



**PAULIANA CRISTINA ZITO**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES  
NITROGENADOS CONVENCIONAL E ESTABILIZADOS  
APLICADOS EM DIFERENTES ÉPOCAS NO CAFEIEIRO**

**LAVRAS - MG  
2019**

**PAULIANA CRISTINA ZITO**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS  
CONVENCIONAL E ESTABILIZADOS APLICADOS EM DIFERENTES ÉPOCAS  
NO CAFEIEIRO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

MSc. Tainah Freitas  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2019**

**PAULIANA CRISTINA ZITO**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS  
CONVENCIONAL E ESTABILIZADOS APLICADOS EM DIFERENTES ÉPOCAS  
DO CAFEIEIRO**

***AMMONIA VOLATILIZATION OF CONVENTIONAL AND STABILIZED NITROGEN  
FERTILIZERS APPLIED AT DIFFERENT TIMES IN COFFE CROP***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

MSc. Tainah Freitas

UFLA

MSc. Estevam Antônio Chagas Reis

UFLA

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

MSc. Tainah Freitas  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2019**

A Deus, depois aos meu pais José Alexandre Zito e Isabel Roberta Luiz Zito, aos meus irmãos William e Pâmela que sempre me auxiliaram em todos os sentidos e aos amigos me incentivaram a não desistir. A todos os jovens estudiosos do meio rural que almejam alcançar seus sonhos por meio dos estudos, mesmo com todas as limitações.

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e instrutor e por me iluminar a cada passo;

À minha família, em especial minha linda Mãe Isabel e meus maravilhosos irmãos William e Pâmela que souberam me ajudar em todos os momentos de dificuldades e nas alegrias também, durante toda a graduação;

À Universidade Federal de Lavras que me permitiu adquirir os conhecimentos para futuramente ser uma grande profissional de qualidade, para sempre minha casa amada;

Ao Departamento de Agricultura, ao Setor de Cafeicultura (INOVACAFÉ) e ao Departamento de Ciência do Solo da UFLA (DCS), permitir a realização de todo este trabalho;

Ao PIBIC/UFLA por me permitir bolsas ao longo de toda graduação, concretizando este trabalho;

Ao NEMEC pelos anos de aprendizado e amizades construídas;

Ao adorado professor e orientador Dr. Rubens José Guimarães pela confiança e conselhos de incentivo e por sempre acreditar na minha capacidade de um dia ser a profissional que desejar;

Aproveito e agradeço também à mais bela coorientadora, a linda Tainah Freitas por todo tempo dedicado a me ensinar e instruir, agradeço também por todas as palavras a mim direcionadas com intuito de crescimento. Hoje digo que ela é mais que uma colega de trabalho, mas sim uma grande amiga, minha família;

À Anny, Fernanda, ao Ricardo, ao Laconi, Ademilson e à Cris, por toda ajuda nas etapas de avaliação deste trabalho e pela amizade que firmamos juntos;

Ao adorado laboratorista do Departamento de Ciência de Solo, Adalberto, por todo apoio e auxílio nas análises, por nos fazer sorrir durante a realização de cada atividade e por hoje ser um grande amigo e ao Rafael por toda ajuda e amizade;

À grande amiga Camila Sena, por estar comigo desde a vinda de OP até a chegada à UFLA;

Aos amigos do DEPRESSOMOS que firmamos laços durante a graduação, uma amizade que durará a vida toda, meu muito obrigada por serem quem são;

As amigas do meu Ap que conviveram comigo todos os dias e que sabem mais do que ninguém como sou na essência, a Bárbara, Isa, Jéssica, Karen e Kelly;

A todos que me ajudaram a crescer e que viram meu esforço para realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

*Pode se encontrar a felicidade mesmo nas  
horas mais sombrias, se a pessoa se  
lembrar de acender a luz.*

Harry Potter

## RESUMO

A adubação nitrogenada causa impacto econômico e ambiental direto no manejo da fertilidade do solo das lavouras cafeeiras. A aplicação de ureia sobre a superfície dos solos pode resultar em perdas substanciais de nitrogênio por volatilização, lixiviação e desnitrificação, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente sejam baixos. Diante disso, os fertilizantes estabilizados surgem como alternativa para minimizar as perdas deste nutriente e melhor disponibilizá-lo às plantas e ao mesmo tempo reduzindo os impactos ambientais. Objetivou-se avaliar a volatilização de amônia após aplicação de três fertilizantes nitrogenados “ureia convencional”, “ureia + NBPT” e “ureia + Cu + B” em três épocas de adubação na cultura do cafeeiro. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completamente casualizados em esquema fatorial 3 x 3 com três repetições. As adubações nitrogenadas foram realizadas com o fornecimento de N em 3 adubações em intervalos de aproximadamente 60 dias (100 kg de N por hectare por adubação), de novembro de 2015 a março de 2016. Avaliou-se a volatilização de amônia após cada parcelamento da adubação. Os fertilizantes estabilizados (Ureia + NBPT e Ureia + Cu + B) foram capazes de minimizar as perdas de N quando comparados à Ureia convencional. A Ureia + Cu + B foi o fertilizante mais eficiente com redução de 7,07% dos 300 kg de N aplicado.

**Palavras-chave:** Adubação nitrogenada. Ureia. Café.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do coletor de amônia. ....	23
---	----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental (0-20 cm) antes da aplicação dos tratamentos no ano de 2015.....	21
Tabela 2 - Perdas acumuladas de nitrogênio por volatilização de amônia para os fertilizantes após cada adubação e após todas as adubações.....	25

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Volume de precipitação durante cada época de adubação .....	23
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Características da área experimental.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Condução do experimento.....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café com geração de cerca de 8 milhões de empregos diretos e indiretos. Para manutenção das altas produtividades, os produtores precisam investir em adubação, pois às lavouras cafeeiras estão implantadas em solos pobres em fertilidade natural devido a essa característica dos solos brasileiros (SILVA et al., 2003).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro, com um consumo médio de 6,2 kg de N para cada saca de 60 kg de café beneficiado produzido (MATIELO et., 2010), sendo a principal fonte utilizada pelos cafeicultores a ureia, que é o fertilizante nitrogenado mais consumido no mundo (GUELFY, 2017). Esse fertilizante possui alta concentração e baixo custo por unidade de N, porém suas grandes perdas por volatilização, fazem com que seja prejudicada a relação custo/benefício.

Diante das perdas de N, novas tecnologias têm sido desenvolvidas para aumentar e melhorar a eficiência do uso do nitrogênio na agricultura, como fertilizantes nitrogenados de baixa solubilidade e estabilizados com inibidores capazes de minimizar as perdas de N para o ambiente. Eles são classificados como “Fertilizantes de Eficiência Aumentada” (HALL, 2005).

A utilização de fertilizantes estabilizados surge como alternativa para a otimização de fertilizantes na cultura do cafeeiro, pois apresentam menores perdas, devido ao atraso no pico de volatilização da ureia (GUELFY, 2017), os tornando mais eficientes.

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles em que é adicionado algum aditivo capaz de inibir a transformação do nitrogênio em alguma forma não desejável (TRENKEL, 2010). Os principais objetivos deste fertilizante são: diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e melhor disponibilizá-los, às necessidades das plantas, aumentando sua eficiência (SHAVIN, 2005; TRENKEL, 2010).

Desse modo, melhorando a eficiência do uso de N pelas plantas, pode-se minimizar impactos ambientais causados pela adubação nitrogenada convencional, reduzindo a lixiviação do nitrato para as camadas mais profundas do solo, evitando que este atinja o lençol freático e contamine a água, e diminuindo a emissão de gases causadores do efeito estufa para a atmosfera, como dióxido de carbono e óxido nitroso. Assim, pode-se ter um uso mais racional dos fertilizantes nitrogenados, com maior eficiência das adubações, aumentando a produtividade e reduzindo os custos (FREITAS, 2017).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a volatilização de amônia após aplicação de três fertilizantes nitrogenados em três épocas de adubação na cultura do cafeeiro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil é considerado o maior produtor e exportador mundial de café (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION-ICO, 2019), com estimativa de produção da safra 2019 em 48,99 milhões de sacas beneficiadas, sendo 34,47 milhões de sacas de café arábica (*Coffea arabica* L.) e 14,52 milhões de café robusta (*Coffea canephora* Pierre) (CONAB, 2019).

O consumo de nitrogênio na cafeicultura brasileira, teve um aumento de 261.979 toneladas (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010) para um valor médio anual de 359.332 toneladas no período de 2009 a 2012, representando um aumento de 37,16% no consumo (CUNHA et al., 2014).

A planta do café é uma das culturas mais exigentes em nitrogênio (MALAVOLTA, 1993; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVARES, 1999) e a recomendação deste nutriente pode variar de 50 a 450 kg ha<sup>-1</sup> para cafeeiros em produção, de acordo com a produtividade esperada da lavoura (GUERREIRO FILHO et al., 2014; GUIMARÃES et al., 1999).

Nas lavouras que apresentam o sistema de sequeiro, recomenda-se adubações durante o período chuvoso, de setembro a março, correspondendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RENA; MAESTRI, 1987), sendo que, para cada saca de 60 kg de café produzida há um consumo médio de 6,2 kg, valor este que pode variar em função de fatores edafoclimáticos de cultivo (MATIELLO et al. 2010).

A adubação nitrogenada realizada de forma adequada promove o rápido crescimento da planta com folhas novas verdes e brilhantes, estimula a formação e o desenvolvimento das gemas responsáveis pela formação de flores e frutos, além de fazer parte da composição estrutural de aminoácidos, proteínas, enzimas, vitaminas, pigmentos, entre outros produtos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O N é constituinte de muitos componentes da célula vegetal, como aminoácidos e ácidos nucleicos, portanto sua deficiência inibe o crescimento vegetal, provocando clorose nas folhas mais velhas, que, posteriormente, podem entrar em senescência (TAIZ; ZAIGER, 2004).

O N no cafeeiro é imobilizado em ritmo diferente na floração e nas fases do chumbinho, de granação e de maturação (MALAVOLTA, 1986). Sendo assim, é importante que a adubação nitrogenada seja parcelada, visando fornecer o nutriente de maneira suficiente durante todo período vegetativo e de frutificação.

O fornecimento de nitrogênio para as plantas é feito essencialmente pela matéria orgânica do solo (MO) e por fertilizantes nitrogenados. O maior estoque de N no solo é a

matéria orgânica, que normalmente representa 95% do nitrogênio total; entretanto, ele não é diretamente aproveitado pelas plantas na forma orgânica, devendo ser mineralizado para produzir  $\text{NH}_4^+$  (amônio), o qual pode ser posteriormente nitrificado, gerando  $\text{NO}_3^-$  (nitrato), ambos íons disponíveis para as plantas (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Além disso, as condições de clima e solo são capazes de afetar o processo de mineralização e não consegue suprir toda quantidade de N requerida pela planta em cultivos comerciais (MALAVOLTA, 1986).

No 7º Congresso Brasileiro de Fertilizantes realizado em 2017 na cidade de São Paulo, a diretora geral da *International Fertilizer Association* (IFA), Charlotte Hebeebbrand, proferiu a palestra *The Development of the Fertilizer Industry in the last 50 Years*, informando com base nos dados do IFA que haverá um aumento no consumo de ureia no Brasil saindo de 3,5 milhões de toneladas em 2011 para 8 milhões de toneladas até 2021 (HEBEEBRAND, 2017; GOMES, 2017).

Esse fertilizante possui alta concentração e baixo custo por unidade de N, fatores esses que reduzem custos, principalmente com o frete. No entanto, a aplicação da ureia sobre a superfície do solo resulta em perdas de nitrogênio por volatilização, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente sejam baixos (CABEZAS; SOUZA, 2008; ROCHETTE et al., 2013; ROS; AITA; GIACOMINI, 2005; TASCA et al., 2011). Normalmente mais de 50% do N aplicado não é absorvido pela cultura (BORTOLOTTI, 2011; BUSTAMANTE; OCHOA; RODRIGUEZ, 1997; PEDROSA, 2013).

As perdas de nitrogênio podem ocorrer por lixiviação ( $\text{NO}_3^-$ ), desnitrificação ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ ) e volatilização ( $\text{NH}_3$ ).

Os fertilizantes nitrogenados mais comuns presentes no mercado possuem nitrogênio solúvel nas formas amídica (ureia), amoniacal ou nítrica. Já o N disponível na MO deve ser mineralizado para produzir  $\text{NH}_4^+$ , que em condições aeróbias específicas sofre um processo de nitrificação por um grupo de bactérias, formando  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) e, posteriormente,  $\text{NO}_3^-$ , sendo esta reação afetada por atividade microbiana, temperatura, pH, umidade, entre outros fatores (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

O  $\text{NO}_3^-$ , por conter carga negativa, é pouco retido no solo, se sujeitando a perdas por lixiviação. A lixiviação compreende em média 10 a 30% das perdas do nitrogênio adicionado ao solo (MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008).

A adsorção de nitrato no solo é apenas eletrostática, dependendo exclusivamente do balanço de cargas do solo, podendo ser adsorvidos somente por superfícies carregadas positivamente (POZZA et al., 2009). Em solos de regiões tropicais úmidas, com menores teores

de matéria orgânica e estágio de intemperismo-lixiviação mais avançado que em solos de regiões temperadas, a presença de cargas positivas tende a ser maior, portanto a lixiviação de nitrato é dificultada, embora não totalmente impedida (ARAÚJO et al., 2004; POZZA et al., 2009)

O processo de desnitrificação ocorre em condições de anaerobiose (solos inundados ou com acúmulo de água), ou seja, na ausência de  $O_2$ . Nessa situação, o  $NO_3^-$  funciona como receptor de elétrons na respiração de micro-organismos do solo, podendo ser convertido pelo processo de desnitrificação a formas voláteis:  $N_2$ , principalmente, ou  $N_2O$  (óxido nitroso), que se perdem na atmosfera (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). As perdas por esse processo quantificam 5 a 25% do N adicionado ao solo (MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008).

O  $NO_3^-$  disponibilizado pela MO e os fertilizantes de fontes nítricas, como o nitrato de amônio, estão sujeitos a esses dois tipos de perda. Já o  $NH_4^+$  oriundo da MO e as fontes amídicas (ureia) e amoniacais (como o sulfato de amônio e nitrato de amônio) estão sujeitos a perda por volatilização de amônia, como será explicado a seguir. Em café, alguns trabalhos relatam perdas de 11,44, podendo chegar até 31,20% (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA, 2012). Em um de seus trabalhos aplicados ao café conilon (*Coffea canephora*), (RODRIGUES et al., 2012) destacou maiores perdas por volatilização causados pela ureia quando aplicada à superfície do solo.

Na agricultura as perdas de  $NH_3$  por volatilização ocorrem devido a diversos fatores, sendo os principais: pH do solo, capacidade de troca catiônica (CTC), cobertura do solo, atividade da urease (enzima responsável pela hidrólise da molécula de ureia), temperatura ambiente, umidade do solo no momento da adubação, volume de chuvas após adubação, matéria orgânica do solo (CORSI, 1994; NÔMMIK, 1973; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985).

O pH altera o equilíbrio de  $NH_4^+$  e  $NH_3$  na solução do solo, sendo que seu aumento eleva a concentração relativa de amônia e seu potencial de volatilização (TRIVELIN; CABEZAS; BOARETTO, 1994). Sendo assim, adubos contendo nitrogênio amoniacal não devem ser aplicados em superfície de solos com pH em torno ou acima de 7, uma vez que ele se transformará em  $NH_3$  na presença de hidroxilas, estando sujeita a perdas por volatilização.

As condições climáticas, a temperatura e a precipitação pluviométrica (quantidade e momento em que ocorrem após a aplicação do fertilizante) são consideradas as principais variáveis que atuam sobre as perdas de  $NH_3$  (LIGTHNER; MENGEL; RHYKERD, 1990). Aumento nas temperaturas acelera o processo de hidrólise da ureia, necessitando valores

menores de pH, para formação de  $\text{NH}_3$  durante as reações (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2010; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985).

Já as chuvas, proporcionam o movimento do adubo para camadas mais profundas do solo, reduzindo a volatilização de amônia. Se chover pouco, pode ocorrer hidrólise e dissolução do adubo, sem que ele desça no perfil do solo por não haver água suficiente para isso, favorecendo as perdas de amônia (FRENEY et al., 1991).

Se o solo estiver úmido no momento da aplicação e não ocorrerem precipitações subsequentes, as perdas por volatilização podem ser intensificadas. Precipitações ocorridas somente antes da adubação nitrogenada podem favorecer maiores perdas de amônia, uma vez que a palhada em superfície fica úmida no momento da aplicação e não há posterior incorporação do adubo (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003). A ureia aplicada em solo úmido, solo saturado ou sobre lâmina de água sofre perdas maiores do que a ureia aplicada em solo seco (DUARTE et al., 2007).

Visando aumentar a eficiência do uso de nitrogênio na agricultura, novas tecnologias têm sido desenvolvidas, como os fertilizantes aditivados (estabilizados) com inibidores capazes de minimizar as perdas de N. Esses fertilizantes são classificados, juntamente aos fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada, como “Fertilizantes de Eficiência Aumentada” (HALL, 2005). Os principais objetivos destes fertilizantes são diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e melhor disponibilizá-los, de forma ajustada, às necessidades das plantas (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Segundo a Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO, 1997), fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles em que é adicionado algum aditivo capaz de inibir a transformação do nitrogênio em alguma forma não desejável. Estes aditivos, também chamados de estabilizantes, são substâncias que aumentam o tempo em que o nitrogênio permanece em uma determinada espécie, seja ela ureia ou amônio (TRENKEL, 2010). O mesmo autor divide os fertilizantes estabilizados em duas classes: inibidores da nitrificação (substância que inibe a oxidação biológica do nitrogênio de amônio a nitrato) e inibidores da urease (substância que inibe a atividade da enzima urease, retardando o processo de hidrólise da ureia, em condições adversas de clima, reduzindo a volatilização de amônia).

O desenvolvimento de fertilizantes nitrogenados com estes aditivos é demorado e caro, pois eles apresentam características especiais (TRENKEL, 2010).

Os inibidores da nitrificação bloqueiam a ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas* na oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , visando manter o N na forma amoniacal por mais tempo e, assim, reduzir perdas por desnitrificação e por lixiviação de nitrato (CANTARELLA; MONTEZANO,

2010). Alguns exemplos de inibidores da nitrificação são: nitrapirina, dicianodiamida (DCD) e fosfato de 3,4-dimetilpirazol (DMPP) (FRYE, 2005; RUSER; SCHULZ, 2015; SUBBARAO et al., 2006).

O uso de fertilizantes nitrogenados estabilizados contendo inibidores da urease tem aumentado nos últimos anos, uma vez que a ureia é o fertilizante nitrogenado sólido mais importante no mercado mundial e há chance de ocorrer grandes perdas de  $\text{NH}_3$  quando este fertilizante é aplicado na superfície dos solos (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

Upadhyay (2012) ao fazer uma revisão sobre inibidores da urease classificou-os amplamente em duas categorias: Estruturas análogas de substrato (hidroxiureia e ácido hidroxâmico); e Inibidores que afetam o mecanismo de reação da urease (fosfodiamidatos). Já por estrutura química, a autora os dividiu em quatro grupos principais. O primeiro grupo é formado por compostos tiólicos, uma vez que os ânions tiolato reagem diretamente com o metalocentro da urease. O segundo grupo é de ácido hidroxâmico e seus derivados, que competem com a ureia pela ligação com o sítio ativo da urease. O terceiro inclui os fosfodiamidatos (organofosforados), que são os inibidores mais eficazes capazes de bloquear o local ativo da enzima (WATSON, 2005). O quarto grupo é composto por moléculas que reagem com o átomo de níquel. Elas exibem atividade inibidora moderada, inativam o sítio ativo da urease e adicionam moléculas que reagem com o níquel presente na urease, inativando-a (KRAJEWSKA; ZABORSKA; CHUDY, 2004).

A triamida N- (n-butil) tiofosfórica (NBPT), o fenilfosfodiamidato (PPD / PPDA) e a hidroquinona são provavelmente os inibidores da urease mais estudados (KISS; SIMIHAIAN, 2002). O NBPT tem se mostrado o mais eficiente inibidor da urease (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009). Quando em contato com o solo, o NBPT decompõe rapidamente a NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida), tornando-se, assim, capaz de inativar a urease pela substituição das moléculas da água próximas ao seu sítio ativo, ligando-se aos átomos de níquel (KRAJEWSKA, 2009).

O NBPT pode inibir a hidrólise da ureia por períodos de 7 a 14 dias dependendo dos atributos do solo, tais como pH, umidade inicial, temperatura e outras condições ambientais (DAWAR et al., 2011; HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993; SANZ-COBENA et al., 2008). Porém, quando as condições são adequadas para a rápida hidrólise da ureia (alta umidade e temperatura), a duração da atividade do NBPT é menor (DAWAR et al., 2011). Tasca et al. (2011) verificaram que esse período foi de dois dias apenas em condições laboratoriais, o que poderia inviabilizar sua utilização como protetivo.

Em lavoura comercial de café em condição de sequeiro, a ureia com NBPT pode minimizar 70-85% das perdas de N por volatilização de amônia quando comparada a ureia convencional (DOMINGHETTI et al., 2016; SOUZA, 2012). O uso de ureia com NBPT em mudas de cafeeiros conduzidas em vasos permite maior aproveitamento do N, com ganho de 18% na produção de matéria seca das plantas e de 32% no N absorvido por elas (GARCIA et al., 2011).

Em cana-de-açúcar, Cantarella et al. (2008) registraram reduções de perda de 50% de amônia pelo uso de NBPT quando comparados à ureia convencional. Entretanto, a ureia com NBPT não aumentou o rendimento de colmos. Portanto, não se pode afirmar que a diminuição das perdas será convertida em produção, pois os efeitos proporcionados pelo uso do NBPT variam em função de fatores diversos (DAWAR et al., 2011; SANZ-COBENA et al., 2008).

Ainda dentre os fertilizantes estabilizados, há aqueles revestidos por cobre e boro. Segundo a patente brasileira PI 0700921-6 A (HERINGER, 2008), relacionada ao processo de produção da ureia recoberta com Cu e B, o fertilizante a que se refere consiste em grânulos de ureia revestidos uniformemente com ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e sulfato de cobre ( $CuSO_4.5H_2O$ ), capaz de reduzir a perda de nitrogênio volatilizado da ureia na forma de amônia ( $NH_3$ ), devido sua ação inibitória da urease. O revestimento da ureia por Cu e B pode diminuir aproximadamente 50% das perdas por volatilização de amônia, quando comparadas à ureia convencional (DOMINGHETTI et al., 2016).

O ácido bórico, devido sua conformação semelhante à da ureia, atua como inibidor competitivo da urease pelo mesmo sitio ativo do substrato (ureia) (BENINI et al., 2004). Já o sulfato de cobre atua reduzindo a atividade da urease no solo, uma vez que o Cu afeta a afinidade entre a urease e a ureia. O Cu afeta levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia); ou seja, ele não altera a configuração da urease no solo (LIJUN; YANG; YANGYE, 2009). Portanto, a diminuição da atividade da urease no solo pode ser ocasionada pela dissociação dos compostos ureia-urease (DALAL, 1985), indicando que o mecanismo de reação entre o Cu e a urease do solo é caracterizado por ser uma inibição competitiva não reversível. A inibição ocasionada pelo Cu parece ocorrer também por causa da competição desse com o níquel, que é o componente ativador da enzima urease (MORAES; ABREU JÚNIOR; LAVRES JÚNIOR, 2010).

Assim busca-se formas de uso de fertilizantes nitrogenados com menores perdas de N para o ambiente e de liberação gradual desse nutriente com possibilidade de redução do parcelamento das adubações na cultura, minimizando os custos de produção e facilitando o manejo de lavouras situadas em regiões montanhosas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características da área experimental

O experimento foi realizado em área situada no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, Minas Gerais, no período de agosto de 2015 a julho de 2016.

A área experimental está situada em latitude 21° 14' 06'' Sul e longitude de 45° 00' 00'' Oeste, a altitude de 910 metros. O clima da região é classificado como Cwa, mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno (SÁ JUNIOR et al., 2012).

Considerando-se o período de 01/01/2015 a 31/12/2016 para o município de Lavras, a temperatura média foi de 21,2 °C, variando de 12,2 °C em junho de 2016 a 28,3 °C em outubro de 2015; e a precipitação média anual foi de 1.243,3 mm (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET, 2019).

A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 144 da espécie *Coffea arabica* L. Realizou-se o plantio em janeiro de 2010, com espaçamento de 3,7 m entre linhas por 0,7 m entre plantas. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 3 com três repetições. As parcelas foram compostas por 12 plantas, sendo as 8 plantas centrais consideradas úteis para as avaliações. As parcelas foram distribuídas nas linhas de plantio dos blocos, sendo os tratamentos distribuídos nestas conforme sorteio, saltando-se sempre uma linha de plantio, que tinha função de bordadura.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1997) de textura argilosa, cujas principais características físicas e químicas da camada de 0 a 20 cm antes do início dos tratamentos podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental (0-20 cm) antes da aplicação dos tratamentos no ano de 2015.

Característica	Unidade	Valores
pH	-	4,28
P	mg dm <sup>-3</sup>	2,20
K	mg dm <sup>-3</sup>	105,80
Ca	mg dm <sup>-3</sup>	1,78
Mg	mg dm <sup>-3</sup>	0,31
S	mg dm <sup>-3</sup>	45,04
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	2,28
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,35
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	3,08
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	65,84
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	7,94
Al	mg dm <sup>-3</sup>	0,74
H+Al	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	9,00
CTC efetiva (t)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	3,10
CTC potencial (T)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	11,36
Saturação por alumínio (m)	%	24,84
Saturação por bases (V)	%	21,60
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	2,37
P-Remanescente	mg L <sup>-1</sup>	17,97
Areia	%	18
Silte	%	24
Argila	%	58

Fonte: Freitas (2017).

Nota: pH = água (1:2); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu = Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al = Extrator KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); S = Extrator fosfato monocálcico em ácido acético; H + Al = Extrator SMP; Matéria orgânica: oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N; B = Extrator água quente.

### 3.2 Condução do experimento

A lavoura passou por três recomendações diferentes de adubação desde que foi implantada. Desde sua implantação até agosto de 2013 os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999). De agosto de 2013 a agosto de 2015 para a adubação nitrogenada foram aplicados nas parcelas a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>. E, a partir de então, a adubação do experimento foi realizada na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>.

Para adubação com micronutrientes, tanto no período de formação quanto na condução do experimento, foi utilizado produto comercial com as seguintes garantias: 6,0% de zinco, 3,0% de boro, 2,0% de manganês, 10,0% de cobre, 10,0% de enxofre, 1,0% de magnésio e 10,0% de K<sub>2</sub>O, aplicado via foliar (300 L ha<sup>-1</sup> de calda) em três aplicações ao ano em intervalos de 45 dias entre novembro e fevereiro, com 5,0 kg do produto por aplicação.

Realizou-se o monitoramento de pragas e doenças, e quando atingiam os níveis de controle, este era realizado com produto químico registrado para a cultura. Durante a condução

do experimento, foram constatados maiores índices de ferrugem, cercosporiose e bicho-mineiro, que foram controlados quando necessário com uso de produtos comerciais.

O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando de herbicida à base de glyphosate ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ), alternado com capina mecânica com uso de roçadora e capina manual nas linhas de plantio.

Foi realizada a calagem na área sessenta dias antes do início das adubações com os fertilizantes nitrogenados nas parcelas de cada tratamento, segundo recomendações de Guimarães et al. (1999), com total de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  nos dois anos do experimento.

Foi feito o monitoramento das precipitações diárias durante a condução do experimento por estação climatológica automática instalada nas adjacências da área experimental.

Os tratamentos resultaram do esquema fatorial  $3 \times 3$ , sendo três épocas de adubação, realizadas em 06 de novembro de 2015, 11 de janeiro de 2016 e 10 de março de 2016, e três fertilizantes nitrogenados comerciais com diferentes tecnologias utilizados na cafeicultura atualmente, com algumas de suas características descritas a seguir:

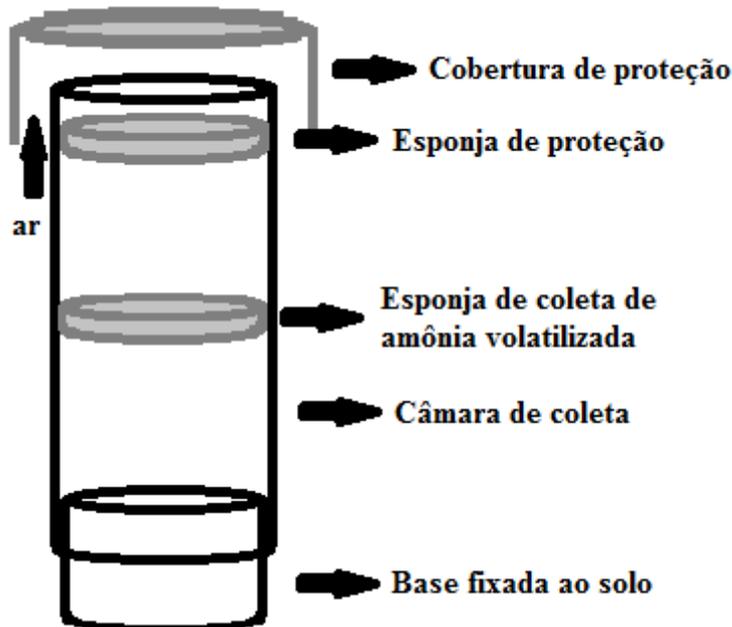
- a) Ureia convencional: fertilizante convencional com 45% de N;
- b) Ureia + Cu + B: fertilizante estabilizado que contém 44% de N; 0,15% de Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e 0,4% de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (HERINGER, 2008). Os grânulos de ureia foram recobertos por partículas de Cu e B com menos de 0,015 mm de diâmetro por meio de processo industrial;
- c) Ureia + NBPT: fertilizante estabilizado com 44% de N. O tratamento consiste em ureia tratada com  $530 \text{ mg kg}^{-1}$  de NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), um inibidor da urease.

Para o suprimento de P e K, utilizou-se as dosagens de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , conforme recomendação de Guimarães et al. (1999). A adubação fosfatada foi realizada em única aplicação, na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , utilizando-se superfosfato simples (20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), junto a primeira adubação de nitrogênio. Para o fornecimento de K, fez-se o parcelamento das aplicações, sendo três adubações de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , com uso da fonte cloreto de potássio (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), nas mesmas datas das adubações nitrogenadas.

Para quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ), foram instalados coletores de amônia semiabertos, adaptados de Nõmmik (1973), inseridos nas linhas de adubação. Para fabricação dos coletores, utilizou-se tubos de cor branca de cloreto de polivinila (PVC), com 50 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Estes foram inseridos sobre bases fixas no solo produzidas com o mesmo material. Os coletores foram protegidos no topo com

cobertura de plástico e arame, de modo a deixar um espaço entre a proteção e o coletor, permitindo a passagem de ar (Figura 1).

Figura 1 - Esquema do coletor de amônia.



Fonte: Freitas, (2017)

Fixou-se três bases em cada parcela, sendo que os fertilizantes foram aplicados dentro de cada uma destas, nas quantidades equivalentes a área aplicada. Para isso, os fertilizantes foram pesados em balança de precisão no dia anterior a cada adubação. Os coletores foram trocados de base a cada avaliação, com objetivo de permitir que as bases pudessem sofrer as mesmas influências de temperatura, precipitação e umidade do ar.

Foram colocadas duas esponjas ( $0,02 \text{ g cm}^{-3}$  de densidade e 2 cm de espessura) no interior dos coletores, cortadas no mesmo diâmetro das câmaras. A esponja superior teve como função proteger a esponja inferior de possíveis contaminações causadas por impurezas ou insetos. A esponja inferior foi embebida em uma solução de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;  $60 \text{ ml L}^{-1}$ ) e glicerina ( $50 \text{ ml L}^{-1}$ ), para captura da amônia volatilizada e posicionada dentro do coletor a 30 cm do solo, enquanto a superior foi colocada a 40 cm do solo.

Foram feitas 12 coletas de esponjas após cada adubação. Estas coletas ocorreram com mais intensidade nos primeiros dias após à aplicação dos fertilizantes, sendo realizadas diariamente até o 5º dia após a adubação nitrogenada. Posteriormente, as coletas se estenderam conforme o comportamento das perdas de amônia, influenciadas pelas condições climáticas, ocorrendo em dias alternados até acabarem as volatilizações de amônia dos fertilizantes.

Todas as coletas foram feitas em horários fixos (08 horas da manhã).

Em laboratório, extraiu-se a amônia volatilizada contida nas esponjas com auxílio de funil de Buchner e bomba de vácuo, após cinco lavagens sequenciais com água destilada em uma quantidade de 80 ml em cada lavagem, totalizando 400 ml por esponja. Após a extração, retirou-se uma alíquota de 50 ml de cada solução, que foram armazenadas em refrigerador a 5°C e, posteriormente, destiladas e tituladas pelo método Kjeldahl (1883) para quantificação da amônia volatilizada.

Para cada coleta avaliada, foram utilizadas três esponjas como teste em branco para correção de possíveis contaminações entre as amostras. Nelas continha apenas a solução preparada com ácido fosfórico e glicerina, sem contato com amônia dos tratamentos para servir de padrão de pureza. Os valores, após processamento das amostras, obtidos nesses padrões foram descontados dos valores obtidos, nas esponjas de captura de amônia, por se tratar então de contaminação.

A quantidade de N perdida por hectare após cada coleta de cada tratamento foi obtida com base em cálculos tendo em posse os resultados das titulações. Calcularam-se, também, as perdas acumuladas de N de cada fertilizante após todas as adubações e completa liberação destes.

Os dados de cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e, ocorrendo diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, os dados foram submetidos ao teste de médias de Scott-Knott para comparação entre os valores. Todas as análises foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2011).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferença significativa entre os fertilizantes e também na interação entre os tratamentos. As perdas de nitrogênio de cada fertilizante (Ureia convencional, Ureia + Cu + B e Ureia + NBPT), após cada época de adubação (novembro/15, janeiro/16 e março/16) e as perdas acumuladas em  $\text{kg ha}^{-1}$  e também em porcentagem se encontra na (Tabela 2).

Tabela 2 – Perdas acumuladas de nitrogênio por volatilização de amônia para os fertilizantes após cada adubação e após todas as adubações.

Fertilizante	Perdas por adubação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>			Perdas acumuladas ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Perdas acumuladas (%) <sup>(2)</sup>
	Épocas de adubação				
	Nov./15	Jan./16	Mar./16		
Ureia convencional	24,24 Ab	13,99Ac	31,45Aa	69,68 <sup>a</sup>	23,23 <sup>a</sup>
Ureia + Cu + B	3,56 Cb	1,07 Cc	16,57Ca	21,20C	7,07 C
Ureia + NBPT	9,89 Bb	6,38 Bc	22,64Ba	38,91B	12,97B
Média	12,56b	7,15c	23,55a		

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. (1) Utilizou-se a dose de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, dividida em três adubações de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  cada. (2) Porcentagem do total aplicado:  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Comparando as perdas de N entre as fontes utilizadas, nota-se que a Ureia convencional apresentou maiores valores em todas as épocas de adubação ( $24,24 \text{ kg ha}^{-1}$  em novembro/15,  $13,99 \text{ kg ha}^{-1}$  em janeiro/16 e  $31,45 \text{ kg ha}^{-1}$  em março/16), seguida da Ureia + NBPT ( $9,89 \text{ kg ha}^{-1}$  em novembro/15,  $6,38 \text{ kg ha}^{-1}$  em janeiro/16 e  $22,64 \text{ kg ha}^{-1}$  em março/16) e da fonte Ureia + Cu + B ( $3,56 \text{ kg ha}^{-1}$  em novembro/15,  $1,07 \text{ kg ha}^{-1}$  em janeiro/16 e  $16,57 \text{ kg ha}^{-1}$  em março/16), que apresentou as menores perdas de N (TABELA 2).

Avaliando-se o caso da Ureia convencional, que apresentou as maiores perdas de N, percebe-se que na terceira época de adubação (março/16) ocorreram os maiores valores ( $31,45 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguidos dos valores das perdas na primeira época (novembro/15) ( $24,24 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e finalmente dos valores da segunda época que corresponde a adubação feita em janeiro/16 ( $13,99 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Quando se avalia as perdas ocorridas com a fonte Ureia + NBPT, percebe-se a mesma tendência, ou seja, na terceira época de adubação (março/16) ocorreram os maiores valores ( $22,64 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguidos dos valores das perdas na primeira época (novembro/15) ( $9,89 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e finalmente dos valores da segunda época que corresponde a adubação feita em janeiro/16 ( $6,38 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Ao se avaliar a fonte Ureia + Cu + B, que apresentou as menores perdas entre as fontes testadas, notou-se a mesma tendência de perdas de N em cada época, ou seja, na terceira época de adubação (março/16) ocorreu o maior valor (16,57 kg ha<sup>-1</sup>), seguido do valor das perdas na primeira época (novembro/15) (3,56 kg ha<sup>-1</sup>) e finalmente pelos valores da segunda época que corresponde a adubação feita em (janeiro/16) (1,07 kg ha<sup>-1</sup>).

Quando se avalia as perdas acumuladas em cada fonte de N utilizada, percebe-se que no caso da Ureia convencional as perdas alcançaram o valor de 69,68 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 23,23% dos 300 kg de nitrogênio aplicados. No caso da fonte Ureia + NBPT as perdas atingiram o valor de 38,91 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 12,97% dos 300 kg de nitrogênio aplicados. Já quando se analisa a fonte Ureia + Cu + B, que proporcionou menores perdas de N, as perdas alcançaram o valor de 21,20 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 7,07% dos 300 kg de nitrogênio aplicados (TABELA 2).

Em café, alguns trabalhos relatam perdas por volatilização de amônia pelo fertilizante Ureia convencional, que variam de 11,44 até 31,20% (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA, 2012). Vários fatores podem influenciar a volatilização, como pH do solo, CTC, cobertura do solo, atividade da urease, temperatura ambiente, umidade do solo no momento da adubação, volume de chuvas após adubação, matéria orgânica do solo (CORSI, 1994; NÔMMIK, 1973; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985), sendo que alguns desses fatores podem ter interagido favorecendo as perdas.

A Ureia + NBPT reduziu 44,16% das perdas em relação à Ureia convencional, indicando que o tratamento da ureia com NBPT auxiliou na diminuição das perdas por volatilização de amônia, porém não foi capaz de impedir totalmente a volatilização. Em condições ideais, o NBPT pode inibir a hidrólise da ureia por períodos de 7 a 14 dias dependendo dos atributos do solo, como pH, umidade inicial, temperatura, entre outros (DAWAR et al., 2011; HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993; SANZ-COBENA et al., 2008). No entanto, se as condições favorecerem a rápida hidrólise da ureia, como alta umidade e temperatura, a atividade do NBPT pode ter sua duração reduzida, tornando-se ineficaz para proteger a ureia da atividade da urease (DAWAR et al., 2011; ROBERTS, 2014; WHITEHURST; WHITEHURST, 2014).

Com relação à Ureia + Cu + B, verificou-se que esses aditivos foram capazes de reduzir 69,58% das perdas por volatilização deste tratamento quando comparado à Ureia convencional. Devido sua estrutura ser semelhante à da ureia, o ácido bórico atua fazendo com que o B iniba a enzima urease de forma competitiva, ou seja, compete com a urease pelo mesmo sítio ativo do substrato (ureia) (BENINI et al., 2004). A inibição ocasionada pelo Cu pode ocorrer também por causa da competição desse com o níquel, que é o componente que ativa a enzima urease

(MORAES; ABREU JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010). Já o sulfato de cobre atua minimizando a atividade da urease no solo, uma vez que o Cu afeta levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia), sem alterar a configuração da urease no solo (LIJUN; YANG; YANGYE, 2009).

A atividade da urease pode ser desviada para o ácido bórico e conseqüentemente diminuir as perdas por volatilização (FARIA et al., 2014). Estudos identificaram que o efeito da adição de cobre e boro à ureia tem reduzido as perdas de amônia quando comparado com ureia convencional em milho, cana-de-açúcar, em condições laboratoriais e em ambiente controlado (FARIA et al., 2014; JIANG et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2013; STAFANATO et al., 2013; WHITEHURST; WHITEHURST, 2014). Em café Conilon (*Coffea canephora*), (RODRIGUES, et al.2016) identificou redução da perda de volatilização de amônia quando utilizado a ureia revestida com Cu e B comparada a ureia convencional.

Independente da fonte de N utilizada, as perdas foram maiores na terceira época de adubação, que ocorreu em março de 2016 (média de 23,55 kg ha<sup>-1</sup>), seguido das perdas ocorridas em novembro de 2015 (média de 12,56 kg ha<sup>-1</sup>) e das de janeiro de 2016 (média de 7,15 kg ha<sup>-1</sup>)

Na primeira adubação nitrogenada, as perdas acumuladas de amônia seguiram a seguinte ordem decrescente: Ureia convencional (24,24 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + NBPT (9,89 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + Cu + B (3,56 kg ha<sup>-1</sup>) (TABELA 2).

Para a segunda adubação, a ordem foi a mesma: Ureia convencional (13,99 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + NBPT (6,38 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + Cu + B (1,07 kg ha<sup>-1</sup>) (TABELA 2).

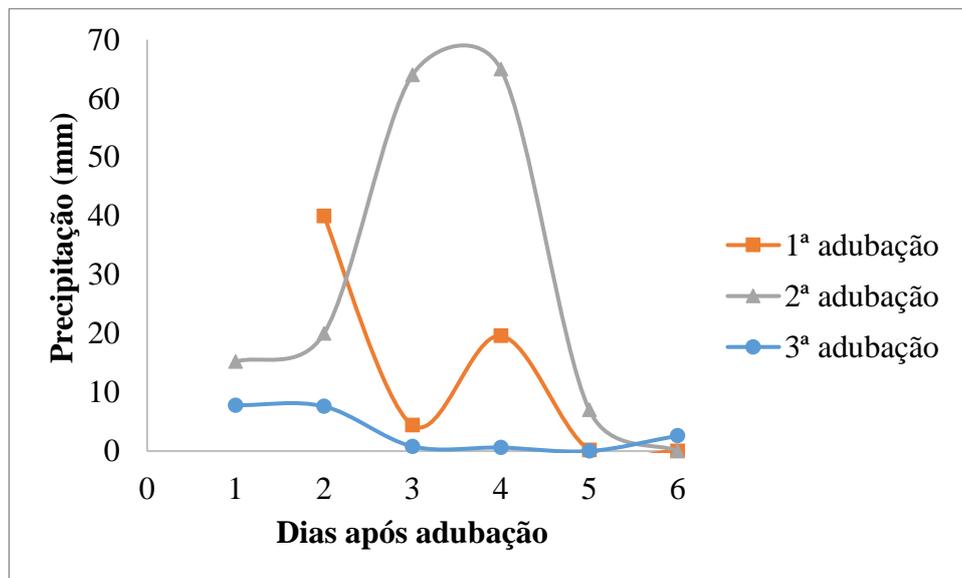
Com relação a terceira adubação, as perdas acumuladas por volatilização de amônia dos fertilizantes apresentaram a sequência: Ureia convencional (31,45 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + NBPT (22,64 kg ha<sup>-1</sup>) > Ureia + Cu + B (22,64 kg ha<sup>-1</sup>) (TABELA 2).

Quando chove em quantidade suficiente que permita a incorporação da ureia junto ao solo, a volatilização pode ser reduzida (CANTARELLA et al., 2008; PRASERTSAK et al., 2001), pois a amônia no interior do solo encontra barreiras físicas e químicas para atingir a superfície e ser perdida (COSTA et al., 2008). No entanto, ela só é eficaz para reduzir as perdas se ocorrer em um período curto após a aplicação da ureia (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987; KISSEL et al., 2004). Porém, se a precipitação aumentar o índice de água no solo e não for suficiente para incorporação da ureia, haverá maiores perdas por volatilização, uma vez que aumentará a taxa de hidrólise (KISSEL et al., 2004; PRASERTSAK et al., 2001).

As precipitações dos seis primeiros dias após cada adubação se encontram no Gráfico 1. Na primeira adubação, a precipitação totalizou 346,2 mm, sendo 5,0; 40,0; 4,4; 19,6; 0,2 e 0

mm nos seis primeiros dias após a adubação, totalizando 69,2 mm nesse período. Com relação a segunda adubação a precipitação total foi de 288,8 mm e os seis primeiros dias 15,2; 20,0; 64,0; 65,0; 7,0 e 0 mm, totalizando 171,2 mm. Já na terceira adubação nitrogenada, as precipitações totalizaram 69,2 mm, sendo que nos seis primeiros dias após adubação os registros foram 7,8; 7,6; 0,8; 0,6; 0 e 2,6 mm diários, acumulando 19,4 mm nesse período.

Gráfico 1 - Volume de precipitação após cada época de adubação



Na terceira época de adubação (março de 2016) as maiores perdas ocorreram em todos os três fertilizantes nitrogenados devido à baixa incidência de precipitação registrada durante esse período e ao fato dessas poucas precipitações serem de baixo volume. Isso implica em uma maior capacidade de volatilização da amônia no solo, pois a alta umidade intensifica o processo de hidrólise da ureia presente na superfície do solo não incorporada ao perfil do solo devido à baixa ocorrência de precipitação.

## **5 CONCLUSÃO**

Os fertilizantes estabilizados (Ureia + NBPT e Ureia + Cu + B) foram capazes de minimizar as perdas de N quando comparados à Ureia convencional. A Ureia + Cu + B foi o fertilizante mais eficiente, tendo volatilizado apenas 7,07% dos 300 kg de N aplicado, reduzindo quase 70% das perdas em relação à Ureia Convencional.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS - AAPFCO. **Official documents 57**. West Lafayette: AAPFCO, 1997.

ARAÚJO, A. R. et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, maio/jun. 2004.

ALVAREZ, V. V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: insights into the catalytic mechanism. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 126, n. 12, p. 3714-3715, Mar. 2004.

BLACK, A. S.; SHERLOCK, R. R.; SMITH, N. P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. **European Journal of Soil Science**, Chincester, v. 38, n. 4, p. 679-687, Dec. 1987.

BORTOLOTTO, R. P. **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano**. 2011. 105 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2011.

BUSTAMANTE, C.; OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M. I. Balance of three nitrogen <sup>15</sup>N fertilizers in a Cuban Oxisol cultivated with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Brussel, v. 15, n. 4, p. 169-172, Oct. 1997.

CABEZAS, W. A. R. L.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 2343-2353, nov./dez. 2008.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: AMMONIA**. Winnipeg: Canadian Environmental Quality Guidelines, 2010. 8 p.

CANTARELLA, H. A. et al. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes: volume 2**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 15-65.

CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, set./out. 2016.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, n. 1, p. 261-316, Apr. 2009.

CONAB. **Levantamentos de safra:** Terceiro levantamento: safra 2019/2019. Brasília: CONAB, 2019. 48 p. Disponível em: <file:///D:/9°%20periodo/tcc/CONAB%20setembro%202019.pdf >. Acesso em: 2 out. 2019.

CORSI, M. Ureia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Ureia fertilizante**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 239-267.

COSTA, A. C. S. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com uréia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, Oct. 2008.

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, n. 4, p. 631-637, ago. 2003.

CUNHA, J. F. et al. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira - 2009 a 2012. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 145, n. 1, p. 1-13, mar. 2014.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 130, n. 1, p. 1-11, jun. 2010.

DALAL, R. C. Distribution, salinity, kinetic and thermodynamic characteristics of urease activity in a Vertisol profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 23, n. 1, p. 49-60, Jan. 1985.

DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 139-146, Feb. 2011.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 173-183, mar./abr. 2016.

DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, maio/jun. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, maio/jun. 2014.

FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 38, n. 13/14, p. 1741-1751, July 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FREITAS, T. Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2017.

FRENEY, J. R. et al. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 31, n. 3, p. 341-349, July 1991.

FRYE, W. W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-8.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da ureia com inibidor de urease do crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-7, jan./abr. 2011.

GUELFY, D. Fertilizantes Nitrogenados Estabilizados, de Liberação Lenta ou Controlada. **Informações Agronômicas (BRASIL)**. N. 157, março, 2017.

GUERREIRO FILHO, O. et al. Café Arábica. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas: boletim 200**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 90-104.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.

GOMES, J. R. Brasil seguirá como grande importador de fertilizantes nos próximos anos, diz associação. **Thomson Reuters Corporate**, Campinas, 29 ago. 2017, Notícias de negócios. Disponível em: <<https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKCN1B920E-OBRBS>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-9. 1 CD-ROM.

HEBE BRAND, C. The Development of the Fertilizer Industry in the last 50 Years. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES, 7., 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ANDA, 2017. Disponível em: <<http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/TheDevelopmentoftheFertilizerIndustryinthelast50years.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

HENDRICKSON, L. L.; DOUGLASS, E. A. Metabolism of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 11, p. 1613-1618, Nov. 1993.

HERINGER, D. D. **Produto fertilizante a base de uréia e processo para fabricação do produto**. [S.l.: s.n.], 2008. 13 p. PI 0700921-6 A.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **BDMEP**: banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa: dados históricos. Lavras: INMET, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Estatísticas do comércio**: produção: total production by all exporting countries. London: ICO, 2017. 1 p. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

JIANG, Z. et al. Ammonia volatilization and availability of Cu, Zn induced by applications of urea with and without coating in soils. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 24, n. 1, p. 177-181, July 2012.

KISS, S.; SIMIHAIAN, M. **Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 417 p.

KISSEL, D. E. et al. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, n. 5, p. 1744-1750, Sept. 2004.

KJELDAHL, J. G. C. T. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, Berlin, v. 22, n. 1, p. 366-382, 1883.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. **Journal of Molecular Catalysis**, Amsterdam, v. 59, n. 1/3, p. 9-21, July 2009.

KRAJEWSKA, B.; ZABORSKA, W.; CHUDY, M. Multi-step analysis of Hg<sup>2+</sup> ion inhibition of jack bean urease. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 98, n. 6, p. 1160-1168, June 2004.

LIGHTNER, J. W.; MENGEL, D. B.; RHYKERD, C. L. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizer surface applied to orchardgrass sod. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 1478-1482, Sept./Oct. 1990.

LIJUN, F.; YANG, W.; YANGYE, W. Effects of copper pollution on the activity of soil invertase and urease in loquat orchards. **Chinese Journal of Geochemistry**, Beijing, v. 28, n. 1, p. 76-80, Mar. 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fósforo, 1997. 238 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas e máximas**. São Paulo: Agronômica CERES, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Varginha: MAPA, 2010. 546 p.

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F. J.; JENKINSON, D. S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, 2008. p. 205-562.

MORAES, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H.; LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: volume 2**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 207-278.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul./ago. 2013.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 39, n. 2, p. 309-318, Oct. 1973.

PEDROSA, A. W. **Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro**. 2013. 73 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2013.

POZZA, A. A. A. et al. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 99-105, jan. 2009.

PRASERTSAK, P. et al. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 59, n. 1, p. 65-73, Jan. 2001.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia do cafeeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. 359 p.

ROBERTS, J. R. **Stabilized N-Alkyl thiphosphoric triamide solvent systems for use in nitrogen fertilizer**. [S.l.: s.n.], 2014. 4 p. US Pat.2014/0060132 A1.

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.

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, n. 3, p. 403-408, jul./ago. 1992.

RODRIGUES, J. O; MONTE, J. A; OLIOSI, G; DIAS, M. A; PARTELLI, F. L; PIRES, F. R; ESPINDULA, M.C. Perdas por Volatilização de Diferentes Adubos Nitrogenados Aplicados no Cafeeiro Conilon. FertBio, [s. l.], 2012. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/950178/1/volatizacao.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2019.

ROS, C. O. da; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, jul./ago. 2005.

RUSER, R.; SCHULZ, R. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) release from agricultural soils: a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, n. 2, p. 171-188, Feb. 2015.

SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1, p. 1-7, Apr. 2012.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, ago. 2003.

SANZ-COBENA, A. et al. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 126, n. 3/4, p. 243-249, July 2008.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: IFA, 2005. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ItemDetail?iProductCode=7968Pdf&Category=AGRI&WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc-8152ed74f306>>. Acesso em: 02 out. 2019.

SILVA, et al. Evaluation of split fertilizer applications and irrigation starting time over coffee bean yield. **Ciênc. agrotec.** Lavras. v. 27 n.6: p.1354-1362, 2003.

SOUZA, J. A. **Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um Latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, maio/jun. 2013.

SUBBARAO, G. V. et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 25, n. 4, p. 303-335, July/Aug. 2006.

FREITAS, T. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, abr. 2011.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers.** 4th ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture.** 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

TRIVELIN, P. C. O.; CABEZAS, W. A. R. L.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos.** Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p. 314-330.

UPADHYAY, L. S. B. Urease inhibitors: a review. **Indian Journal of Biotechnology**, Raipur, v. 11, n. 4, p. 381-388, Oct. 2012.

WATSON, C. J. Urease inhibitors. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-20.

WHITEHURST, G. B.; WHITEHURST, B. H. **NBPT solution for preparing urease inhibited urea fertilizers prepared from N-ALKYL; N, N-ALKYL; AND N-ALKYL-N-ALKYLOXY amino alcohols.** [S.l.: s.n.], 2014. 21 p. US Pat. 2010/0037570 A1.