

DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO CULTIVO DE MILHO IRRIGADO

L. F. PALARETTI¹; W. F. DOS SANTOS²; T. G. FERNANDES³, M. C. P. DA CRUZ⁴,
A.B. DALRI⁵

¹ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Depto Engenharia Rural, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, Fone: (0xx16) 3209 7540, lfpalaretti@fcav.unesp.br

² Acadêmico do curso de Agronomia, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, fabel.willian@gmail.com

³ Acadêmico do curso de Agronomia, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, thiago-93@hotmail.com

⁴ Eng^o Agrônoma, Profa. Doutora, Depto Solos e Adubos, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, mcpcruz@fcav.unesp.br

⁵ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Depto Engenharia Rural, Faculdade de ciências agrárias e veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, dalri@fcav.unesp.br

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: As perdas de nitrogênio por volatilização na forma de amônia (N-NH₃) são elevadas quando aplicamos fertilizantes nitrogenados na superfície do solo. Este trabalho visa avaliar a dinâmica das principais formas de nitrogênio no solo e sua perda para a atmosfera, após a aplicação de uréia em um solo franco arenoso, bem como seus efeitos sobre a cultura do milho. O tratamento foi em delineamento inteiramente casualizado com tratamentos de uréia pura (T1) e uréia protegida com o aditivo Nzone[®] (T2) com 4 repetições. O experimento foi instalado em ambiente protegido na FCAV/UNESP, onde a cultura do milho foi conduzida em vasos plásticos de 7 dm³, irrigados por gotejamento periodicamente. Observou-se que o pico de volatilização do N-NH₃ ocorreu no terceiro dia após a imposição dos tratamentos, bem como uma redução de 39% na volatilização do N-NH₃, com aporte superior a 40% de N-NH₄⁺ no solo quando comparada com o tratamento que recebeu uréia pura. O tratamento da uréia propiciou incrementos na produção de grãos do milho.

PALAVRAS-CHAVE: volatilização, amônia, eficiência.

NITROGEN DYNAMICS IN CORN CROP IRRIGATION

ABSTRACT: The loss of nitrogen through volatilization as ammonia (NH₃) are high when applying nitrogenous fertilizer on the soil surface. This study aims to evaluate the dynamics of the main forms of nitrogen in the soil and its loss to the atmosphere, after application of urea in a sandy soil, as well as its effects on the corn crop. The treatment was a completely randomized design with pure urea treatment (T1) and urea protected with the additive Nzone[®] (T2) with four replications. The experiment was installed in a protected environment in FCAV / UNESP, where corn was grown in plastic pots of 7 dm³, drip irrigated periodically. It was observed that the peak volatilization of NH₃ occurred on the third day after the imposition of the treatments and a 39% reduction in volatilization of NH₃, with higher intake of 40% N-NH₄⁺ in soil compared with the treatment they received pure urea. The treatment of urea led to increases in the production of corn grains.

KEYWORDS: volatilization, ammonia, efficiency

INTRODUÇÃO

O nitrogênio juntamente com o carbono, o oxigênio e o hidrogênio são componentes específicos de biomoléculas. A deficiência do nitrogênio nas plantas acarreta perdas de produção, aumento dos custos e depreciação em qualidade do produto final (FERNANDES et al., 2006).

No solo o nitrogênio é encontrado de formas distintas. Estima-se que na profundidade de 30 cm de solo possa ser encontrado até 1500 kg de N, em sua grande maioria na forma orgânica. As formas mais comuns e em menor quantidade (25 kg) são as inorgânicas, como a nítrica (NO_3^-) e a amoniacal (NH_4^+) (MALAVOLTA, 1980), e tem como fonte principal geradora a mineralização da matéria orgânica, que após desaminação libera o íon amônia (NH_3^+) que acidificado é transformado em amônio (NH_4^+) (FERNANDES et al., 2006).

A absorção pelas plantas acontece preferencialmente por fluxo de massa (Malavolta, 1980) e seu transporte via fluxo transpiratório, via xilema e, ou via floema, através da membrana plasmática de algumas células, além de formas menores como peptídios, bases de purina e pirimidinas e seus derivados (FERNANDES et al., 2006).

As perdas gasosas do nitrogênio aplicado na superfície do solo por volatilização são da ordem de 70% (CANTARELLA, 2007). A emissão de óxidos de nitrogênio e amônia (NH_3) na atmosfera, gerados pela redução do NO_3^- pela enzima redutase do nitrito, diminui a eficiência das adubações nitrogenadas e são influenciadas de forma direta pela temperatura, umidade e pH do solo.

De forma geral, as perdas de N no solo são atribuídas à lixiviação de nitrato (NO_3^-), oriundo do amônio (NH_4^+) e da ação das bactérias nitrificadoras, em condições de pH na faixa de 6,0 a 7,0. A carga negativa desta forma contribui para que o mesmo fique dissolvido na solução do solo e seja facilmente carregado para as camadas mais profundas do perfil do solo.

Os danos ambientais são comuns pela lixiviação do NO_3^- , principalmente em se tratando de águas subterrâneas. Associado a isto, se têm os custos com a diminuição da eficiência do nutriente, que por sua vez, gera uma necessidade de aumento das doses almejando resultados produtivos satisfatórios.

Assim sendo, compreender as perdas de N é fundamental para definição de estratégias de manejo de fertilizantes, muito embora a quantificação destas apresente custos elevados e necessidade de equipamentos, laboratórios e procedimentos específicos.

Em campo, propostas de alguns produtos que adicionados aos fertilizantes reduzem as perdas por volatilização, tem despertado o interesse de produtores e técnicos, por aumentarem a eficiência do nitrogênio, tampouco, diminuição dos custos econômicos e proteção do meio ambiente.

Objetivou-se, no presente estudo, avaliar as espécies químicas de nitrogênio presentes no solo em função da proteção/revestimento da uréia com o aditivo Nzone Max[®], bem como estudar a viabilidade e eficiência agrícola do aditivo na redução das perdas de nitrogênio (N-NH_3) pelo solo e sua dinâmica na biometria e produção de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, SP, no setor de plasticultura, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural. As coordenadas locais são: latitude de 21°15'22"S, longitude 48°18'58"W e altitude de 595 metros.

O clima predominante na região, classificado por Thornthwaite (1948) é B1rA'a', caracterizado subtropical, relativamente seco no inverno, com chuvas de verão, apresentando temperatura média anual de 22°C e precipitação de 1.552 mm.

Para execução dos experimentos foi adotado um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos versaram sobre a aplicação de nitrogênio via uréia granulada pura (UP) e protegida com o aditivo Nzone Max (UT), em plantas de milho (híbrido Maximus/Syngenta).

O solo utilizado nos ensaios foi coletado na cidade de Monte Alto. O solo foi seco em estufa por 72 h a 65 °C e peneirado no laboratório de solos e água do departamento de Engenharia Rural. Os vasos de 7 dm³ foram preenchidos com substrato composto por solo e torta de filtro rotativo de açúcar e álcool, na proporção 10:1.

A caracterização física e química do composto foi feita em um laboratório de análise de solo credenciado no programa do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com resultado fornecido no dia 08/10/2014.

No dia 04/11/2014 foram alocadas 3 sementes por vaso plástico de 7 dm³ e os mesmos dispostos sobre bancada de alvenaria à 0,50 m do solo.

A estufa utilizada estava nivelada e locada no sentido Leste-Oeste. Construída em estrutura metálica apoiada em pilares de madeira, possuía 8 x 16 m, pé direito de 4,0 m, inclinação do telhado de 22°, e coberta por plástico difusor de luz 100% transparente com tratamento UV de 150 micras de espessura e as laterais revestidas com tela de polipropileno branca com 20% de sombreamento.

A adubação utilizada no experimento foi sugerida por Malavolta (1980) para ensaios em casa de vegetação, sendo (em mg L⁻¹): N – 300, P – 200, K – 150, Ca – 75, Mg – 15, S - 50, B – 0,5, Cu – 1,5, Fe – 5, Mo – 0,1 e Zn – 5.

As fontes de NPK utilizadas foram uréia granulada (45% N), cloreto de potássio (60% K₂O) e super simples (18% P₂O₅). Para conversão de K em K₂O e P em P₂O₅ foi feita a multiplicação por 1,20 e 2,29, respectivamente.

A aplicação do super simples foi feita toda na ocasião do semeio das culturas. Já as quantidades de uréia e de KCl foram feitas parceladamente e de forma simultânea em lados opostos da planta. A aplicação foi em superfície, sem incorporação, na forma de filete contínuo, no semeio, aos 30 e aos 45 dias após o semeio, em dose equivalente a 4,65 g de uréia; 53,45 g de supersimples e 2,1 g de cloreto de potássio em cada vaso de 7 dm³ (MALAVOLTA, 1980).

A proteção da uréia foi realizada no laboratório de água e solos da FCAV por meio da mistura do aditivo NzoneMax fornecido pela empresa AgXplore Brasil na dose recomendada de 3 L t⁻¹ de uréia. Por ser pequena a quantidade de uréia aplicada no parcelamento, optou-se pela preparação de 1 kg de uréia protegida, e após homogeneização, separada a dose recomendada para aplicação nos tratamentos. O restante da uréia protegida era descartada e na adubação subsequente outra porção do fertilizante era tratado com o produto NzoneMax[®] poucas horas antes da aplicação.

A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ foi obtida pela disposição dos vasos em fileiras duplas espaçadas de 0,20 m x 0,50 m, nos quais após desbaste restou somente 1 planta útil.

O sistema de irrigação localizada foi composto de emissores de vazão de 4 L h⁻¹, pressão de serviço de 70 kPa, arranjos de forma a aplicar 1 L h⁻¹ vaso⁻¹ via gotejadores de estaca. A pressurização do sistema foi feito por um conjunto motobomba elétrico de 0,5 CV, equipado com válvula reguladora de pressão e filtro de tela de plástico de 120 mesh.

O sistema de irrigação foi automatizado para melhor controle do tempo de irrigação via comando elétrico de abertura e fechamento da válvula instalada no cavalete de entrada da estufa.

O monitoramento do teor de umidade do solo foi feito pelo método gravimétrico. Previamente a instalação do experimento, os vasos de 7 dm³ preenchidos com o substrato (solo e torta de filtro) seco, foram irrigados até a saturação. Este procedimento foi realizado com a imersão dos vasos em um recipiente com água de forma a umedecer o solo por capilaridade.

Depois de umedecidos os vasos foram levados às bancadas e onde permaneceram até a drenagem total do excesso de água pelo fundo dos vasos. Foi quantificada a massa dos vasos em quilogramas, determinando-se assim a capacidade de retenção de água do substrato dos vasos. Este procedimento foi repetido por 5 vezes e definida a capacidade de campo do solo (CC) com valores de 12,64 kg para o solo utilizado, descontados a massa de 0,300 kg dos vasos.

A irrigação foi realizada de forma a elevar o conteúdo de água próximo a 80-90% da capacidade de campo. Para tanto eram tomados aleatoriamente 5 vasos e pesados em balança digital com capacidade de 50 kg e precisão de 0,05 kg. A diferença entre o peso obtido na tara dos vasos, ou seja, umidade do solo na capacidade de campo (U_{cc}) e o peso atual ($U_{crítica}$), em kg, definia o volume de água em dm³ a ser resposto pela irrigação, considerando a massa específica da água 1 kg m³.

Para quantificação da amônia (NH₃) volatilizada foi instalado em cada parcela (vaso), um dispositivo captor de gás (coletor aberto), adaptado de Mariano et al., (2012), constituído de uma espuma de polietileno de 2,0 cm de espessura, densidade 0,33 g cm³ de 8 x 8 cm, embebida em uma solução contendo 25 mL de ácido orto-fosfórico (0,5N) e glicerina (4%). A espuma foi fixada na face inferior de uma placa de PVC de 10 x 10 cm por elásticos.

Os coletores ficaram suspensos a 1 cm de altura do solo, presos em hastes de metal e grampos, e foram instalados em três momentos, quando da realização de adubações com uréia e cloreto de potássio. As amostragens constituíram-se de coletas e trocas das espumas que foram realizadas diariamente por um período de 4 dias consecutivos.

Na manhã dos dias de instalação dos dispositivos captadores de NH₃ o solo era irrigado para elevação da umidade próximo a 80% - 90% da capacidade de campo. Às 18:00 h do mesmo dia era realizada a adubação em superfície com a uréia pura e protegida com NzoneMax, conjuntamente com o cloreto de potássio. Em seguida os dispositivos captadores de amônia eram instalados e permaneciam coletando a NH₃ volatilizada por 24 h.

No dia seguinte à adubação, as esponjas dos dispositivos eram coletadas e imediatamente realizava-se a extração do amônio (N-NH₄⁺) por meio da lavagem das espumas em béquer plástico contendo 200 ml de água deionizada, segundo metodologia adaptada de (LEITE et al., 2013; BATAGELLO et al., 2014). Para realizar a extração, as mãos foram envolvidas com luva cirúrgica e cada uma das esponjas sofreu uma seqüência de 10 compressões manuais, liberando todo o N-NH₄⁺ retido na espuma na solução aquosa.

A solução extraída era colocada em garrafas plásticas de 300 ml, acondicionadas em caixas de isopor e posteriormente transportadas para o laboratório de biodigestão da FCAV. Para a determinação da concentração de N-NH₄⁺ eram tomadas alíquotas de 10 ml do extrato e realizada a destilação por arraste de vapores (Método Kjeldahl) após adição de 0,2 g de MgO e solução indicadora de ácido bórico (MIYAZAWA et al., 1999) por amostra seguida de titulação com solução de H₂SO₄ 0,005 N (TEDESCO et al., 1995).

Foram realizadas coletas de amostras de solo a 5 cm de profundidade na data do semeio, aos 30, 45 dias após o semeio, sempre antes da adubação definida para o experimento. Nessas amostras determinou-se o N-amoniaco (NH₄⁺) e N-nítrico (NO₃⁻), bem como o pH na primeira e última coleta.

Por ocasião da coleta dos captadores de amônia foram também coletadas amostras da solução de solo. Para tanto, foram instalados extratores de solução de cápsula porosa a 5 cm de profundidade. O procedimento adotado foi a realização de vácuo (sucção de ≈ 600 mmHg),

no último dia de coleta dos captosres, com o auxílio de uma pistola de vácuo. A coleta da solução do solo foi feita 24 h após a aplicação do vácuo, por meio de seringa plástica de 60 ml.

As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas plásticas e transportadas em caixas de isopor ao laboratório de biodigestão da FCAV. Nas amostras foram determinados os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . As determinações foram feitas conforme a metodologia aplicada na extração do N-NH_3 volatilizado, todavia para o N-NO_3^- utilizou-se a liga de Devarda juntamente com o MgO .

A colheita foi realizada no dia 13 de janeiro de 2015. Esta data não coincidiu com o final do ciclo da cultura. Este ajuste de datas foi necessário, uma vez que, o incremento de temperatura do ar durante esta fase poderia afetar negativamente as plantas.

Foram determinadas a altura de planta, o diâmetro do caule (terço médio), o número de entrenós, o número de folhas e o volume da raiz, além da matéria seca da folha, do caule e da raiz. Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância, e quando significativos os efeitos dos tratamentos, procedeu-se à comparação de médias pelo teste “T” a 1 e 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar dentro do ambiente protegido alcançou valores de 43,60 °C, 21,6 °C e 31,6 °C para as temperaturas máxima, mínima e média. Estes valores estão bem acima do recomendado para as culturas do milho e sorgo, que estão na faixa de 25 a 30 °C. O valor extremo de temperatura máxima média de 43,60 °C observado no mês de janeiro de 2015 pode ocasionar a diminuição da atividade da enzima “redutase do nitrato”, alterando o rendimento e a composição proteica dos grãos.

A umidade relativa no interior da casa de vegetação alcançou valores médios de 84,10%; 40,50% e 62,30% de máxima, mínima e média. Os valores máximo e mínimo foram 89% e 26% nos meses de janeiro e novembro de 2014.

De forma similar a temperatura do ar, a temperatura do solo durante o experimento apresentou os extremos de 41,53 °C e 24,60 °C, ocorridos no mês de janeiro de 2015, com média de 32,63 °C durante o período do experimento. Embora também tenham sido observadas temperaturas altas no solo, na faixa de 35 °C, na fase de semeio e emergência, o estresse térmico não interferiu na emergência das plântulas, uma vez que, todas as três sementes utilizadas emergiram, sendo necessário o desbaste nos vasos.

A evapotranspiração estimada pelo método do Tanque Classe “A” no interior da casa de vegetação foi de 414,03 mm no período do experimento. Este valor abaixo dos 500 – 800 mm referenciados na literatura como a necessidade hídrica da cultura em um ciclo de 120 dias em cultivo a campo aberto.

Para manutenção do teor de umidade do solo foram aplicados via irrigação 45,5 litros de água por vaso durante a experimentação.

Em relação ao solo do experimento, pode-se observar pelo resultado da análise física do solo que o mesmo apresenta características próprias, sendo classificado em franco arenoso (Tabela 1).

O resultado da análise química do solo demonstra a alta fertilidade do solo, cujo valores são: $\text{pH (CaCl}_2\text{)}=7,6$; $\text{MO}=21 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{P}=221 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K}=12,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$; $\text{Ca}=143 \text{ mmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg}=23 \text{ mmolc dm}^{-3}$; $\text{H+Al}=8 \text{ mmolc dm}^{-3}$; $\text{SB}=179 \text{ mmolc dm}^{-3}$; $\text{CTC}= 187 \text{ mmolc dm}^{-3}$ e $\text{V}=95,7\%$.

As quantidades de micronutrientes também estão acima das exigências da cultura do milho, sendo: B=0,44 mg dm⁻³; Cu=1,5 mg dm⁻³; Fe=25 mg dm⁻³; Mn=14,6 mg dm⁻³ e Zn=4 mg dm⁻³.

Os valores de amônio (N-NH₄⁺), nitrato (N-NO₃⁻) e N-Total foram de 20; 407 e 1104 mg kg⁻¹.

TABELA 1. Resultado da análise física do solo coletado na cidade de Monte Alto – SP, utilizado no experimento.

Total g kg ⁻¹	Areia		Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Classificação
	Grossa g kg ⁻¹	Fina g kg ⁻¹			
778	424	354	161	61	Franco Arenoso

O valor de pH é adequado para o cultivo de milho, sendo desnecessária a correção da acidez através da utilização de calagem. Este valor de pH é ótimo para a absorção de NH₄⁺ pelas plantas, acarretando adequada nutrição nitrogenada com menor gasto energético direto pelas plantas (PRADO, 2008).

De forma similar, todos os nutrientes estão acima da faixa considerada adequada para o cultivo de grãos, inclusive a CTC e a saturação por bases. Estes resultados podem ser atribuídos à adição de torta de filtro incorporada ao solo para formação do substrato utilizado nos vasos.

Na tabela 2 estão apresentados os valores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ encontrados na matriz do solo (fase sólida) e na solução do solo (fase líquida) da primeira amostragem realizada aos 30 dias após o plantio. Podemos observar que pelo somatório das formas de nitrogênio encontrado no solo, tanto na forma nítrica (N-NO₃⁻) quanto amoniacal (N-NH₄⁺), no tratamento em que a uréia foi protegida com o aditivo NzoneMax é menor do que o tratamento em que uréia estava pura, fato que se deve ao fato de que o milho possui uma alta capacidade de exportação de N do solo.

TABELA 2. Valores da concentração de amônio (N-NH₄⁺) e de nitrato (N-NO₃⁻) na matriz e na solução de um solo cultivado com milho e adubado com uréia pura (UP) e ureia protegida com Nzone Max (UT) – 30 dias após o plantio.

Tratamento	Matriz do solo			Solução do solo		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total
mg dm ⁻³						
Uréia Pura	27	247	274	105.07	205.66	310.73
Uréia Protegida	38	191	229	75.85	56.54	132.39

Porém a forma amoniacal na matriz do solo é maior no caso da uréia tratada com o aditivo NzoneMax, fazendo com que a maior fixação do nitrogênio na matriz do solo é uma das formas de prevenção de perdas tanto por lixiviação quanto por volatilização. Também, a baixa concentração de N-NH₄⁺ no solo pode estar relacionada com o baixo valor de pH, que favorece a absorção desta forma de nitrogênio em detrimento ao N-NO₃⁻.

Na segunda amostragem, realizada 45 dias após o semeio, houve uma tendência à manutenção do nitrogênio em maior concentração na matriz do solo (Tabelas 3). A uréia protegida com NzoneMax resultou em maiores valores de nitrogênio na matriz, quando comparada com a uréia pura.

Os altos valores da quantidade de nitrato (NO₃⁻) podem ser atribuídos pela elevação momentânea do pH do solo, devido a formação do bicarbonato de cálcio, no final da reação

de formação do amônio (NH_4^+), causando um aumento na atividade microbiológica (nitrificação).

TABELA 3. Valores de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) na matriz e na solução de um solo cultivado com milho e adubado com uréia pura (UP) e ureia protegida com Nzone Max (UT) – 45 dias após o plantio.

Tratamento	Matriz do solo			Solução do solo		
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	Total	N-NH_4^+	N-NO_3^-	Total
	mg dm^{-3}					
Uréia Pura	65	353	418	1.88	6.36	8.25
Uréia Protegida	103	103	206	1.88	4.24	6.12

Durante a primeira avaliação das perdas de nitrogênio para a atmosfera, realizada no semeio, foi aplicada uma dose de 518 mg vaso^{-1} de uréia e $233,33 \text{ mg vaso}^{-1}$ de cloreto de potássio, correspondendo a 1/3 da dose total de cada nutriente. Como a amônia volatilizada foi determinada em um volume de 200 mL, o resultado será apresentado como uma parcela.

No valor acumulado ao longo dos quatro dias fica evidenciada a redução da volatilização de N-NH_3 dos tratamentos onde foi feita a proteção do nitrogênio com o aditivo Nzone (Figura 1). A redução relativa no total acumulado foi de 28% de volatilização no tratamento 2 em relação ao 1.

O pico de volatilização de N-NH_3 ocorreu no terceiro dia após a aplicação, com valor de $0,76 \text{ mg parcela}^{-1}$ no T1 e $0,37 \text{ mg parcela}^{-1}$ em T2. Embora tenha se observado um valor mais expressivo de volatilização no primeiro dia de coleta ($0,30 \text{ mg parcela}^{-1}$) no T2 em relação a T1 ($0,10 \text{ mg parcela}^{-1}$), no total acumulado este foi menor ($1,29 \text{ mg parcela}^{-1}$), bem como manteve-se mais estável ao longo dos dias de coleta.

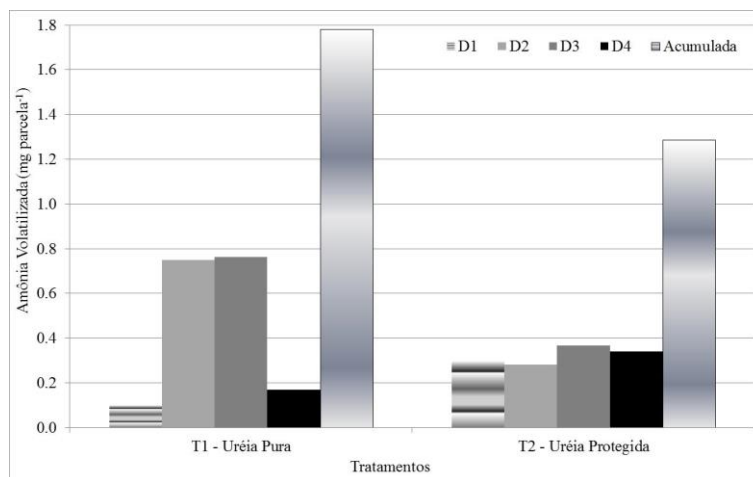


FIGURA 1. Perda por volatilização de N-NH_3 , ocorrida no semeio, após aplicação de uréia em superfície, granulada pura (UP) e protegida com Nzone Max (UT) em solo arenoso cultivado com milho.

A segunda aplicação foi realizada aos 30 dias após o semeio. Para tanto, foram adicionados 518 mg vaso^{-1} de uréia e $233,33 \text{ mg vaso}^{-1}$ de KCl, na superfície do solo, sem incorporação, perfazendo o total de 2/3 da recomendação necessária para as plantas durante o ciclo.

Os valores de volatilização de N-NH_3 no solo estudado na segunda aplicação apresenta pico de ocorrência entre o segundo ao terceiro dia após a aplicação da uréia (Figura 2). O maior valor diário observado foi de $3,67 \text{ mg parcela}^{-1}$ em T1 contra $3,01 \text{ mg parcela}^{-1}$ em T2.

No tratamento 2 houve redução de 5,20% na volatilização acumulada, onde os valores foram de 10,46 e 9,92 mg parcela⁻¹ para T1 e T2, respectivamente.

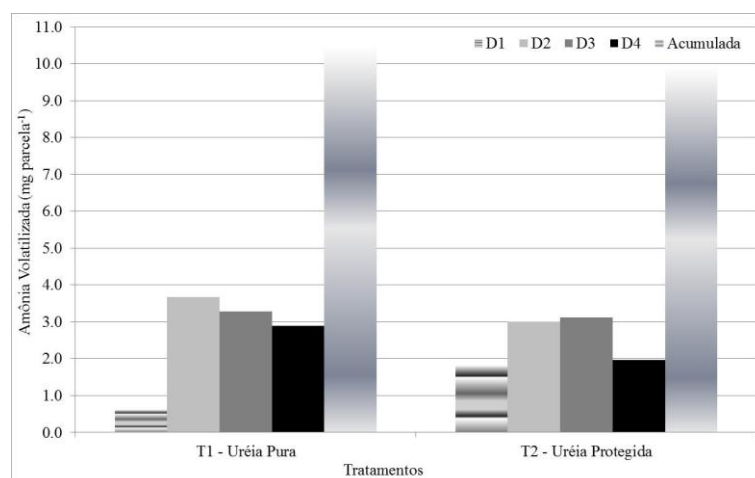


FIGURA 2. Perda por volatilização de N-NH₃, ocorrida 30 dias após o semeio, após aplicação de uréia em superfície, granulada pura (UP) e protegida com Nzone Max (UT) em solo arenoso cultivado com milho.

A diferença nos valores acumulados entre este período e a primeira coleta foi de 8,98 e 8,63 mg parcela⁻¹ para os tratamentos 1 e 2, respectivamente. Este incremento pode ser atribuído à elevação da temperatura do ar no interior da casa de vegetação registradas nos meses de dezembro e janeiro.

A terceira aplicação foi realizada aos 45 dias após o semeio. A recomendação de adubação para o ciclo da cultura foi finalizado com a adição de 518 mg vaso⁻¹ de uréia e 233,33 mg vaso⁻¹ de KCl.

De forma semelhante aquela observada nas aplicações anteriores, o pico de volatilização ocorreu entre o segundo e o terceiro dia, com o valor de 6,95 mg parcela⁻¹ em T1 (sem Nzone) e 6,16 mg parcela⁻¹ em T2 (com Nzone), observados no terceiro dia de coleta (Figura 3). Os valores acumulados extremos foram de 18,62 e 17,44 mg parcela⁻¹ para T1 e T2.

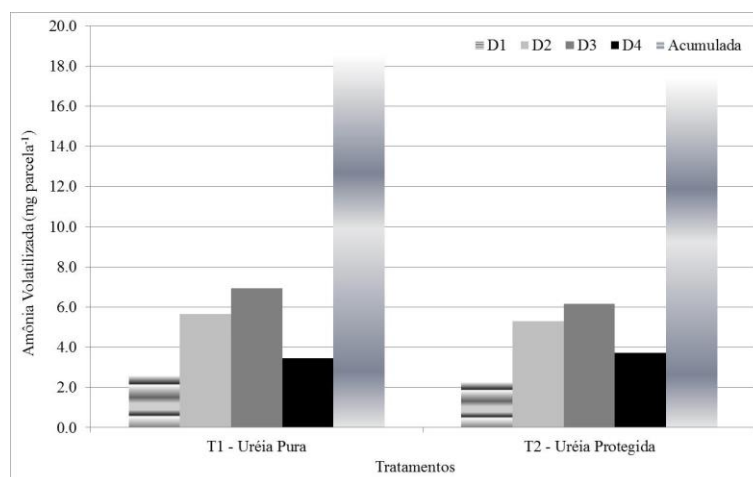


FIGURA 3. Perda por volatilização de N-NH₃, ocorrida 45 dias após o semeio, após aplicação de uréia em superfície, granulada pura (UP) e protegida com Nzone Max (UT) em solo arenoso cultivado com milho.

A redução na volatilização de N-NH₃ proporcionada pela proteção de uréia com Nzone foi de 6,33% para o cultivo com milho. Este valor foi bem próximo aos 5,20% observado na segunda época de coleta.

Nesta época de coleta os valores de volatilização de N-NH₃ foram superiores aos das duas épocas anteriores. Este fato revela a forte influência das altas temperaturas registradas no interior da casa de vegetação no mês de janeiro, nas perdas de nitrogênio por volatilização.

Para as características biométricas e de produção, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com uréia pura (T1) e uréia protegida com Nzone Max (T2) para todas as variáveis analisadas para a cultura do milho, exceto para o número de entrenós (Tabela 4).

Nos tratamentos em que a uréia foi protegida por Nzone Max, a massa seca de folhas teve um acréscimo de 37% em relação ao tratamento com uréia pura. Este resultado evidencia o melhor aproveitamento do nitrogênio pela planta, uma vez que, este estando protegido, permanece por mais tempo a disposição das raízes para absorção.

A massa seca de caule e da raiz também apresentaram este comportamento, resultando em aumento de 46% e 213% no tratamento com uréia protegida.

TABELA 4. Valores médios de massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), volume radicular (VR), massa seca de raiz (MSR), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC) e altura de plantas (AP) de milho cultivado em ambiente protegido adubados com uréia pura e protegida com aditivo Nzone Max.

Tratamentos	MSF	MSC	VR	MSR	NF	DC	AP
T1 - Ureia pura	45.02 b	36.31 b	266.00 b	103.08 b	10.00 b	18.35 b	1.55 b
T2 - Ureia protegida	62.05 a	53.03 a	490.50 a	220.32 a	12.00 a	21.01 a	1.72 a
Média Geral	56.19	44.67	378.25	161.7	11	19.68	1.63
CV (%)	4.52	21.35	9.49	9.18	6.59	6.17	2.69

¹CV: coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 1% e 5% de significância.

Observa-se que a retenção de folhas, mesmo com a ocorrência de temperaturas elevadas, teve efeito significativo nos tratamentos com adição do NzoneMax, com valor de 20% superior em relação a T1.

No volume radicular, o aumento ocasionado pela adição do NzoneMax à uréia foi de 84%, situação que pode favorecer a absorção mais rápida e eficiente de nitrogênio da solução do solo, já que a interceptação radicular é a primeira etapa do processo de absorção de nitrogênio pelas plantas.

A média da altura e o do diâmetro do caule foi de 1,72 m e 21,01 mm, respectivamente, nas plantas que receberam uréia protegida com NzoneMax. Estes valores são bem mais expressivos em comparação aos 1,55 m e 18,35 mm daquelas plantas que receberam uréia pura.

CONCLUSÕES

O produto NzoneMax quando adicionado a uréia para proteção do nitrogênio da mesma acarretou redução das perdas por volatilização da amônia (N-NH₃). A eficácia do produto pôde também ser comprovada na alteração positiva da maioria das características biométricas e vegetativas das plantas de milho.

Por outro lado, para as condições do presente estudo o produto NzoneMax, na dose de 3,0 L t⁻¹ de uréia granulada, não foi eficiente na inibição da nitrificação, tampouco, o produto foi ineficaz na manutenção do nitrogênio do solo na forma amoniacal (NH₄⁺), conforme propõem o fabricante AgExplore.

É pertinente salientar que em virtude das altas temperaturas durante os meses de dezembro e janeiro, nas condições experimentais, bem como da tendência à aumentos no mês de fevereiro, o ensaio teve de ser interrompido antes da colheita, prejudicando o dimensionamento da produção de massa seca de grãos das culturas em estudo.

AGRADECIMENTOS

A empresa AgXplore Brasil pelo apoio técnico e financeiro para desenvolvimento do projeto. Ao laboratório de solos do departamento de solos e adubos da FCAV e a Universidade Federal de Viçosa pela parceria no desenvolvimento de estudos voltados a fertirrigação nitrogenada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATAGELLO, H. H., et al. **Extração de N-NH₄⁺ de espumas utilizadas para quantificação de NH₃ volatilizada.** In: Simpósio Científico dos Pós-Graduandos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP, 7. Anais... Piracicaba, 2014.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas: Nitrogênio.** Viçosa-MG, p. 215-252, 2006.
- HATCH, D., et al. **Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact f diurnal temperature cycle.** Biol Fertil Soil, v. 45: 225-232, 2005.
- LEITE, J. M., et al. **Volatilização de NH₃ do solo como resultado da aplicação de uréia associada a ácidos húmicos e/ou vinhaça concentrada.** In: Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, 10. Anais...Goiás: EMBRAPA, 2013. P. 369 – 371.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Piracicaba : Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MIYAZAWA, M., et al. **Análises químicas de tecido vegetal.** In: **SILVA, F.C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p.171-223
- SCHIRMANN, J. **Estratégias para melhorar o fornecimento de nitrogênio ao milho e ao trigo por dejetos de suínos e reduzir a emissão de óxido nitroso do solo.** 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, 2012.
- SUBBARAO, G. V.; et al. **Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – Challenges and opportunities.** Crit. Rev. Plant Sci., 25: 303-335, 2006.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico; 5).