

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Amanda Oliveira Fonseca

Matrícula: 2015102200240242

Título do Trabalho: Volatilização de amônia a partir de ureia comum e tratada com inibidores de uréase.

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 14/02/2022

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local RIO VERDE Data 14/02/2022

*Amanda Oliveira Fonseca*

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

*Justino Castoldi*

---

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 1/2022 - GPP-POLO/POLO/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos 4 dias do mês de fevereiro de 2022, às 15 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Gustavo Castoldi (orientador), Rafael Gama Junqueira do Val (membro) e Thomas Jefferson Cavalcante (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Volatilização de amônia a partir de ureia comum e tratada com inibidores de urease" da estudante Amanda Oliveira Fonseca, Matrícula nº 2015102200240242 do Curso de Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelo orientador, em nome dos demais membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Gustavo Castoldi

Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

Rafael Gama Junqueira do Val

Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Thomas Jefferson Cavalcante

Membro



**INSTITUTO FEDERAL**

Goiano

Campus Rio Verde

**BACHAREL EM AGRONOMIA**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA A PARTIR DE UREIA  
COMUM E TRATADA COM  
INIBIDORES DE UREASE**

**AMANDA OLIVEIRA FONSECA**

**Rio Verde, GO**

**2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE**

**CURSO SUPERIOR DE AGRONOMIA**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA A PARTIR DE UREIA COMUM E  
TRATADA COM  
INIBIDORES DE UREASE**

**AMANDA OLIVEIRA FONSECA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio  
Verde, como requisito parcial para a obtenção  
do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

Rio Verde – GO

Fevereiro, 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

F676 Fonseca, Amanda  
Volatilização de amônia a partir de ureia comum e  
tratada com inibidores de urease. / Amanda Fonseca;  
orientador Gustavo Castoldi. -- Rio Verde, 2022.  
24 p.

Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em em  
Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio  
Verde, 2022.

1. Nitrogênio. 2. N-(n-butil) tiofosfórico  
triamida (NBPT). 3. N-(n-propil) tiofosfórico  
triamida (NPPT). I. Castoldi, Gustavo, orient. II.  
Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por me conceder os ensinamentos da vida, pela saúde e por sempre me iluminar, me proteger e me guiar durante as minhas caminhadas.

Aos meus pais, Antônio Fonseca e Odovaldina Fonseca, por sempre estarem ao meu lado me educando e me ensinando que a única coisa que ninguém rouba neste mundo é a educação e por nunca medirem esforços para me proporcionarem uma educação de qualidade e pelos exemplos e ensinamentos compartilhados.

Ao meu companheiro, Matheus Lira, que também foi uma das peças-chaves de apoio e companheirismo durante minha trajetória.

A minha vó, Dona Fladermiria Peixoto, que foi meu exemplo de humildade e simplicidade, e, também sempre esteve ao meu lado me apoiando em todas minhas decisões.

Em especial ao meu filho, Nicolas Lira, que é meu combustível de viver, meu melhor amigo, parceiro e o meu maior orgulho.

Ao meu professor orientador Dr. Gustavo Castoldi, pelas inúmeras horas de orientação, pela dedicação e compreensão, se tornando um amigo indispensável que sempre me apoiou e me proporcionou conselhos seja eles profissionais como também pessoais que levarei para toda a vida.

A todos os amigos, que no decorrer destes cinco anos de graduação se fizeram presentes, por todo o companheirismo, horas de estudo e por todos os momentos de descontração que vivi com cada um de vocês.

Ao Laboratório de Química Agrícola do IF Goiano - Campus Rio Verde, que me forneceu espaço, estrutura e equipamentos imprescindíveis para condução e avaliação do trabalho, bem como à toda a equipe do mesmo pelo auxílio na execução deste.

À empresa Cibra Fertilizantes, pelo suporte financeiro e parceria nas discussões referentes ao trabalho.

Ao coordenador do curso de Agronomia, professor Fernando Higino, pela sua dedicação e apoio com todos os alunos. Ao Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia pela oportunidade de cursar um curso superior e a todo o corpo docente e demais servidores da instituição que, de alguma forma, contribuíram ao longo do curso, para aprimorar meu conhecimento.

## RESUMO

FONSECA, Amanda Oliveira. Volatilização de amônia a partir de ureia comum e tratada com inibidores de uréase. 2022. 24p. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, GO, 2022. Objetivou-se avaliar a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) a partir de ureia comum e tratada com diferentes inibidores de urease, quando aplicada sobre o solo descoberto e úmido. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, num total de 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por uma bandeja plástica preenchida com 9 L de solo descoberto e úmido, sendo a avaliação da volatilização de  $\text{NH}_3$  feita utilizando-se câmaras semiabertas. Um tratamento controle adicional, sem ureia, foi conduzido a fim de ser utilizado como branco. Os tratamentos foram compostos por ureia comum, ureia tratada com NBPT (600 mg  $\text{kg}^{-1}$  ureia) e ureia tratada com três doses de NBBT+NPPT (600, 450 e 300 mg NBPT  $\text{kg}^{-1}$  ureia), aplicados superficialmente, dentro das câmaras, em dose equivalente a 135 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . A volatilização de  $\text{NH}_3$  foi avaliada por um período de 28 dias. A perda de N- $\text{NH}_3$  a partir da ureia comum aplicada sobre o solo descoberto e úmido pode chegar a 19,6% do total do N aportado via fertilizante, e 70% dessa perda acontece nos primeiros 4 dias da aplicação. Em comparação à ureia comum, os tratamentos com NBPT (600 mg  $\text{kg}^{-1}$  ureia) e com três doses de NBBT+NPPT (600, 450 e 300 mg NBPT  $\text{kg}^{-1}$  ureia) são igualmente eficientes em reduzir as perdas acumuladas de  $\text{NH}_3$ .

**Palavras-chave:** nitrogênio, N-(n-butil) tiofosfórico triamida (NBPT), N-(n-propil) tiofosfórico triamida (NPPT).



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Nitrogênio na agricultura.....	8
2.2 Ureia como fonte de nitrogênio.....	8
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>20</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) quando vinda da aplicação de ureia é uma das principais vias de perda de nitrogênio proveniente da adubação (HUANG et al., 2017; DAMIN & SOLER-SILVA, 2016). Esse processo é favorecido pelo próprio consumo de íons  $\text{H}^+$ , na reação de hidrólise da ureia, o que acaba por resultar no aumento do pH do solo ao redor do grânulo do fertilizante e então favorecer a volatilização de  $\text{NH}_3$  (FERM, 1998; BOLAN & HEDLEY, 2003; CHIEN et al., 2009; FAGERIA, 2014), mesmo em condições de solos ácidos. Tais perdas podem atingir até 40% ou mais do N fornecido pela ureia em solos sob altas temperaturas, condição comum nos solos brasileiros (ROSOLEM et al., 2017; SILVA et al., 2017; CANTARELLA et al., 2018), sendo ainda potencializadas quando da aplicação da ureia sobre palhada, uma vez que a presença de uréase na palhada é maior do que no solo, o que acelera o processo de quebra da molécula do fertilizante.

O processo de volatilização de  $\text{NH}_3$  é ainda influenciado por condições meteorológicas (temperatura do sol e do ar, velocidade do vento e umidade), pH do solo e da água, capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, poder tampão do solo, teor de argila, fonte de N, forma de aplicação do N e tipo de manejo do solo (BOUWMEESTER et al., 1985; FAGERIA, 2014; CONGREVES et al., 2016). No Cerrado, elevadas temperaturas, associadas ao baixo poder tampão dos solos, podem favorecer as perdas de N por volatilização.

A incorporação da ureia ao solo por meio mecânico ou pela água da chuva ou da irrigação reduz ou elimina as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  (TERMAN, 1979; HOLCOMB et al., 2011; ROCHETTE et al., 2013). Outra alternativa, no entanto, é o uso de ureia de eficiência aumentada, na maioria das vezes revestida com inibidores de urease – substâncias que bloqueiam por algum tempo a hidrólise da ureia, dando-lhe tempo para sua incorporação ao solo pela água (irrigação ou chuva) ou simplesmente por difusão para o interior do solo contra um gradiente de concentração na solução do solo (CANTARELLA et al., 2018).

Centenas de compostos têm sido testados como inibidores de urease, incluindo metais e compostos orgânicos (KISS & SIMIHAIAN, 2002). Porém, o produto com mais sucesso no mercado é o NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida ou N-n-butiltriamida do ácido tiofosfórico) (CHIEN et al., 2009; TRENKEL, 2010; CANTARELLA et al., 2018), mesmo sendo menos eficiente em solos ácidos (SAN FRANCISCO et al., 2011; ENGEL et al., 2015). As perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  com ureia tratada com NBPT são reduzidas em média entre 40 e 70%, conforme mostram artigos de revisão recentes sobre o assunto (ABALOS et al., 2014;

PAN et al., 2016; SILVA et al., 2017; CANTARELLA et al., 2018), porém as perdas em geral não são totalmente eliminadas. O período de inibição do NBPT é relativamente curto (de 4 a 14 dias, dependendo das condições de solo, umidade e temperatura) (CANTARELLA et al., 2018). Mais recentemente, novas formulações têm chegado ao mercado, contendo NBPT combinado com NPPT (N-(n-propil) thiophosphoric triamide) e NBPT combinado com Duromide®. No entanto, informações sobre a eficiência de tais compostos ainda são escassas. Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a volatilização de  $\text{NH}_3$  a partir de ureia branca, tratada com NBPT e NBPT+NPPT em diferentes doses, quando aplicada sobre o solo descoberto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Nitrogênio na agricultura

O nitrogênio (N) é composto fundamental das proteínas, ácidos nucleicos e de outros constituintes celulares. Somente as proteínas somam 60% das plantas e das células microbianas (SORDI et al., 2020). Presente também nas rochas, no fundo dos oceanos e minerais, o N também é abundante na atmosfera, na forma de gás ( $N_2$ ), uma molécula com ligação tripla de átomos, o que demanda energia para ser quebrada (MOTA, 2021).

No solo, o N pode ser encontrado em forma inorgânica e orgânica, sendo essa a sua maior parte (95%). As formas inorgânicas de N no solo são representadas pelo amônio ( $NH_4$ ), nitrito ( $NO_2$ ) e nitrato ( $NO_3$ ). Essas moléculas sofrem transformações físicas, químicas e biológicas. Na fixação biológica do nitrogênio (FBN) ocorre a conversão de  $N_2$  em outras formas de nitrogênio que então, são aproveitadas pelas plantas. Esta conversão é feita por bactérias do gênero *Rhizobium*, que através da ação da nitrogenase transformam o N atmosférico em amônia ( $NH_3$ ), sendo que no solo a amônia reage rapidamente com a água para formar íons de amônio (GEISSELER et al., 2010).

O nitrogênio está entre os 17 elementos essenciais do ciclo de uma planta, sendo um nutriente insubstituível e requerido em grandes quantidades por ter participação direta no metabolismo delas. O N está presente no ATP, NADPH, NADH, proteínas, enzimas e clorofila (MALAVOLTA et al., 1974), sendo então, um limitante da produtividade, pois na sua ausência as plantas não conseguem germinar, crescer, florescer e produzir sementes de forma adequada.

A absorção de N ocorre através da membrana plasmática das células da epiderme e do córtex da raiz, onde passa o ( $NO_3$ ) e o ( $NH_4$ ), que é reduzido a ( $NO_2$ ) no citosol que em seguida é convertido em amônio e incorporados a aminoácidos para a formação de proteínas e de novas enzimas (TAIZ et al., 2017)..

### 2.2 Ureia como fonte de nitrogênio

A China, Índia e os Estados Unidos são os principais consumidores de fertilizantes nitrogenados do mundo (ANDA, 2016). Dessa forma estes países são responsáveis pelo controle da balança comercial, em virtude de várias fábricas estarem situadas nestes países.

A produção industrial de N é dependente do consumo energético e que gera emissão de gases de efeito estufa. Dentre os insumos utilizados na agricultura, os fertilizantes nitrogenados são os que mais oneram os custos de produção, devido a suas perdas por volatilização, lixiviação

e nitrificação (ROBERTSON & GROFFMAN, 2007). Dessa forma, o N aplicado vai fertilizantes sofre grandes perdas, necessitando de formas renováveis e/ou mais eficientes para aumentar a aplicabilidade da sua utilização. Como alternativa aumentou-se os estudos sobre a FBN (NAZ & SULAIMAN, 2016), para reduzir a dependência desses fertilizantes. Em casos de grandes culturas como a soja, se é possível produzir sem N via fertilizantes e já no caso do milho, a utilização de fertilizantes nitrogenados é extremamente importante, sendo a ureia a mais utilizada.

O Brasil importa cerca de 75% dos fertilizantes nitrogenados, sendo a ureia a mais utilizada, pela relação custo-benefício, pela sua alta concentração de N (44 a 46%), alta solubilidade, menor corrosividade, compatibilidade com outros adubos e alta taxa de absorção foliar (FAGERIA, 2014). Entretanto, pode-se ter altas perdas devido a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) (CANTARELLA & MARCELINO, 2007). Em condições de alta temperatura, altas taxas de evaporação e ausência de precipitação as perdas podem atingir até 80% da ureia aplicada a lanço (MARTHA JUNIOR et al., 2004).

Várias modificações para diminuir as perdas de ureia já foram feitas, entre elas a solubilidade controlada por meio de resinas ou polímeros ou até mesmo com o uso de a cobertura de enxofre elementar (MORO et al., 2014). Portanto produtos comerciais que reduzem as perdas de N podem viabilizar o seu uso.

Estudos apontam que o uso de inibidores da urease reduz as perdas de ureia por volatilização, sendo então, viável o seu uso. Hoje no mundo, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é o inibidor de urease mais utilizado pois reduz a velocidade de hidrólise e conversão de amônio em nitrato. Quando aplicado ao solo juntamente com a ureia inibe a uréase por cerca 3 a 14 dias com uso em baixas concentração (500 a 400 mg NBPT/kg de ureia), a depender das condições de temperatura e umidade do solo. Após esse período perde gradativamente o seu efeito (CANTARELLA & MARCELINO, 2008).

ZAMAN et al. (2018) utilizou  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de NBPT em pastagem de azevém com trevo branco, e verificaram que Ureia + NBPT reduziu 45% as perdas por volatilização em relação ao tratamento sem NBPT. SANTOS et al. (2013), também constatou que a ureia tratada com NBPT proporcionou aumento de  $915 \text{ kg ha}^{-1}$  na produção de biomassa de capim-maramdu, em comparação com a ureia comum.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### Local de condução e descrição geral do experimento

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação climatizada, anexa ao laboratório de química agrícola do Instituto Federal Goiano (Rio Verde, GO).

O solo utilizado no ensaio (Tabela 1) foi coletado na camada superficial (00 – 20 cm) de uma lavoura comercial da região, com histórico de produção de soja e milho.

**Tabela 1.** Atributos químicos básicos e teor de argila do solo utilizado no ensaio.

pH	M.O	P <sub>mel</sub>	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V%	m	Argila
CaCl <sub>2</sub>	----	mg dm <sup>-3</sup>	-----		-----	cmolc dm <sup>-3</sup>	-----		-----	-----	%	-----
5,4	39,8	6,9	6,9	0,90	3,68	2,47	0,0	5,12	12,2	58,0	0,7	44,3

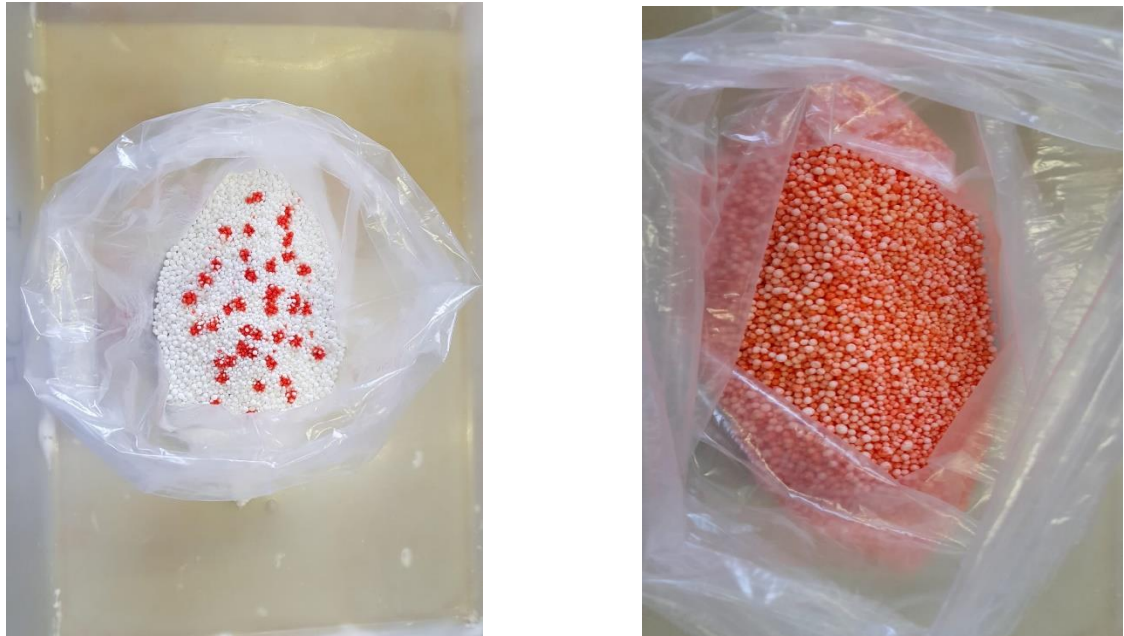
#### Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao caso, com 5 tratamentos e 4 repetições, num total de 20 unidades experimentais. Um tratamento controle adicional, sem ureia e com 4 repetições, foi conduzido a fim de ser utilizado como branco. Cada unidade experimental foi constituída por uma bandeja plástica preenchida com 9 L de solo descoberto.

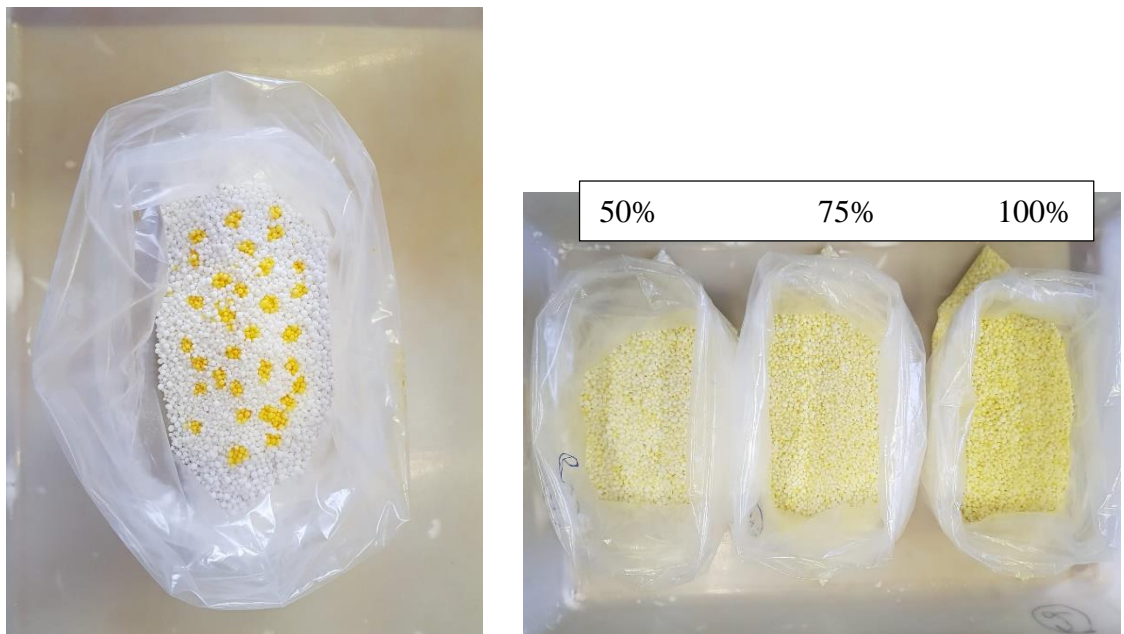
Os tratamentos, preparados manualmente e por ocasião da instalação do ensaio (Figura 1 e 2), foram compostos por ureia branca (comum) e tratada com diferentes compostos inibidores de uréase:

- 1 – Ureia branca (comum)
- 2 – Ureia + 600 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia
- 3 – Ureia + 600 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia e 200 mg NPPT kg<sup>-1</sup>
- 4 – Ureia + 450 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia e 150 mg NPPT kg<sup>-1</sup> ureia
- 5 – Ureia + 300 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia e 100 mg NPPT kg<sup>-1</sup> ureia

Para o tratamento 2 utilizou um produto comercial contendo unicamente NBPT, e para os tratamentos 3, 4 e 5 utilizou-se um produto contendo NBPT e NPPT em sua composição, de modo que o padrão para cálculo da dose a ser utilizada foi o NBPT. A fim de facilitar a discussão dos resultados, considerou-se os tratamentos 3, 4 e 5, respectivamente, como 100, 75, e 50% da dose de NBPT do tratamento 2.



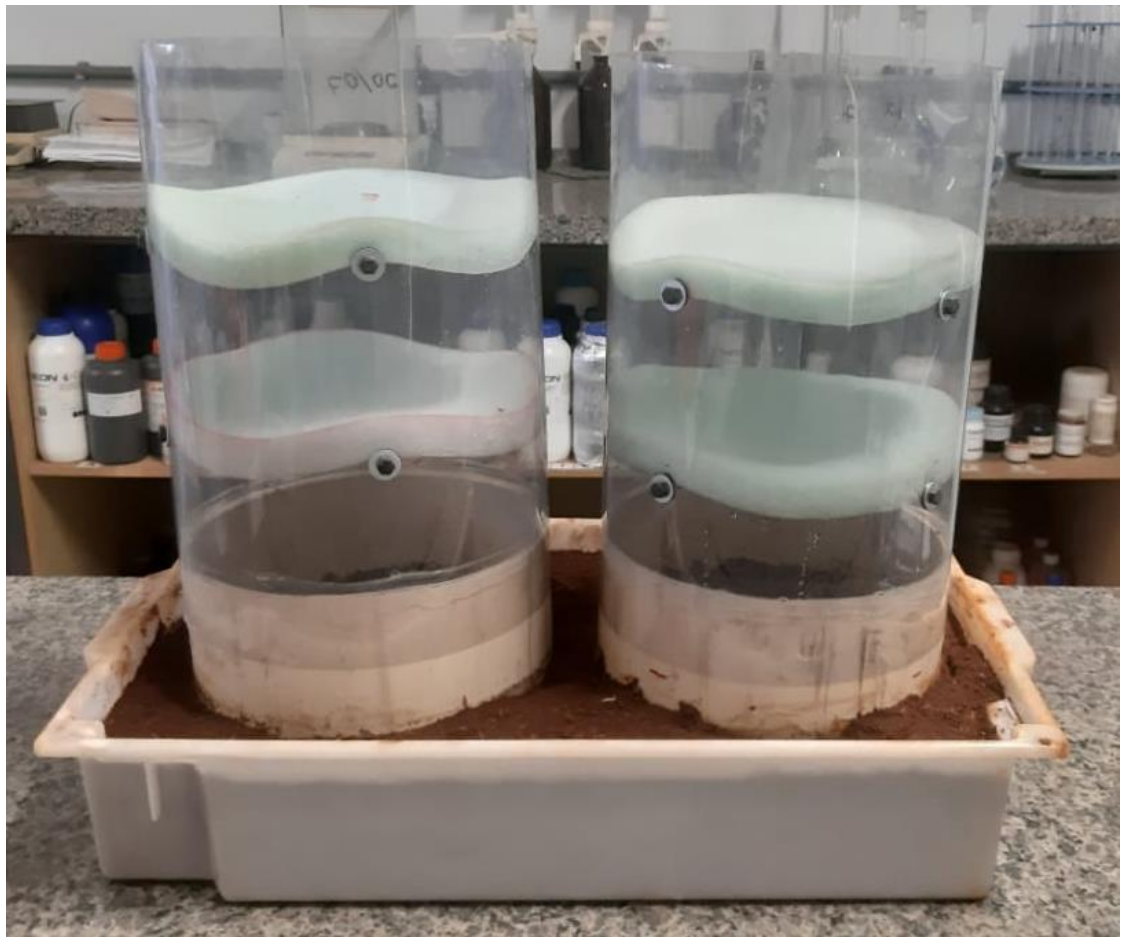
**Figura 1.** Aplicação do tratamento: Ureia + 600 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia



**Figura 2.** Aplicação do tratamento: Ureia + NBPT kg<sup>-1</sup> + NPPT kg<sup>-1</sup> em suas diferentes doses.

### Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado em bandejas plásticas com capacidade de 9 L que foram preenchidas com o solo seco. O solo foi então umedecido a equivalente de ~70% de sua capacidade de retenção de água (determinada previamente em amostra deformada) – condição essa que buscou-se manter durante toda a condução do ensaio via monitoramento e reposição da água. A avaliação da volatilização de  $\text{NH}_3$  a partir dos tratamentos foi feita utilizando-se câmaras semiabertas (Figura 3), tal modelo descrito por NÔNMIK (1973), que foram posicionadas (enterradas a ~3 cm no solo) em cada uma das bandejas antes da aplicação da ureia. Após instalação das câmaras e irrigação do solo, a ureia foi distribuída uniformemente sobre o solo descoberto, em função dos tratamentos e em dose padrão equivalente a  $135 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , de modo que cada câmara recebeu 0,943 g de ureia.



**Figura 3.** Câmaras sendo testadas previamente à instalação do ensaio.

O sistema foi composto por uma base de tubo de PVC mais uma folha de acetato



ajustada no formato de tubo, num total de 35 cm de altura e diâmetro de 20 cm, sem qualquer cobertura ou tampa na parte superior. A base do tubo foi inserida no solo, e internamente ao tubo foram posicionados (aos 10 e 20 cm, sobre suportes parafusados) dois discos de espuma de poliuretano (com densidade de 0.23 g cm, 2 cm de espessura e área de 314 cm<sup>2</sup>) embebidas em 45 ml de uma solução 0,5 N ácido fosfórico + glicerina (5% v/v). O disco posicionado na parte superior da câmara funciona como uma armadilha para potenciais contaminações com NH<sub>3</sub> presente no ar, já o disco posicionado aos 10 cm tem por função capturar o NH<sub>3</sub> volatilizado a partir da área sob a câmara.

A volatilização de NH<sub>3</sub> foi avaliada por um período de 28 dias, com quantificações (trocas de armadilhas) menos espaçadas nos primeiros dias e mais espaçadas no período final de avaliação. Isso foi feito em função do pico de emissão de NH<sub>3</sub> acontecer justamente nos primeiros dias, à medida que a hidrólise da ureia acontece. A frequência de amostragem foi a seguinte: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 24 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos.



**Figura 4.** Visão geral do ensaio instalado.

Em cada uma das avaliações, ambos os discos (inferior e superior) foram substituídos por novos, igualmente embebidos em solução com ácido+glicerina. O disco inferior substituído foi colocado em um saco plástico e armazenado em refrigerador, para posterior quantificação da  $\text{NH}_3$  capturada. O processo de quantificação se inicia pela extração/lavagem de cada espuma por consecutivas vezes em 400 ml de uma solução 0,0005 N de ácido sulfúrico. A concentração de  $\text{NH}_3$  nas alíquotas extraídas foi determinada em duplicata por destilação (destilador tipo Kjeldahl) seguida de titulação.



**Figura 5.** Destilação e titulação.

Os dados coletados foram suficientes para determinar a taxa de volatilização de  $\text{NH}_3$  dentro de cada período de amostragem e a perda total/acumulada de N na forma de  $\text{NH}_3$ .

### **Análise estatística dos dados**

Os dados foram submetidos a testes de normalidade, seguidos de análise de variância, e, quando detectado efeito significativo dos tratamentos pelo teste F, as médias (dentro de cada período de avaliação) foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferença significativa entre os tratamentos (pelo teste F) quanto à taxa de volatilização de  $\text{NH}_3$  até os 17 dias após a aplicação da ureia (DAA), conforme detalhado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Taxa de volatilização de N na forma de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ) a partir da aplicação de ureia (comum e tratada com inibidores de urease) sobre solo descoberto e úmido.

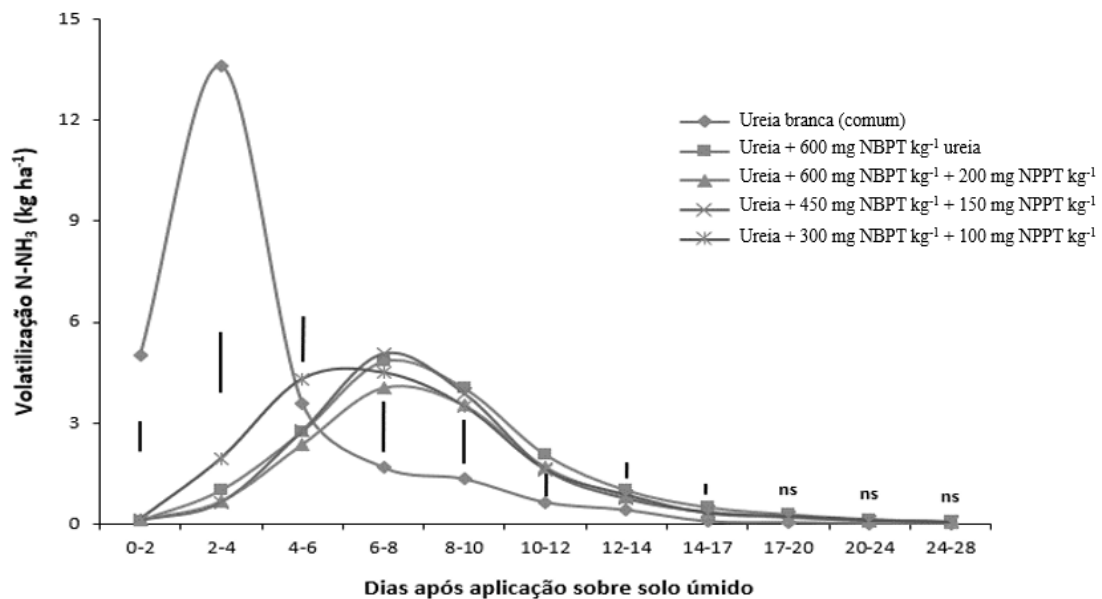
Tratamento	0-2 DAA	2-4 DAA	4-6 DAA	6-8 DAA	8-10 DAA	10-12 DAA	12-14..	14-17..	17-20..	20-24..	24-28..
-----N-NH <sub>3</sub> , kg ha <sup>-1</sup> -----											
Ureia branca	4,996 b	13,604 b	3,598 bc	1,676 a	1,331 a	0,637 a	0,411 a	0,074 a	0,040	0,016	0,017
Ureia + NBPT (600 mg kg <sup>-1</sup> ureia)	0,102 a	1,005 a	2,739 ab	4,825 b	4,033 b	2,062 b	0,999 b	0,497 b	0,283	0,137	0,065
Ureia + NBBT+NPPT (600 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,111 a	0,669 a	2,363 a	4,058 b	3,536 b	1,688 b	0,812 b	0,330 b	0,186	0,088	0,053
Ureia + NBBT+NPPT (450 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,109 a	0,647 a	2,764 ab	5,065 b	3,885 b	1,630 b	0,751 b	0,359 b	0,223	0,089	0,063
Ureia + NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,131 a	1,946 a	4,311 c	4,506 b	3,505 b	1,612 b	0,849 b	0,301 b	0,205	0,097	0,040

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* DAA: Dias após a aplicação da ureia

Ao se analisar a evolução das taxas de volatilização (Figura 5), fica evidente a maior e mais rápida perda de  $\text{N-NH}_3$  quando do uso da ureia comum, sem qualquer tratamento. O pico de perda de  $\text{NH}_3$  nesse tratamento ocorreu entre 2 e 4 DAA, chegando a taxas de 6,8 kg  $\text{N ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

Esse resultado se deve à rápida reação de hidrólise da ureia sem qualquer proteção, o que resulta em aumento do pH na região de dissolução do grânulo e consequente favorecimento à formação de amônia ( $\text{NH}_3$ ) em detrimento ao amônio ( $\text{NH}_4$ ), com consequente perda de  $\text{N-NH}_3$  para a atmosfera. A magnitude dessa perda é dependente de vários fatores, mas no caso do ensaio, 4 dias foram responsáveis por 70% de toda a perda do tratamento, o equivalente a 13,8% de todo N aplicado via fertilizante.



**Figura 5.** Evolução ao longo do tempo da taxa de volatilização de nitrogênio (N) na forma de amônia (N-NH<sub>3</sub>) a partir da aplicação de ureia (comum e tratada com inibidores de urease) sobre solo descoberto e úmido.

\* Barras verticais representam o valor de DMS (diferença mínima significativa); \*\* ns – efeito dos tratamentos não significativo.

No período de 4 a 6 DAA, a perda de NH<sub>3</sub> no tratamento com ureia branca reduziu, mas ainda continuou alta, na mesma magnitude do tratamento com NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia). NBPT (600 mg kg<sup>-1</sup> ureia), NBBT+NPPT (450 NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) e principalmente NBBT+NPPT (600 NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) apresentaram as menores perdas no período.

A partir do 6º DAA, e até o 17º DAA, no entanto, as coisas se inverteram, e a volatilização de NH<sub>3</sub> passou a ser mais alta nos tratamentos com inibidores de urease, resultado esperado, haja vista que os inibidores têm justamente por finalidade retardar a ação da urease e consequente hidrólise da ureia.

Ao se analisar a evolução das taxas de volatilização, é interessante observar o período de ocorrência dos picos de emissão, que no tratamento com NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) se iniciou no 4º DAA e se estendeu até o 8º DAA (Figura 5). Nos tratamentos com NBPT (600 mg kg<sup>-1</sup> ureia), NBBT+NPPT (450 NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) e NBBT+NPPT (600 NBPT kg<sup>-1</sup> ureia), esse pico ficou restrito ao período de 6 a 8 DAA. Esse atraso na ocorrência do pico de máxima emissão de NH<sub>3</sub> é característica desejável, haja vista que numa condição de campo, por exemplo, a ocorrência de chuvas nesse período de 2 dias poderia significar

menores perdas nos tratamentos capazes de retardar a emissão, sendo esse “seguro” uma das principais justificativas para o uso de ureia revestida com inibidores de uréase.

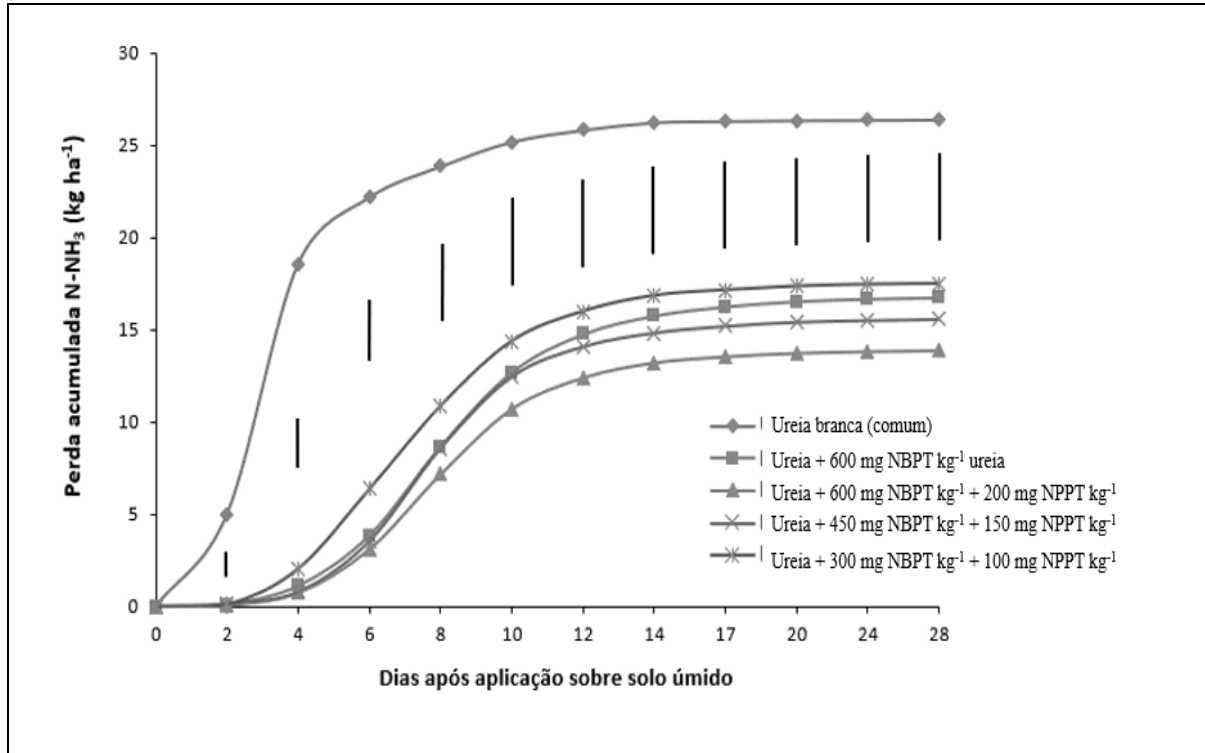
De qualquer modo, é importante mencionar de que à exceção do período de 4 a 6 DAA, as taxas de perda de  $\text{NH}_3$  pelo tratamento com NBBT+NPPT (300 mg NBPT  $\text{kg}^{-1}$  ureia) se mantiveram igual à dos demais tratamentos inibidores até o 17º DAA. A partir do 17º DAA não foi observado qualquer diferença entre os tratamentos, muito provavelmente pelo fato da reação de hidrólise ter ocorrido por completa, bem como por não haver mais qualquer efeito dos inibidores de uréase.

Quanto à perda acumulada de  $\text{N-NH}_3$ , observou-se diferenças entre os tratamentos em todos os períodos de avaliação (dados apresentados na tabela 3). A perda a partir do tratamento com ureia comum, conforme já esperado, se manteve maior durante todo o período de condução do ensaio (Figura 6), somando 26,4 kg N  $\text{ha}^{-1}$  ao final de 28 dias, o equivalente a 19,6% do N aplicado via fertilizante.

A magnitude da perda de  $\text{N-NH}_3$  quando da aplicação de ureia é variável em função de diversos fatores, mas não pode em hipótese alguma ser negligenciada, e o uso de inibidores de urease é uma das principais ferramentas para tal, como observado no ensaio.

A perda acumulada total de  $\text{N-NH}_3$  foi 34 a 47% menor quando do uso dos inibidores de urease. E isso quando consideramos o período completo de 28 dias. Se recortarmos janelas menores de tempo, o que para condições de campo pode fazer mais sentido, essa diferença é ainda mais notável.

Se considerarmos uma situação similar à do ensaio, mas com a ocorrência de uma chuva aos 6 DAA – o que naturalmente contribuiria para a mitigação da emissão de  $\text{NH}_3$  para a atmosfera –, a redução da perda acumulada quando do uso dos inibidores de urease seria de 71 a 86%, em comparação à ureia comum. Por fim, é importante ressaltar que as perdas acumuladas de  $\text{N-NH}_3$  a partir dos tratamentos NBPT (600 mg  $\text{kg}^{-1}$  ureia), NBBT+NPPT (600, 450 e 300 mg NBPT  $\text{kg}^{-1}$  ureia) se mostraram estatisticamente semelhantes durante todo o período de avaliação. É importante ressaltar que doses de NBPT acima de 1000 mg  $\text{kg}^{-1}$  ureia não apresentam relação custo-benefício eficiente, haja vista que não resultam em ganho de produtividade – o NBPT em altas doses pode inclusive ser absorvido pelas raízes das plantas e prejudicar o metabolismo interno – além de onerar os custos para os agricultores (CANTARELLA et al., 2018).



**Figura 6.** Evolução ao longo do tempo da perda acumulada de N na forma de amônia (N-NH<sub>3</sub>) a partir da aplicação de ureia (comum e tratada com inibidores de urease) sobre solo descoberto e úmido.

\* Barras verticais representam o valor de DMS (diferença mínima significativa)

**Tabela 3.** Perda acumulada de nitrogênio (N) na forma de amônia (N-NH<sub>3</sub>) volatilizada a partir da aplicação de ureia (comum e tratada com inibidores de urease) sobre solo descoberto e úmido. 'Continua'

Tratamento	2 DAA	4 DAA	6 DAA	8 DAA	10 DAA	12 DAA
----- N-NH <sub>3</sub> , kg ha <sup>-1</sup> -----						
Ureia comum	4,996 b	18,600 b	22,198 c	23,874 b	25,206 b	25,843 b
Ureia + NBPT (600 mg kg <sup>-1</sup> ureia)	0,102 a	1,107 a	3,846 ab	8,671 a	12,704a	14,765 a
Ureia + NBBT+NPPT (600 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,111 a	0,780 a	3,142 a	7,200 a	10,736a	12,424 a
Ureia + NBBT+NPPT (450 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,109 a	0,756 a	3,521 ab	8,586 a	12,471 a	14,101 a
Ureia + NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	0,131 a	2,077 a	6,388 b	10,894 a	14,399 a	16,011 a

**Tabela 3.** ‘Continuação’

Tratamento	14 DAA	17 DAA	20 DAA	24 DAA	28 DAA
-----N-NH <sub>3</sub> , kg ha <sup>-1</sup> -----					
Ureia comum	26,253 b	26,328 b	26,368 b	26,384 b	26,402 b
Ureia + NBPT (600 mg kg <sup>-1</sup> ureia)	15,764 a	16,261 a	16,545 a	16,682 a	16,747 a
Ureia + NBBT+NPPT (600 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	13,236 a	13,566 a	13,753 a	13,841 a	13,894 a
Ureia + NBBT+NPPT (450 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	14,851 a	15,210 a	15,433 a	15,523 a	15,586 a
Ureia + NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg <sup>-1</sup> ureia)	16,860 a	17,161 a	17,366 a	17,463 a	17,502 a

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* DAA: Dias após a aplicação da ureia.

## 5 CONCLUSÕES

A perda de N-NH<sub>3</sub> a partir da ureia comum aplicada sobre solo descoberto e úmido pode chegar a 19,6% do total do N aportado via fertilizante, e 70% dessa perda acontece nos primeiros 4 dias da aplicação. Em comparação à ureia comum, os tratamentos com NBPT (600 mg kg<sup>-1</sup> ureia) e três doses de NBBT+NPPT (600, 450 e 300 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) são igualmente eficientes em reduzir as perdas acumuladas de NH<sub>3</sub>.

Dentre os inibidores, um aspecto que merece destaque é a antecipação do pico de emissão do NBBT+NPPT (300 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia), que ocorre a partir de 4º dia da aplicação da ureia, ou seja, NBBT+NPPT (600, 450 mg NBPT kg<sup>-1</sup> ureia) e NBPT (600 mg kg<sup>-1</sup> ureia) parecem ser mais eficientes em retardar a ação da urease, mesmo que isso não tenha significado redução da perda total de NH<sub>3</sub>.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABALOS, D., JEFFERY, S., SANZ-COBENA A., GUARDIA G., VALLEJO A. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agr Ecosyst Environ.** 2014.

Anuário Estatístico [do] Setor de Fertilizantes 2016. Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA, São Paulo: tab. 6.1 e 6.3. 2016.

BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J. **Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification.** CRC Press, 2003.

BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 2, p. 376-381, 1985.

CANTARELLA, H., OTTO, R., SOARES, J. R., & DE BRITO SILVA, A. G. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. **Journal of advanced research**, v. 13, p. 19-27, 2018.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agrônomicas**, v. 122, p. 12-14, 2008.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. **Simpósio sobre informações recentes para otimização da produção agrícola**, v. 1, 2007.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, a H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in agronomy**, v. 102, p. 267-322, 2009.

CONGREVES, K. A., DUTTA, B., GRANT, B. B., SMITH, W. N., DESJARDINS, R. L., & WAGNER-RIDDLE, C. How does climate variability influence nitrogen loss in temperate agroecosystems under contrasting management system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 227, 33-41. 2016.

DAMIN, V., SOLER-SILVA, M. A., FLORES, R. A., & CUNHA, P. P. Manejo do nitrogênio na região de Cerrado. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**, p. 225-251, 2016.

ENGEL, R. E., TOWEY, B. D., GRAVENS, E. Degradation of the urease inhibitor NBPT as affected by soil pH. **Soil Sci Soc Am J**, v. 79 p. 1674-83. 2015.

FAGERIA, N. K. **Nitrogen management in crop production.** CRC press, 2014.  
FERM, M. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and

critical loads: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 1, p. 5-17, 1998.

GUARESCHI, R. F., BODDEY, R. M., ALVES, B. J. R., SARKIS, L. F., MARTINS, M. D. R., JANTALIA, C. P., ... & URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 2, p. 105-119, 2019.

HOLCOMB, J. C., SULLIVAN, D. M., HORNECK, D.A., CLOUGH, G.H. Effect of irrigation rate on ammonia volatilization. **Soil Sci Soc Am J**, v.75 p. 2341-7, 2011.

HUANG M, ZHOU X, CAO F, XIA B, ZOU Y. No-tillage effect on rice yield in China: a meta-analysis. **Field Crop Res**, v. 183:126-37. 2015.

KISS, STEFAN; SIMIHAIAN, M. **Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity**. Springer Science & Business Media, 2002.

MALAVOLTA, E., HAAG, H. P., MELLO, F. D., & BRASIL SOBRINHO, M. D. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974.

MARTHA JÚNIOR, G. B., CORSI, M., TRIVELIN, P. C. O., VILELA, L., PINTO, T. L. F., TEIXEIRA, G. M., ... & BARIONI, L. G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 2240-2247, 2004.

MEGDA, M. M., BUZETTI, S., ANDREOTTI, M., TEIXEIRA FILHO, M. M. C., & VIEIRA, M. X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1055-1060, 2009.

MEGDA, M. M., BUZETTI, S., ANDREOTTI, M., TEIXEIRA FILHO, M. M. C., & VIEIRA, M. X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1055-1060, 2009.

MELLONI, R., MOREIRA, F. M. D. S., NÓBREGA, R. S. A., & SIQUEIRA, J. O. D. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 235-246, 2006.

MOTA, M. G. **Manejo da fertilização nitrogenada no processo germinativo do feijoeiro superprecoce cultivar BRS FC104**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG). TCC Agronomia. Uberlândia. 2021.

NAZ, M. Y., & SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, v. 225, p. 109-120,

2016.

Nutrient use efficiency in agriculture. **Paris: Fertilizer Industry Association.**

2010.

OLANREWAJU, O. S., GLICK, B. R., & BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33 n.11 p. 197, 2017.

PAN, B., LAM, S.K., MOSIER, A., LUO, Y., CHEN, D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. **Agr Ecosyst Environ**, v. 232 p 283-9, 2016.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Academic Press, 2007. p. 341-364.

ROCHETTE, P., ANGERS, D. A., CHANTIGNY, M. H., GASSER, M. O., MACDONALD, J. D., PELSTER, D. E., & BERTRAND, N. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea. **Journal of environmental quality**, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, 2013.

ROSOLEM, C. A., RITZ, K., CANTARELLA, H., GALDOS, M. V., HAWKESFORD, M. J., WHALLEY, W. R., & MOONEY, S. J. Enhanced plant rooting and crop system management for improved N use efficiency. **Advances in agronomy**, v. 146, p. 205-239, 2017.

SAN FRANCISCO, S., URRUTIA, O., MARTIN, V., PERISTEROPOULOS, A., & GARCIA-MINA, J. M. Efficiency of urease and nitrification inhibitors in reducing ammonia volatilization from diverse nitrogen fertilizers applied to different soil types and wheat straw mulching. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 9, p. 1569-1575, 2011.

SANTOS, K. M. **Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia em pastagem de capim-marandu**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado – Produção Animal Sustentável) – Instituto de Zootecnia – Nova Odessa.

SILVA, A.G.B., SEQUEIRA, C.H., SERMARINI, R.A., OTTO, R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. **Agron J**, v. 109 p.1-13, 2017.

SMITH, COLLIN; HILL, ALFRED K.; TORRENTE-MURCIANO, LAURA. Current and future role of Haber–Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape. **Energy & Environmental Science**, v. 13, n. 2, p. 331-344, 2020.

SORDI, A., BERNARDI, G., MARODIN, L. G., & DAI Prai. CRESCIMENTO DO MILHO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE NITROGÊNIO. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste**, v. 5, p. e25128-e25128, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. São Paulo, 2017.

TANAN, T. T. **Absorção, assimilação e transporte de nitrogênio em plantas de *Physalis angulata* L.** 2019. 131 f. Tese (Doutorado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019.

TERMAN, GL. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in agronomy**, v. 31, p. 189-223, 1979.

TRENKEL, M.E. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing WANG, X., WANG, S., XUE, T., LI, B., DAI, X., & PENG, Y. Treating low carbon/nitrogen (C/N) wastewater in simultaneous nitrification-endogenous denitrification and phosphorous removal (SNDPR) systems by strengthening anaerobic intracellular carbon storage. **Water Research**, v. 77, p. 191-200, 2015.

YUAN, S.; TAN, Z.; HUANG, Q. Migration and transformation mechanism of nitrogen in the biomass–biochar–plant transport process. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 85, p. 1-13, 2018.

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>-N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, n.5, p.693-705, 2008.