTH, G.; TUCHER, S. von. SCHMIDHALTER, U. Effectiveness of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as nitrification inhibitor in soil as influenced by inhibitor concentration, application form, and soil matric potential. **Pedosphere**, Oxford, v. 18, p. 378-385, 2008.

BARTH, G.; TUCHER, S. von. SCHMIDHALTER, U. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 34, p. 98-102, 2001.

BUNDY, L.G.; BREMNER, J.M. Inhibitor of nitrification in soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 37, p. 396-398, 1973.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 270-276.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 36, p. 129-135, 2002.

GUIRAUD, G.; MAROL, C.; THIBAUD, M.C. Mineralization of nitrogen in the presence of a nitrification inhibitor. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 29-34, 1989.

McARTY, G W. Modes of action of nitrification inhibitors. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 29, p. 1-9, 1999.

McARTY, G. W.; BREMNER, J. M. Laboratory evaluation of dicyandiamide as a soil nitrification inhibitor. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 2049-2065, 1989.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO A.E.; MURAOKA, T.; MORTATI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 861-868, 2002.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G. J. C.; VITTI, A.C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, p. 28-31, 1999.

PRASAD, R.; POWER, J. F. Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 54, p. 233-281, 1995.

SAHRAWAT, K. L. On the criteria for comparing the ability of compounds for retardation of nitrification in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 55, p. 487-490, 1980.

SOUTHWICK, L.M.; WILLIS, G.H.; JOHNSON, D.C.; SELIM, H.M. Leaching of nitrate, atrazine, and metribuzin from sugarcane in southern Louisiana. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 24, p. 684-690, 1995.

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; LOCQUENGIEN, K.H. von. PASDA, G.; RÄDLE, M. 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. An introduction. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 34, p. 79-84, 2001.

## **5 EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE NITRIFICAÇÃO (DCD E DMPP) EM SOLOS DO BRASIL E ALEMANHA EM DIFERENTES FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (URÉIA E SULFATO DE AMÔNIO).**

### **Resumo**

O processo de nitrificação é a principal fonte de nitrato no solo e, em algumas condições a alta concentração deste pode promover perdas de nitrogênio por lixiviação. O uso de inibidores de nitrificação (NIs) podem ser importantes instrumentos para reduzir a lixiviação de nitrato. As diferentes condições de clima e solo entre os climas temperados e subtropicais podem interferir na eficiência dos inibidores de nitrificação. Um estudo de incubação em laboratório foi realizado com três diferentes tipos de solo do Brasil e um da Alemanha avaliando-se a taxa de nitrificação do amônio proveniente de duas fontes nitrogenadas (uréia e sulfato de amônio) e o pH do solo. O uso de NIs retardou o processo de nitrificação em todos os solos, porém, com uma eficiência bem mais acentuada no solo arenoso. Houve maior eficiência do DCD nos primeiros 10 dias de incubação devido seu maior movimento no solo e no período final de incubação o DMPP foi mais eficiente devido sua menor degradação no solo.

Palavras-chave: Nitrificação; Dicianodiamida (DCD); Fosfato de 3,4-dimetilpirazol (DMPP)

### **Abstract**

The nitrification process is the most important source of nitrate in soil and, in some conditions with high concentration leaching losses can occur. Use of nitrification inhibitors can be important instruments to mitigate nitrate leaching. The contrasting conditions of temperate and subtropical climate and soil can change the efficiency of nitrification inhibitor. A incubation experiment was carried out with soils from Brazil and Germany with the aim to evaluate the nitrification process from two sources (urea and ammonium sulphate) and soil pH. With nitrification inhibitors (DCD and DMPP) the nitrification process was delayed in all soils (german and brazilians), especially in sandy soil. DCD was more efficient in the next 10 days because have more mobility in soil wile DMPP was more efficient in the end of nitrification process because is more persistent in soil by his slow degradation process. The use of NBPT with urea is efficient to reduce ammonia volatilization wile urea treated with DCD these N loss is increased. When urea is treated with DCD and NBPT together the ammonia volatilization less is more than NBPT alone, but less of total ammonia volatilization of urea alone. DCD alone is efficient in inhibit nitrification process and NBPT didn't have any effect in nitrification process or in DCD efficiency.

Keywords: Nitrification; Dicyandiamide (DCD); 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP)



## 5.1 Introdução

Nitrificação é um dos mais importantes processos de diversas transformações do nitrogênio (N) no solo. Um incremento no processo de nitrificação e conseqüentemente aumento na lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e liberação protônica, tem uma contribuição potencial sobre o impacto do aquecimento global, perda de biodiversidade, acidificação do solo e eutrofização aquática (GALLOWAY et al. 2004).

Há grandes diferenças nas propriedades do solo entre climas temperado e subtropical devido a diferenças climáticas, material de origem, tipo de ecossistema e histórico do uso do solo (BRADY and WEIL, 2002). Uma diferença fundamental é que em muitos ecossistemas subtropicais são ricos em N relativamente a outros elementos essenciais, devido à rápida mineralização da matéria orgânica em condições quentes e úmidas (ZHAO et al. 2007), enquanto muitos ecossistemas temperados são limitantes em N (CHEN et al., 2004). Altas concentrações de N em solos tropicais e subtropicais podem acelerar a acidificação do solo (KRUSCHE et al. 2003).

Muitos compostos químicos são capazes de retardar o processo biológico de oxidação de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) afetando a atividade do grupo de bactérias Nitrossomonas que são responsáveis pelo primeiro processo de nitrificação. Diciandiamida (DCD) tem sido comprovada como efetiva na redução na taxas de nitrificação (AMBERGER, 1989; Cookson and Cornforth 2002) e lixiviação de nitrato (Williamson et al. 1998). 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) é mais recente que DCD (ZERULLA et al. 2001) e também efetivo na redução de lixiviação de N (YU et al, 2007) e mais efetivo em reduzir perdas de N gasoso (WEISKE et al. 2001).

A persistência, bioatividade e performance de um composto inibidor de nitrificação (NI) é dependente das propriedades do solo (Barth et al. 2001) e condições hidricas (IRIGOYEN et al. 2003, KELLIHER et al. 2008). O clima subtropical na região sul e sudeste do Brasil são caracterizados com temperatura média do ar de 18 – 25°C e alta precipitação pluvial de 1200 mm ano<sup>-1</sup>. Os maiores benefícios do uso destes compostos tem sido observados em condições de solo e umidade que favoreçam as

perdas de N por lixiviação (PASDA et al. 2001), mas até o momento a eficiência de NI nos solo dessa região é desconhecido.

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência dos NIs em duas fontes de fertilizante nitrogenado na inibição do processo de nitrificação em três solos do Brasil e um da Alemanha com diferentes características físicas e químicas.

## 5.2 Material e métodos

Quatro solos, três do Brasil (Sao Pedro, Castro e Primeiro Maio) e um da Alemanha (Dürnast), coletados da camada de 0-20 cm de áreas cultivadas, foram utilizadas no estudo de incubação na TUM-WZW/Freising (Alemanha). Os solos do Brasil foram coletados, peneirados a 2 mm e secos lentamente na sombra, antes do transporte para a Alemanha. O solo da Alemanha foi peneirado a 2 mm e armazenado a 4°C. Os solos do Brasil foram reumedecidos por uma semana antes do início da incubação. Durante a incubação todos solos foram mantidos a 90 % da capacidade de campo, no escuro a 25°C. As propriedades físicas e químicas do solos são demonstradas na Tabela 1.

Duas fontes de N foram utilizadas (100 mg kg<sup>-1</sup>) com os seguintes tratamentos: (1) Controle (sem adição de N), (2) ASN (26 % N: 27% N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e 73% N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); (3) ASN + DMPP; (4) ASN + DCD; (5) Uréia (45% N) e (6) Uréia + DCD + TZ. Todas fontes são fertilizantes granulados comerciais. Os fertilizantes granulados foram incorporados ao solo após o ajuste do conteúdo de água. Os potes plásticos de 300 ml foram fechados com filme plástico, que previne a perda de água mas permite trocas gasosas. Após 0, 4, 9, 15, 22, 35 e 50 dias foram determinados a concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e o valor de pH no solo.

Para análise de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH foi utilizado uma quantidade calculada de CaCl<sub>2</sub> (0,0125 M l<sup>-1</sup>) para obter uma relação 1:2,5 (solo – solução) . Após agitação de 1 hora a 40 r min<sup>-1</sup>, uma alíquota de 10 ml (sobrenadante) foi utilizada para determinação de pH e mais 10 ml foram filtrados em filtro Milipore e determinado o valor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no HPLC (VILSMEIER 1984). No pote plástico (menos 20 ml) foi adicionado uma quantidade de

KCl para obter uma solução de 1 M. Esta suspensão foi agitada por uma hora a  $40 \text{ r min}^{-1}$ , e a suspensão foi filtrada e a concentração de  $\text{NH}_4^+$  no filtrado foi mensurada pelo método do azul de indofenol (BERNT and BERGMAYER, 1970).

### 5.3 Resultados e discussão

Para os três solos do Brasil (Sao Pedro, Castro e Primeiro Maio) e o solo da Alemanha (Dürnast), o teor de  $\text{N-NH}_4$  para duas fontes de N (UR e ASN) e sem inibidor de nitrificação (NIs) foi quase que totalmente nitrificado até 35 dias. O uso dos NIs DCD e DMPP reduziram a nitrificação de  $\text{N-NH}_4$ , mas com eficiência diferenciada para cada solo.

No solo arenoso (Sao Pedro) (Fig. 1)  $\text{N-NH}_4$  foi quase que totalmente nitrificado em 50 dias tanto para UR como ASN e conseqüentemente este mesmo tratamento foi o que demonstrou maior concentração de  $\text{N-NO}_3$ . NIs foram muito eficientes neste tipo de solo. Mais de 50 % de redução após 50 dias. Para o tratamento UR+DCD houve baixa acumulação de  $\text{N-NO}_3$ , assim, a redução de nitrificação foi maior que 80% durante o período de incubação. Com taxas de nitrificação tão diferenciadas, o valor pH alterou bastante. O tratamento com maior taxa de nitrificação (ASN) diminuiu o valor pH em 1 ponto (4,7) enquanto que o tratamento com a menor taxa de nitrificação (ASN + DCD) o valor pH aumentou 0,7 ponto (6,4) comparado com o controle (solo sem aplicação de N).

Para os dois solos argilosos do Brasil (Castro e Primeiro de Maio), o  $\text{N-NH}_4$  dos tratamentos sem NIs nitrificaram rapidamente (15 dias após o tratamento - DAT) (Figs. 2 e 3). Nesta mesma data (15 DAT) quase 50% (media de todos tratamentos com NIs para estes dois solos) da taxa de nitrificação foi inibida e os NIs retardaram a nitrificação total para 35 dias ou mais. Em Castro o pH do solo não teve uma resposta clara dos tratamentos, somente diminuiu 0,2 pontos (média de todos tratamentos) de 0 DAT para 50 DAT. Em Primeiro de Maio o valor de pH decresceu para todos tratamentos com N comparados com o controle. As fontes com ASN decresceram mais o pH (0.6) comparado com as fontes de UR (0.4) no final da incubação (50 DAT).

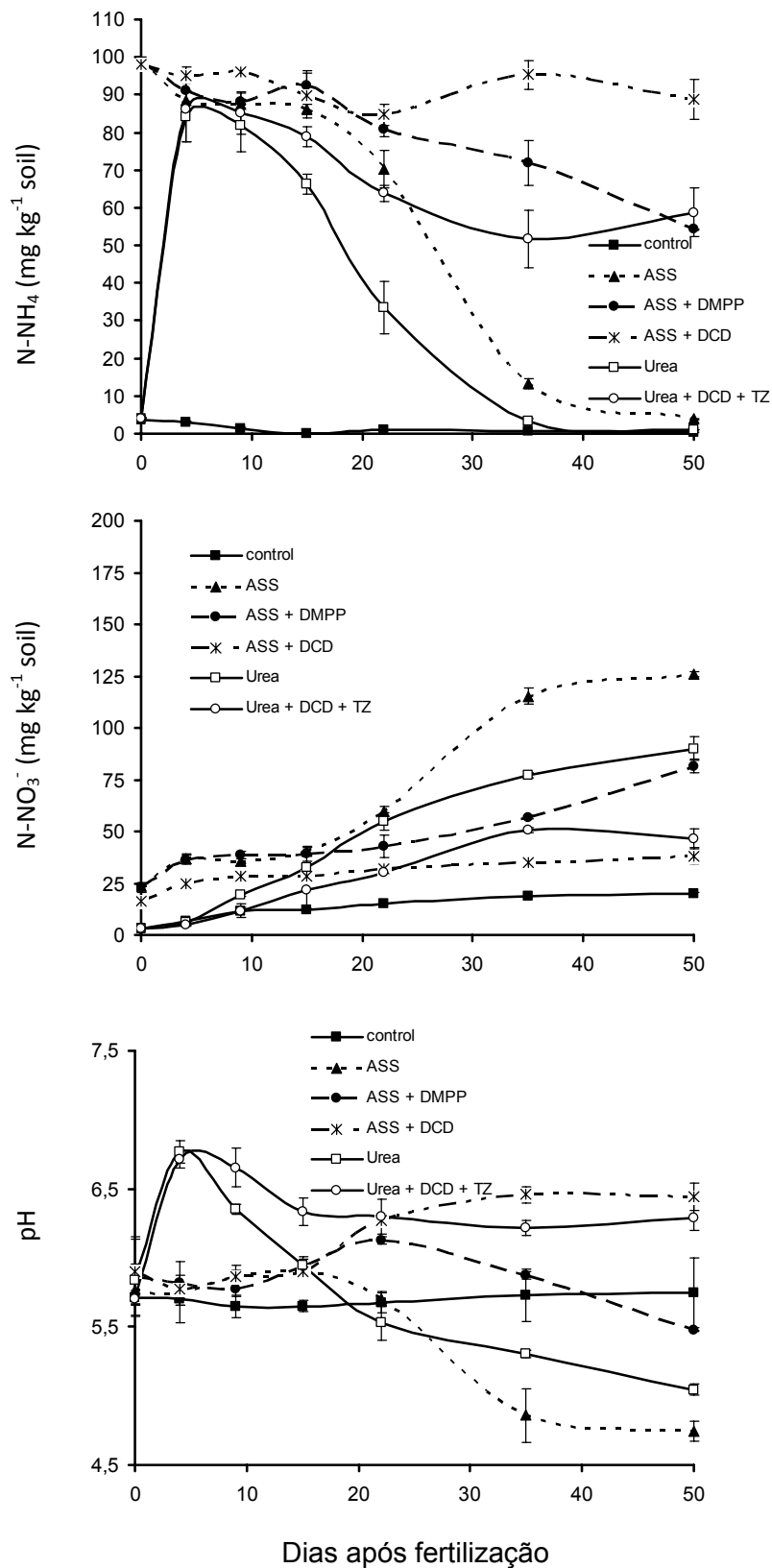


Figura 1 - Amônio, nitrato e valor de pH afetados por diferentes fertilizantes nitrogenados e inibidores de nitrificação em um solo arenoso tropical (Sao Pedro)

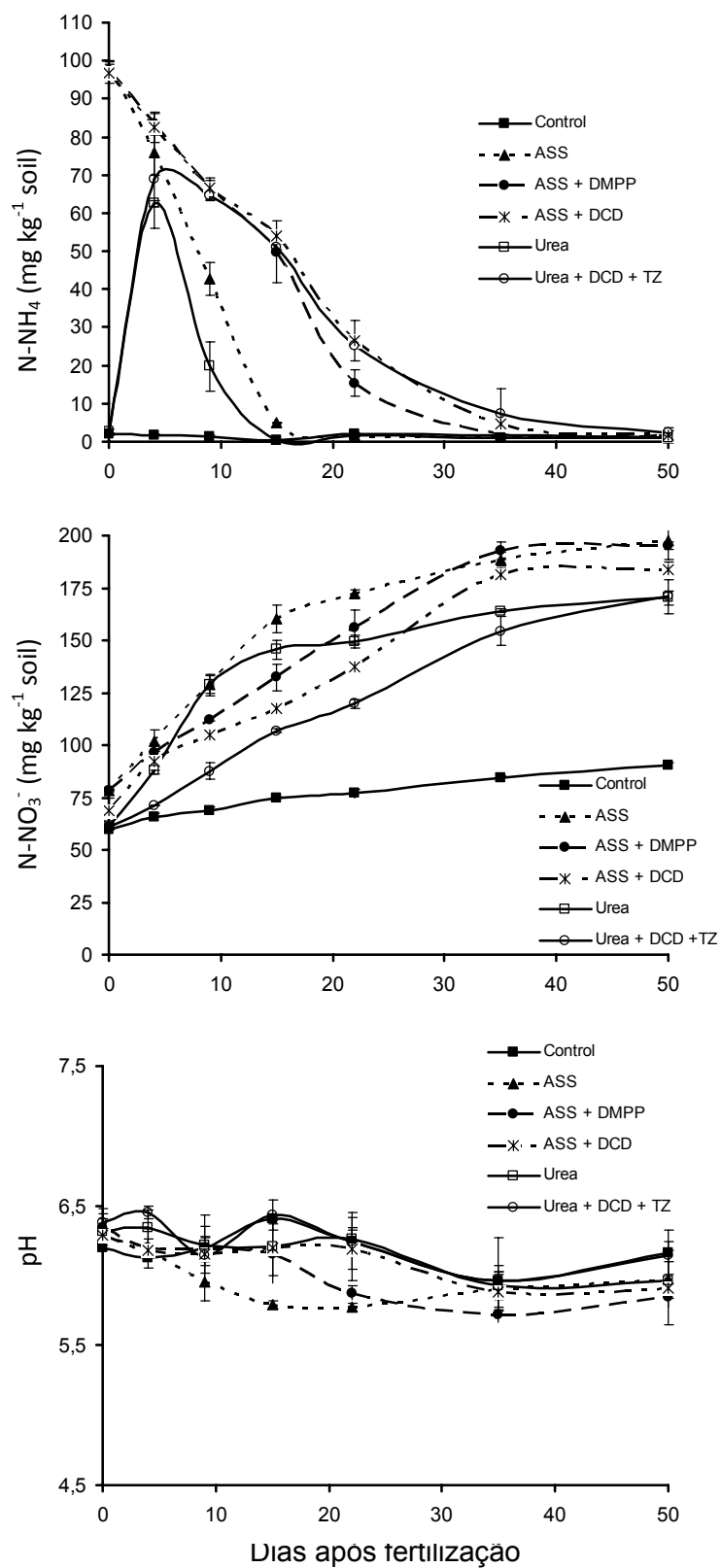


Figura 2 - Amônio, nitrato e valor de pH afetados por diferentes fertilizantes nitrogenados e inibidores de nitrificação em um solo argiloso tropical (Castro)

O solo Dürnast também apresentou uma rápida nitrificação, especialmente para UR (Fig. 4). UR + DCD também demonstraram uma taxa de nitrificação mais rápida que ASN + DCD e ASN + DMPP. Com 18 DAT, UR + DCD+TZ foi praticamente nitrificada, enquanto que ASN + DMPP e ASN + DCD tiveram 36 e 21 % de redução no processo de nitrificação. O valor pH neste solo não demonstrou diferenças com os tratamentos, somente um aumento no 07 DAT pela hidrólise da UR.

Os resultados deste estudo demonstram a eficiência dos NIs em retardar o processo de nitrificação para diferentes fontes de N em todos solos estudados. Mas a eficiência dos NIs foi mais pronunciada em solos com textura fina ou leve. Resultados semelhantes foram obtidos por BARTH et al. (2008). Estes autores demonstraram que NIs são mais eficientes em solos de textura fina e isto é relacionado aos constituintes inorgânicos do solo que adsorvem o NI para a fração argila do solo (BARTH et al. 2001).

O solo arenoso utilizado neste estudo tem problemas com perdas de N por lixiviação no seu ecossistema natural. A precipitação média anual é maior que 1200 mm, assim, o uso de NIs neste tipo de solo é recomendado porque os maiores benefícios do uso dos NIs são observados nessas condições (PRASAD & POWER, 1995; PASDA et al. 2001; KELLIHER et al. 2008).

A maior eficiência do tratamento ASN + DCD no solo arenoso pode ser relacionado pelo seu maior movimento no solo. DMPP tem um movimento mais lento no solo que  $\text{NH}_4$  (AZAM et al. 2001). DCD é às vezes relacionado como possível de ser lixiviado ou degradado rapidamente que o DMPP (WEISKE et al. 2001). Mas, para este solo, no final da incubação, foi encontrado mais de  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  de DCD (dados não demonstrados).

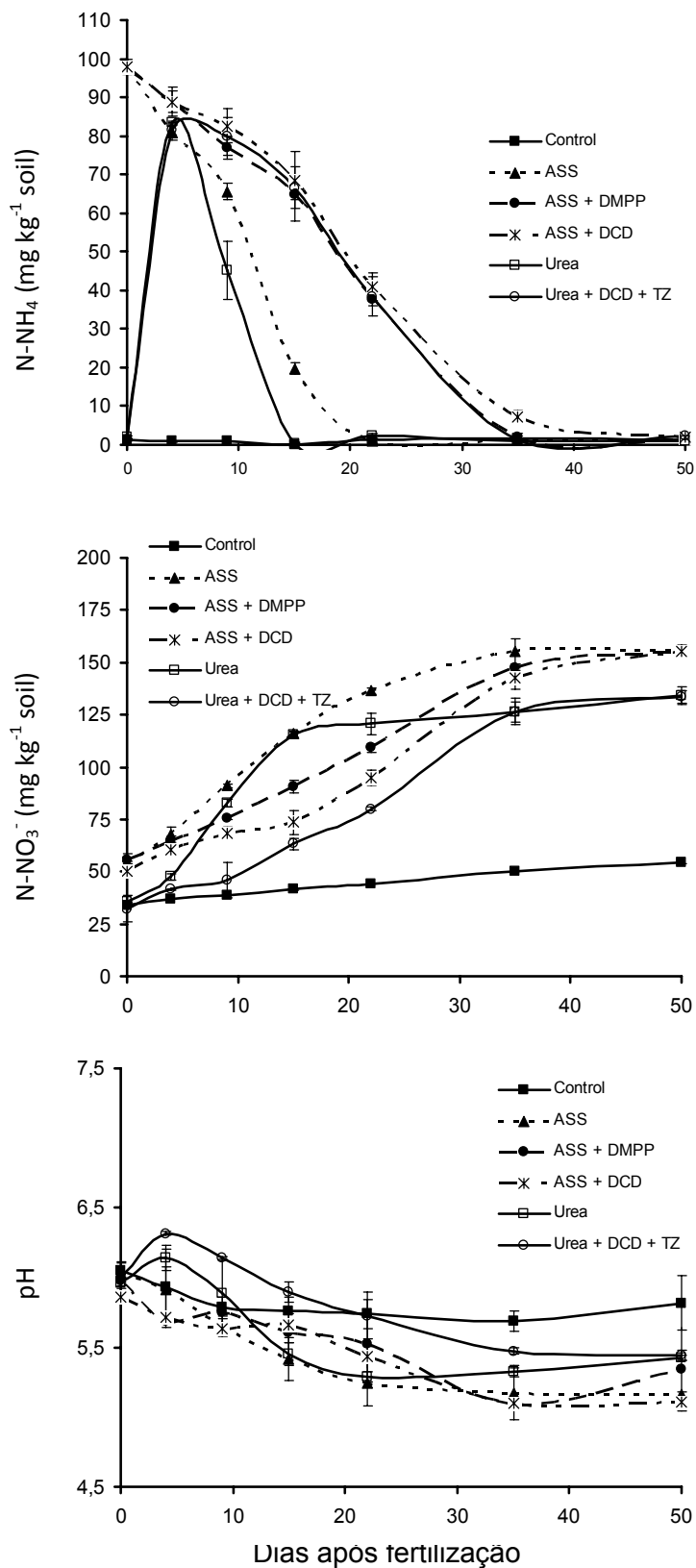


Figura 3 - Amônio, nitrato e valor de pH afetados por diferentes fertilizantes nitrogenados e inibidores de nitrificação em um solo argiloso tropical (Primeiro de Maio)

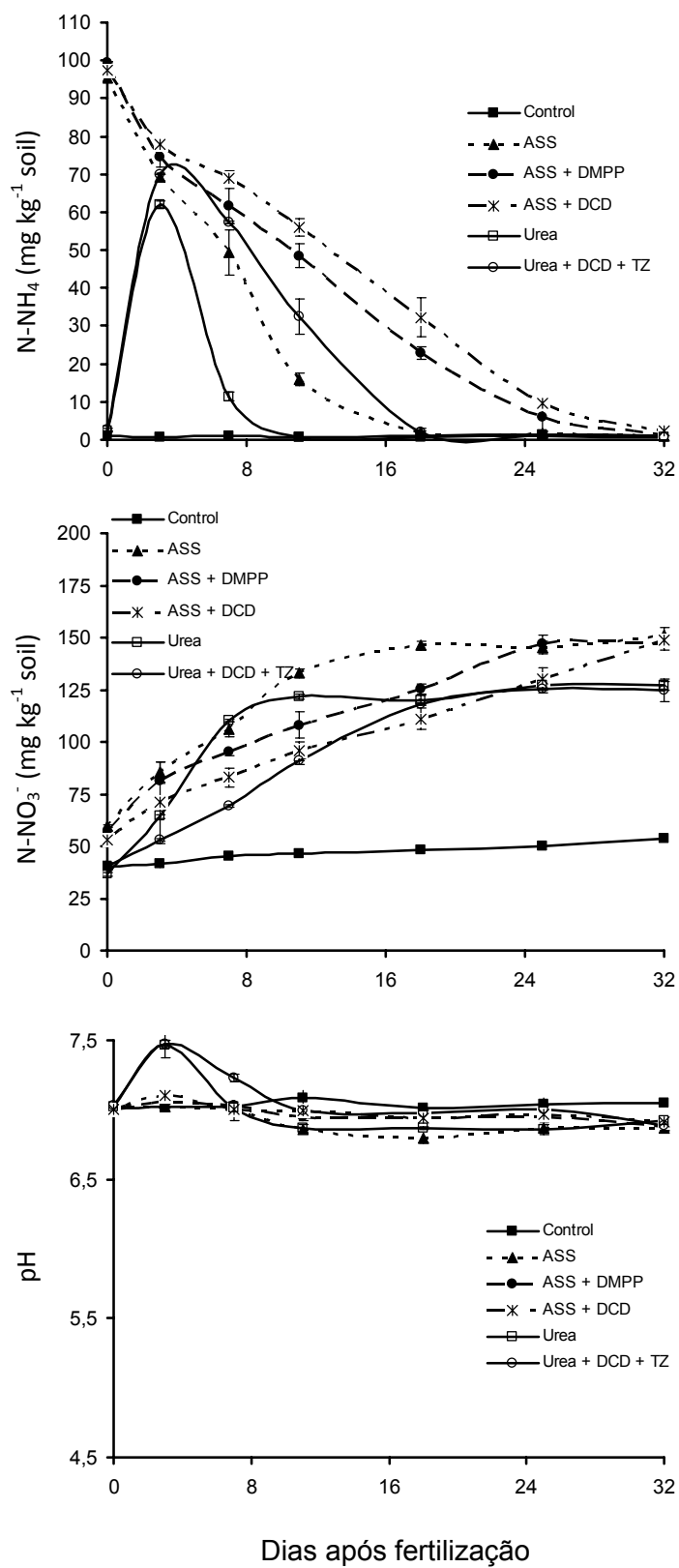


Figura 4 - Amônio, nitrato e valor de pH afetados por diferentes fertilizantes nitrogenados e inibidores de nitrificação em um solo siltoso temperado (Dürnast)



Nos outros dois solos brasileiros não houve diferença na performance do DCD e DMPP. Ambos tiveram o mesmo efeito inibidor para as duas fontes de fertilizante N. Mas no solo Dürnast o  $\text{NH}_4$  da uréia foi nitrificado mais rapidamente que o  $\text{N-NH}_4$  do ASN (Fig. 1). Em geral, o DCD foi mais eficiente na percentagem de redução de nitrificação do processo de nitrificação nos primeiros 10 DAT comparado ao DMPP para todos solos estudados (Tabela 2). Este resultado pode ser devido ao melhor movimento do DCD no solo, como discutido previamente (BARTH et al. 2008). Mas, após este período, o DCD foi rapidamente degradado reduzindo assim sua eficiência (WEISKE et al. 2001), e assim, o DMPP foi mais eficiente no período final do processo de nitrificação. Somente no solo Castro o DCD foi mais eficiente que DMPP durante todo período, porque neste solo há uma quantidade muito maior de matéria orgânica, e o DMPP pode ser adsorvido nestas condições (ROCO and BLU, 2006).

A fonte de fertilizante N não demonstrou grande influência na eficiência dos NIs. ROCO e BLU (2006) relataram que o tratamento ASN + DMPP preservou mais N do fertilizante, especialmente  $\text{NH}_4^+$ , comparado à uréia ou nitrato de potássio tratado com DMPP. Nesse estudo foram utilizados dois solos chilenos e a diferença foi mais pronunciada no solo com menos argila, o mesmo que no solo arenoso deste presente trabalho (Fig. 1).

O valor de pH teve maiores alterações nos solos São Pedro e Primeiro de Maio provavelmente devido a estes solos terem um menor poder tampão (CTC). Isto fica bem evidente no solo arenoso (Fig. 1).

#### **5.4 Conclusões**

1. O uso dos inibidores de nitrificação DCD e DMPP foram eficientes na inibição do processo de nitrificação, retardando a conversão de amônio em nitrato.

2. A eficiência de ambos inibidores foi bem maior no solo de textura arenosa comparado ao solos argilosos.

3. O DCD é mais eficiente no início do processo de nitrificação e o DMPP mais no final.

## Referências

- AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1933-1955, 1989.
- AZAM, F.; BENCKISER, G.; MÜLLER, C.; OTTOW, J.C.G. Release, movement and recovery of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 34, p. 118-125, 2001.
- BARTH, G.; TUCHER, S. von. SCHMIDHALTER, U. Effectiveness of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as nitrification inhibitor in soil as influenced by inhibitor concentration, application form, and soil matric potential. **Pedosphere**, Oxford, v. 18, p. 378-385, 2008.
- BARTH, G.; TUCHER, S. von. SCHMIDHALTER, U. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 34, p. 98-102, 2001.
- BERNT, E.; BERGMAYER, H.U. Determination of urea, indicator reaction with phenol and hypochlorite. In: BERGMAYER, H.U. (ed.) **Methods of Enzymatic Analysis** (in German). Weinheim,:Verçag Chemie, 1970. v.2. p. 1738-1741.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Nature and Properties of soil**. New jersey: Prentice Hall, , 2002.
- CHEN, X.Y.; MULDER, J.; WANG, Y.H.; ZHAO, D.W.; XIANG, R.J. Atmospheric deposition, mineralization and leaching of nitrogen in subtropical forested catchments, South China. **Environmental Geochemistry Health**, Amsterdan, v. 26, p. 179-186, 2004.
- COOKSON, W.R.; CORNFORTH, I.S.; Dicyandiamide slows nitrification in dairy cattle urine patches: effects on soil solution composition, soil pH and pasture yield. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 1461-1465, 2002.
- GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWART, R. W.; SEITZINGER, S.P.; ASNER, G.P.; CLEVELAND, C.C.; GREEN, P.A.; HOLLAND, E.A.; KARL, D.M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A.R.; VÖRÖSMARTY, C.J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, Heidelberg, v. 70, p. 153-226, 2004.
- IRIGOYEN, I.; MURO, J.; AZPILIKUETA, M.; APARICIO-TEJO, P.; LAMSFUS, C. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 41, p. 1177-1183, 2003.
- KELLIHER, F.M.; CLOUGH, T.J.; CLARK, H.; RYS, G.; SEDCOLE, J.R. The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, p. 1878-1882, 2008.
- KRUSCHE, A.V.; DE CAMARGO, P.B.; CERRI, C.E.; BALLESTER, M.V.; LARA, L. B. L.S.; VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A. Acid rain aand nitrogen deposition in a sub-tropical

watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 121, p. 389-399, 2003.

PASDA, G.; HÄNNDEL, R.; ZERULLA, W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 34, p. 85-97, 2001.

PRASAD, R.; POWER, J. F. Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 54, p. 233-281, 1995.

ROCO, M. M.; BLU, R. O. Evaluation of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 29, p. 521-534, 2006.

VILSMEIER, K. Bestimmung von dicyandiamide, nitrit und nitrat in bodenextrakten mit hochdruckflüssigkeitschromatografie. Zeitschrift für Pflanzenernährung und **Bodenkunde Journal of Plant Nutrition and Soil Science**), Weinheim, v. 147, p. 264-268, 1984.

WEISKE, A.; BENCKISER, G.; HERBERT, T.; OTTOW, J.C.G. Influence of the nitrification inhibitor 3,4 – dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 34, p. 109-117, 2001.

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; LOCQUENGIEN, K.H. von. PASDA, G.; RÄDLE, M. 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. An introduction. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 34, p. 79-84, 2001.

ZHAO, W.; CAI, Z.; XU, Z. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 297, p. 213-221, 2007.

## 6 EFICIÊNCIA DE INIBIDORES DE UREASE E DE NITRIFICAÇÃO EM SOLO FERTILIZADO COM URÉIA

### Resumo

A uréia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado mundialmente, porém apresenta problemas de perdas de N por volatilização e lixiviação de nitrato. O uso de inibidores de urease e nitrificação poderiam diminuir essas perdas. Com o objetivo de avaliar a eficiência dos inibidores de urease (NBPT) e de nitrificação (DCD) adicionados em conjunto ou não na uréia na volatilização de amônia e taxa de nitrificação, foi desenvolvido dois experimentos concomitantemente. O primeiro para avaliar as perdas de N-NH<sub>3</sub> em fluxo, utilizando os seguintes tratamentos: 1) Uréia (45,6% de N); 2) Uréia + DCD 10%; 3) Uréia + NBPT; 4) Uréia + NBPT + DCD 5%; 5) Uréia + NBPT + DCD 10%, numa dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia aplicada em superfície. No segundo experimento foi utilizado os mesmos tratamentos acrescentando o tratamento controle, na dose de 300 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N-uréia incorporada ao solo, objetivando estudar a taxa de nitrificação do N amidico. O NBPT foi eficiente em reduzir as perdas por volatilização, já o uso de DCD aumentou as perdas de N-NH<sub>3</sub> da fonte uréia e diminuiu a eficiência do NBPT quando aplicado em conjunto com este, independente da dose. O DCD foi eficiente em diminuir o processo de nitrificação e não teve influencia na sua eficiência quando foi utilizado em associação com NBPT.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; Volatilização; Nitrificação; Tiofosfato de N-(n-butil) triamida (NBPT); Dicianodiamida (DCD)

### Abstract

Urea is most nitrogen fertilizer used worldwide, but have problems with N losses by ammonia volatilization and nitrate leaching. Urease and nitrification inhibitors can mitigate these losses. With the aim to evaluate the efficiency of urease (NBPT) and nitrification (DCD) inhibitors applied with urea on ammonia volatilization and nitrification process it was carried out two experiments. The first were a air flux method to evaluate the ammonia losses, with the following treatments: 1) Urea (45,6% N); 2) Urea + DCD 10%; 3) Urea + NBPT; 4) Urea + NBPT + DCD 5%; 5) Urea + NBPT + DCD 10%, with 300 kg ha<sup>-1</sup> N-urea rate applied in soil surface. In second experiment was used the same treatments more the control (without N) and the rate of N was 300 mg kg<sup>-1</sup> of soil. The urea was incorporate in the soil with the aim to study the nitrification process. The use of NBPT with urea is efficient to reduce ammonia volatilization while urea treated with DCD these N loss is increased. When urea is treated with DCD and NBPT together the

ammonia volatilization less is more than NBPT alone, but less of total ammonia volatilization of urea alone. DCD alone is efficient in inhibit nitrification process and NBPT didn't have any effect in nitrification process or in DCD efficiency.

Keywords: Nitrogen fertilization; Volatilization; Nitrification; N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT); Dicyandiamide (DCD)

## 6.1 Introdução

A uréia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura mundial atualmente, devido suas vantagens como alta concentração de N e pelo menor custo por unidade de N. Porém, após aplicada ao solo e sua hidrólise, esta pode apresentar grandes perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ . Estas perdas variam de acordo com condições do clima e solo, e são especialmente favorecidas em solos de baixo poder tampão, calcáreos e baixo conteúdo de C e quando aplicada sobre a palhada.

Diversos métodos ajudam a diminuir essas perdas, como a incorporação ao solo, mas isso geralmente torna-se muito custoso. Assim, outras alternativas tem sido estudadas, como o uso de compostos que podem inibir a atividade da enzima uréase, retardando o processo de hidrólise quando aplicado junto com o fertilizante. Entre os diversos compostos estudados o NBPT tem se mostrado mais eficiente (CANTARELLA et al. 2008; GIOACCHINI et al. 2002; MENÉNDEZ et al. 2009; ZAMAN et al. 2008).

O uso de NBPT além de reduzir as perdas por volatilização pode reduzir o pico de pH e favorecer o processo de nitrificação (CHRISTIANSON et al. 1993). Por outro lado, o nitrato é muito móvel no solo e se não absorvido pelas plantas pode ser perdido por lixiviação. Para diminuir estas perdas tem-se lançado mão de compostos inibidores de nitrificação e, um dos mais utilizados é a DCD.

A aplicação combinada de inibidores de urease e nitrificação com uréia fertilizante pode manter o N como  $\text{NH}_4^+$  por um longo período com maiores chances deste N derivado do fertilizante ser absorvido pelas plantas, fixado ou imobilizado pelos compostos orgânicos ou minerais do solo. XU et al. (2000) obteve maior recuperação

do N aplicado da uréia quando houve associação de DCD com hidroquinona, um outro tipo de inibidor de urease.

Com o objetivo de estudar a eficiência dos inibidores de urease (NBPT) e nitrificação (DCD) aplicados em mistura ou não de ambos na uréia nos processos de volatilização e nitrificação no solo.

## **6.2 Material e métodos**

### ***Experimento de volatilização:***

#### Caracterização do solo

A amostra de solo foi coletada da camada de 0-20 cm sem cobertura vegetal, no município de Campinas-SP. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 4 mm de malha e caracterizadas segundo RAIJ et al. (2001) (Tabela 1).

O solo tem como característica a textura média e elevado pH, em que se espera maior perda por  $\text{NH}_3$ , em comparação à textura argilosa e pH baixo.

Foram utilizadas câmaras de volatilização, que consistem de recipientes de vidro com capacidade para  $\frac{1}{2}$  ou 1 litro, na qual foi colocado 958g de terra para a câmara de 1L e 420g para a de  $\frac{1}{2}$  L, nas quais constituíram as unidades experimentais. As amostras de solo foram umedecidas a cerca de 60% da capacidade de campo.

Tabela 1 - Caracterização química<sup>1</sup> e física do solo

pH	MO	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V%	Textura (g.kg <sup>-1</sup> )		
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>						mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	Argila	Silte	Areia		
5,8	35	233	0,38	2,1	33	8,4	5,7	9,7	51	15	25	100,7	75	350	128	522

<sup>1</sup> pH CaCl<sub>2</sub>: CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; MO: Oxi-Red.; P, K, Ca, Mg: Resina de troca iônica; H + Al: Sol. Tampão; B: Água Quente; Cu, Fe, Mn, Zn: D.T.P.A.

### Caracterização das fontes e descrição dos tratamentos

Os fertilizantes testados incluíram a uréia comum e uréia revestida com o NBPT e com o DCD. Os tratamentos utilizados foram: 1) Uréia (45,6% de N); 2) Uréia + DCD 10%; 3)Uréia + NBPT; 4)Uréia + NBPT + DCD 5%; 5)Uréia + NBPT + DCD 10%.

A quantidade de DCD corresponde à adição de 5% e 10% do N aplicado como uréia. A quantidade de NBPT utilizada foi de 1060 mg kg<sup>-1</sup>.

As fontes foram aplicadas na superfície do solo a lanço em área total, sendo a dose de N de 300 kg ha<sup>-1</sup>, o que reflete a concentração de N na zona de aplicação do fertilizante nitrogenado em condições de campo. Como o adubo é disposto em faixas sobre o solo, a área efetivamente tratada apresenta uma concentração equivalente a uma dose de cerca de 100 kg ha<sup>-1</sup> aplicada em faixa para uma cultura com o espaçamento de cerca de 80 cm entre linhas.

O esquema experimental consistiu de 6 tratamentos em 5 repetições + 1 controle (sem uréia), totalizando 26 parcelas experimentais, que foram casualizadas inteiramente ao acaso.

### Condução do experimento:

O experimento foi conduzido no período de 01/12/08 a 22/12/08, no laboratório do Centro de Solos do Instituto Agrônomo - IAC em Campinas/SP.

Foram utilizadas câmaras de volatilização em laboratório com temperatura controlada em 25°C. Nessas câmaras foram abertos dois furos, de lados opostos, nos quais foram colados dois tubos de vidro, um para a entrada e outro para a saída de ar.

O ar flui a uma taxa de 2,0 L min<sup>-1</sup> pelas câmaras de volatilização, porém antes é purificado por uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup>, e após passa em água destilada para umedecer. O ar passa sobre a superfície da amostra de solo contida na câmara, e arrasta a amônia volatilizada pelos fertilizantes, a qual é recolhida em uma solução coletora de ácido bórico contendo um indicador de mudança de pH.

As soluções coletoras de NH<sub>3</sub> foram substituídas e analisadas periodicamente, até que as perdas por volatilização cessem ou as taxas se estabilizem em um patamar próximo do limite de detecção do método analítico. Nesse ensaio, as coletas se estenderam por 19 dias, de forma que houve monitoramento contínuo das perdas, a cada dia durante os 11 primeiros dias, e a cada 2 dias para as últimas coletas.

### Determinações químicas

A amônia foi determinada por titulação potenciométrica com solução padronizada de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 mol L<sup>-1</sup> segundo a metodologia descrita por CANTARELLA e TRIVELIN (2001).

Ao final do experimento foram analisados as concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e a uréia remanescente.

As formas inorgânicas de N foram analisadas por destilação a vapor e a uréia remanescente por colometria com o método de acetil monoxima, após a extração com solução de KCl 2 mol L<sup>-1</sup> e acetado de fenil mercúrio (AFM). (MULVANEY & BREMNER, 1979).



### Análises dos dados

Foi avaliada a perda de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  das fontes testadas, os dados acumulados foram submetidos à análise de variância, sendo comparadas pelo teste Tukey, 5%, utilizando-se o pacote estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

### ***Experimento de taxa de nitrificação:***

O experimento foi instalado em laboratório com ambiente climatizado (28 °C), na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. Utilizando-se o solo descrito acima e com os mesmos tratamentos, incluindo-se o tratamento controle (sem adição de N) e a dose de N foi calculada em base de volume de solo (300 mg kg<sup>-1</sup>). Utilizou-se 4 repetições, dispostas inteiramente ao acaso.

As amostras de solo (50g) foram acondicionadas em recipientes plásticos de 500 ml e, mantidos a umidade constante de 60% da capacidade de campo, por 7 dias para ativar a flora microbiana.

Após receberem os respectivos tratamentos, foram incubadas por períodos pré estabelecidos de 0, 6, 13, 28, 45 dias, mantendo-se temperatura e umidade constante (28°C) em ambiente no escuro. Nas épocas de avaliação foi adicionado 125 ml de água (água deionizada + 10 mg L<sup>-1</sup> de AFM) nos recipientes plásticos sendo feita leitura de pH (água; 1:2,5) após agitação de 10 minutos. Após a leitura de pH foi adicionado 125 ml de uma solução de KCL 4 mol L<sup>-1</sup> (extração KCl 2 mol L<sup>-1</sup>; relação solo-solução 1:5) e, após agitação de 1 hora e filtração coletou-se extrato para determinação dos teores de amônio e nitrato, determinados por destilação, segundo CANTARELLA e TRIVELIN (2001).

### 6.3 Resultados e discussão

A quantidade de N volatilizada diariamente encontra-se na Figura 1. Observa-se que houve uma rápida e concentrada perda de N-NH<sub>3</sub> das fontes UR e UR+DCD 10% nos primeiros 5 dias e que os demais tratamentos que se adicionou NBPT essas perdas foram bem menores e os maiores valores de perdas encontraram-se entre o 6 e 10º dia. Diversos trabalhos demonstram a eficiência do NBPT em reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> da uréia (CANTARELLA et al. 2008; GIOACCHINI et al. 2002; MENÉNDEZ et al. 2009; ZAMAN et al. 2008).

O uso de DCD na uréia aumenta as perdas de N por volatilização (PRAKASA e PUTTANNA, 1987; ASING et al. 2008; BANERJEE, et al. 2002) e, quando associado com NBPT diminui a eficiência deste (Figura 2) (ZAMAN, et al., 2009). A dose de 5% reduz um pouco esse efeito do DCD, mas ainda assim as perdas aumentaram quase 3 vezes em comparação com o uso de NBPT sozinho.

O uso de DCD reduziu a taxa de nitrificação no solo (Figura 3). Essa inibição foi maior com o aumento da dose de 5 para 10% de DCD. Essa inibição teve reflexo direto no valor pH, reduzindo bastante a acidificação do solo. O uso de NBPT não teve qualquer interferência na eficiência do DCD em inibir o processo de nitrificação, não tendo, portanto, efeito no valor pH do solo.

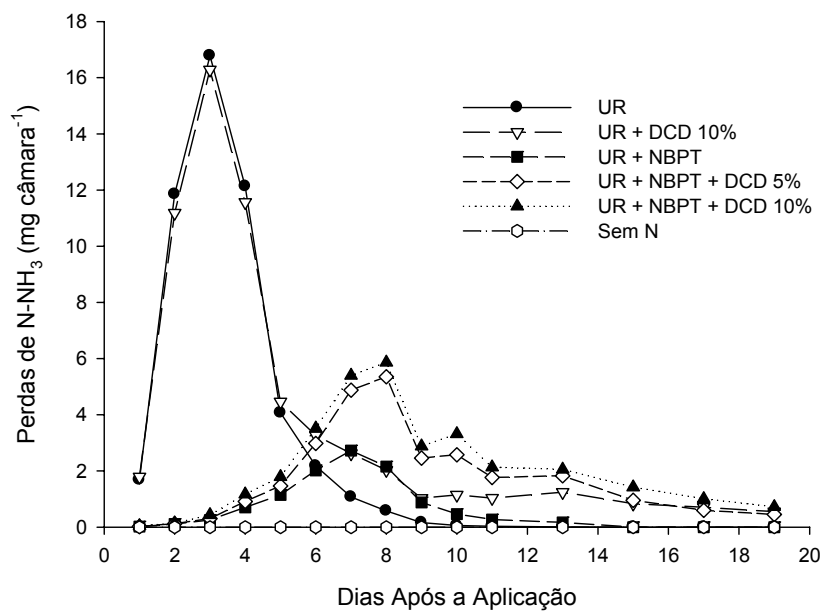


Figura 1 - Perda diária de N-NH<sub>3</sub> de UR com NBPT e/ou DCD

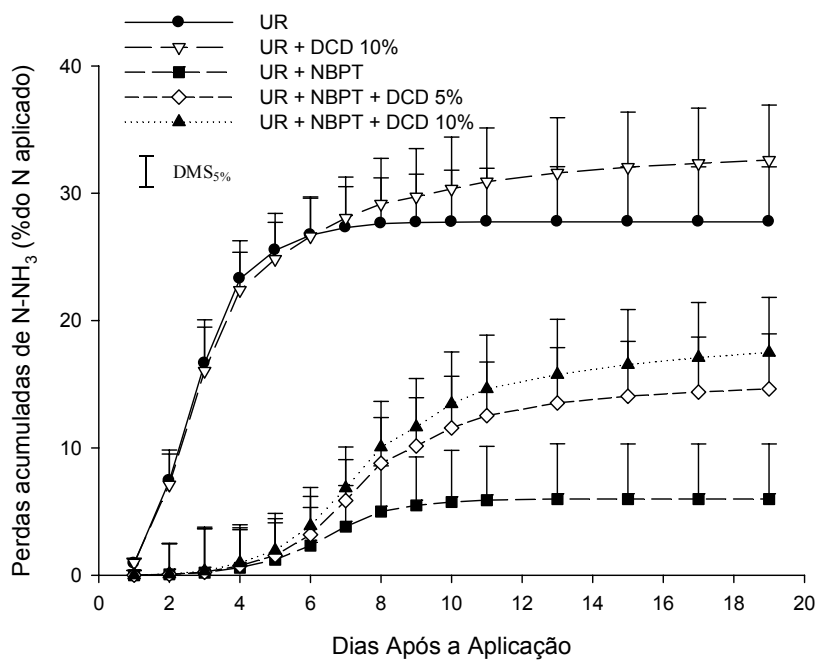


Figura 2 , - Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> de UR com NBPT e/ou DCD

A interferência do DCD na volatilização de amônia é relacionado com a redução do processo de nitrificação (Figura 3), que mantém mais amônio no meio e com isso o pH se permanece elevado favorecendo o processo de perda de  $N-NH_3$  (Figuras 1 e 2). GIOACCHINI (2002) e colaboradores observaram resultados semelhantes para um solo arenoso, porém, em um solo argiloso a mistura de DCD ao NBPT promoveu perdas elevadas de  $N-NH_3$ , chegando a valores maiores do que a uréia sem aditivos.

Outro fator que pode estar favorecendo as perdas de  $N-NH_3$  com a adição de DCD é a sua própria decomposição. O DCD é um composto orgânico com 65 % de N e o produto final de sua decomposição é a própria amônia (AMBERGER 1989).

#### **6.4 Conclusões**

1. O uso de NBPT na uréia foi eficiente em reduzir as perdas de  $N-NH_3$  por volatilização.
2. A eficiência do NBPT reduz drasticamente quando se adiciona DCD em mistura, independente da dose.
3. O uso de DCD reduz a taxa de nitrificação no solo, refletindo numa menor acidificação do meio.

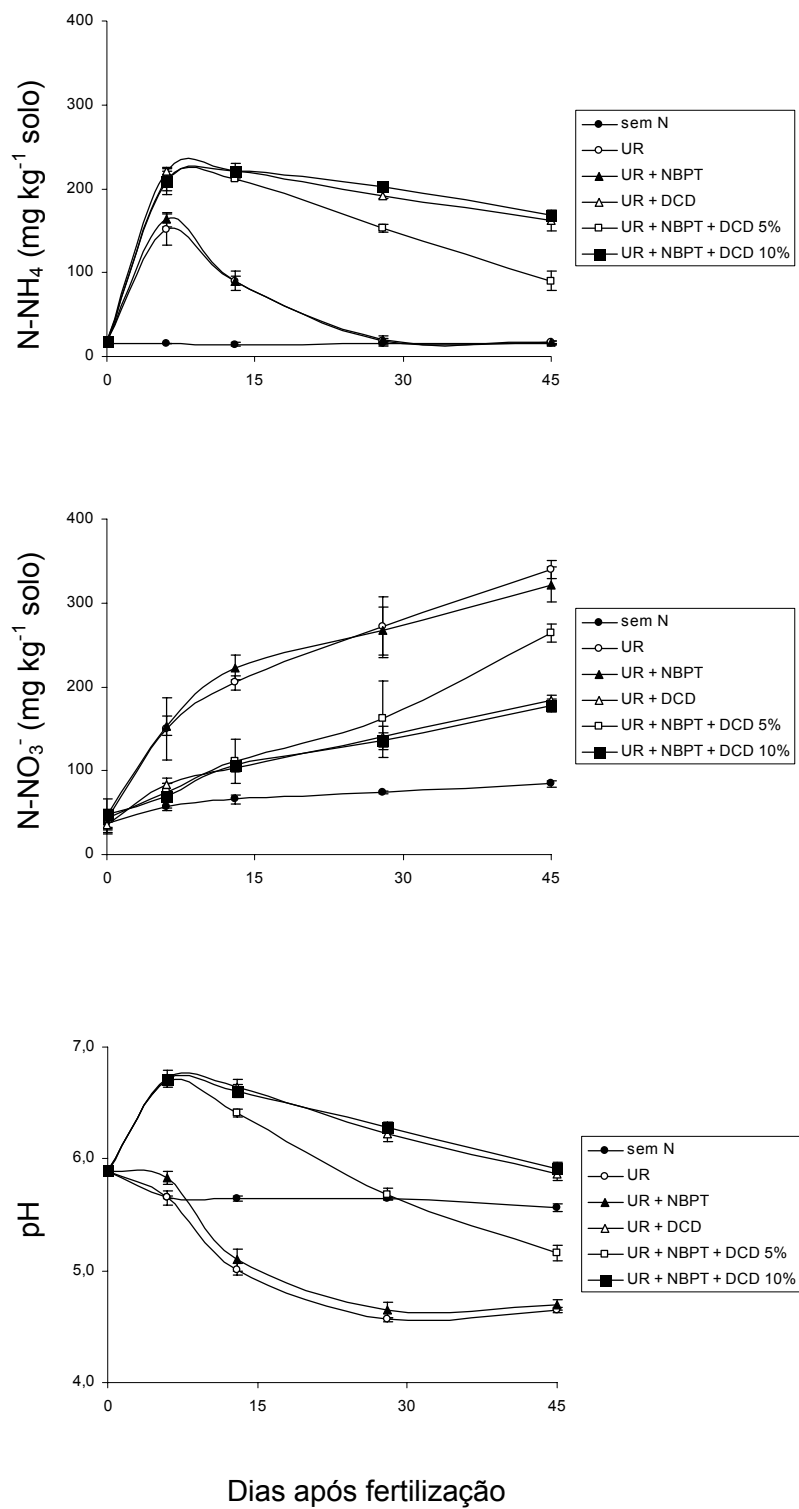


Figura 3 - Amônio, nitrato e pH em função da adição (300 mg kg<sup>-1</sup>) de N (uréia) e de inibidores de urease e de nitrificação

## Referências

- AMBERGER, A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 20, p. 1933-1955, 1989.
- ASING, J.; SAGGAR, S.; SINGH, J.; BOLAN, N.S. Assesment of nitrogen losses from urea and an organic manure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v. 46, p. 535-541, 2008.
- BANERJEE, B.; PATHAK, H.; AGGARWAL, P.K. Effects of dicyandiamide, farmyard manure and irrigation on crop yields and ammonia volatilization from an alluvial soil under a rice (*Oriza sativa* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 36, p. 207-214, 2002.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; Determinação de Nitrogênio Inorgânico em Solo pelo Método da Destilação a Vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p 271 - 276.
- CHRISTIANSON, C.B.; BAETHGEN, W.E.; CARMONA, G.; HOWARD, R G. Microsite reactions of urea-nNBPT fertilizer on the soil surface. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1107-1117, 1993.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows® versão 5.0. In REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos. São Carlos, **Resumos...** São Carlos, 2000. p. 235.
- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L. V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 36, p. 129-135, 2002.
- MENÉNDEZ, S.; MERINO, P.; PINTO, M.; GONZÁLEZ-URUA, C.; ESTAVILLO, J.M. Effect of N-(n-butyl) thiophosphoric triamide and 3,4 dimethylpyrazole phosphate on gaseous emissions from grasslands under different soil water contents. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 38, p. 27-35, 2009.
- MULVANEY, R. L.; BREMNER, J. M. A modified diacetyl monoxime method for colorimetric determination of urea in soil extrats. **Communications and Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v.10, n. 8, p. 1163-1170, 1979.

PRAKASSA, E.V.S.; PUTTANNA, K. Nitrification and ammonia volatilization losses from urea and dicyandiamide-treated urea in a sandy loam soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 97, p. 201-206, 1987.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.

XU, X.; ZHOU, L.; CLEEMPUT, O. V.; WANG, Z. Fate of urea-<sup>15</sup>N in a soil-wheat system as influenced by urease inhibitor hydroquinone and nitrification inhibitor dicyandiamide. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 220, p. 261-270, 2000.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M. L.; BLENNERHASSETT, J. D.; QUIN, B. F. Reducing NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 44, p. 693-705, 2008.

ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J.D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. xx, p. 1-11, 2009.

## **7 CONCLUSÕES GERAIS**

O uso de inibidores de urease e de nitrificação tem-se demonstrados eficientes na redução do processo de hidrólise da uréia e/ou na redução da taxa de nitrificação, que podem contribuir na melhoria da eficiência da adubação nitrogenada devido a uma menor perda de N por volatilização de amônia ou de lixiviação de nitrato. Porém, a eficiência destes inibidores depende de fatores como tipo de solo e presença ou não de resíduos vegetais, havendo, portanto a necessidade de maiores estudos nessas diferentes condições.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)