



ANDRÉ LEITE SILVA

**AMMONIA VOLATILIZATION AND COFFEE
PRODUCTIVITY AFFECTED BY NITROGEN FERTILIZERS
OF DIFFERENT TECHNOLOGIES**

LAVRAS – MG

2021

ANDRÉ LEITE SILVA

**AMMONIA VOLATILIZATION AND COFFEE PRODUCTIVITY AFFECTED BY
NITROGEN FERTILIZERS OF DIFFERENT TECHNOLOGIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Guilherme Lopes
Orientador

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme
Coorientador

LAVRAS – MG

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, André Leite.

Ammonia volatilization and coffee productivity affected by
nitrogen fertilizers of different technologies / André Leite Silva. -
2021.

75 p. : il.

Orientador(a): Guilherme Lopes.

Coorientador(a): Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Perdas de amônia. 2. Ureia. 3. Fertilizantes de eficiência
aumentada. I. Lopes, Guilherme. II. Guilherme, Luiz Roberto
Guimarães. III. Título.

ANDRÉ LEITE SILVA

**AMMONIA VOLATILIZATION AND COFFEE PRODUCTIVITY AFFECTED BY
NITROGEN FERTILIZERS OF DIFFERENT TECHNOLOGIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de dezembro de 2020.

Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza	UFLA
Dr. Fabrício William de Ávila	UNICENTRO
Dr. Leônidas Carrijo Azevedo Melo	UFLA
Dr. Paulo Ademar Avelar Ferreira	UFMS

Prof. Dr. Guilherme Lopes
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de realização deste curso de Doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro aos estudos.

Aos professores e colaboradores do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, que fazem dele um lugar de alta cobrança profissional e intelectual, porém sempre com uma conversa fraterna e disposição em ajudar, e assim criam um ambiente de excelência, por onde levarei minha profunda admiração.

À Comissão de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, formada pelos professores Adélia, Bruno, Carlos Alberto, Leônidas, Maria Lígia e Michele, que muito me auxiliaram e incentivaram no término do meu Doutorado, e de forma especial aos professores Guilherme Lopes e Luiz Roberto (Bebeto) pela dedicação.

A Dirce, secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por todo apoio e dedicação. Aos laboratoristas Lívia e Roberto pela disposição em ensinar e auxiliar nas análises laboratoriais necessárias para execução dos experimentos.

Aos amigos Taylor e Leandro pela parceria na condução dos experimentos, além dos estagiários de iniciação científica - Amanda, João Pedro e Nayara. Agradeço também aos professores Douglas e Faquin pela orientação na condução dos trabalhos.

Aos colegas que convivi durante esse período, onde compartilhamos companheirismo e bons momentos, em especial aos amigos Wantuir, Eduardo, André, Rúbio, Douglas e Bruna.

Aos meus pais e irmãos, que mesmo distantes, foram para mim coragem e força durante meu curso de Doutorado.

A minha esposa Ivy pelo empenho e incentivo, principalmente na conclusão do meu Doutorado, no qual muito me auxiliou, com toda sua paciência e sabedoria.

RESUMO GERAL

Este trabalho teve como objetivo investigar a volatilização de amônia ($N-NH_3$) e a produtividade do cafeeiro que recebeu diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, que são os de liberação lenta, liberação controlada e os estabilizados. Para isso, experimentos em condições de campo foram realizados em uma fazenda de café em Lavras - MG, Brasil, nas safras 2015/2016 e 2016/2017. Esta tese foi dividida em dois experimentos, sendo que o primeiro foi realizado na safra 2016/17, em delineamento de blocos ao acaso, com 36 parcelas experimentais, sendo 4 fertilizantes: Ureia Convencional, ureia de liberação controlada revestida com polímero (Ureia + Polímero), mistura de ureia convencional e ureia controlada (Blend), e ureia revestida com enxofre (Ureia + S) e 3 doses de nitrogênio - N (190, 380 e 570 kg ha⁻¹) com 3 repetições. A adubação da ureia convencional foi parcelada em três vezes, enquanto os demais tratamentos receberam toda a dose de N em uma única aplicação. Foram avaliados os seguintes parâmetros: volatilização diária e acumulada de $N-NH_3$ (apenas na maior e menor dose de N), teste de recuperação de N em campo, teor de N e S nas folhas e produtividade de grãos do cafeeiro. O Blend e os demais fertilizantes de liberação controlada apresentaram picos mais baixos de volatilização na avaliação diária em comparação à Ureia Convencional. Quanto à volatilização acumulada, os fertilizantes na dose de 570 kg ha⁻¹ apresentaram maiores perdas de $N-NH_3$, chegando a 45%, exceto na Ureia Convencional que apresentou praticamente a mesma perda percentual em ambas as doses, 30%. Não houve diferenças nos teores de N e S foliares e na produção de café nos tratamentos avaliados. No segundo experimento, safras 2015/2016 e 2016/2017, os tratamentos foram aplicados em dose única (1x), dois (2x) ou três parcelamentos (3x), são eles: Ureia (3x), Nitrato de Amônio (1x), Nitrato de Amônio (3x), Ureia com Matriz Orgânica (3x), Ureia com Poliuretano (2x), Blend "a" = 50% Ureia + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend "b" = 50% Nitrato de amônio + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend "c" = 50% Ureia NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend "d" = 50% Nitrato de Amônio + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m (1x) e o controle (sem aplicação de N). Foram avaliadas a volatilização diária e acumulada de $N-NH_3$, a eficiência agrônômica e a produtividade do cafeeiro. A utilização de Nitrato de Amônio promoveu as menores ($p < 0,05$) perdas de $N-NH_3$ por volatilização. Os tratamentos que utilizaram Ureia e Blend "a" como fertilizantes apresentaram maior volatilização acumulada nas duas safras avaliadas. Tal resultado do Blend "a" foi devido à aplicação em dose única, pois, este blend apresenta ureia convencional em 50% de sua composição. Na eficiência agrônômica, os tratamentos Nitrato de Amônio, Blend "b" e Blend "d" apresentaram os melhores resultados. Todos os tratamentos utilizados proporcionam aumento da produtividade do cafeeiro, embora os que mais se destacaram foram o Nitrato de Amônio (3x) e o Blend "b" nas duas safras. Em conclusão, para as condições do presente estudo, o melhor aproveitamento do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura e maior produtividade do cafeeiro foram alcançados com a utilização do Nitrato de Amônio (3x) ou Blend "b".

Palavras-chave: Perdas de amônia. Ureia. Fertilizantes de eficiência aumentada.

ABSTRACT

This work aimed to investigate the volatilization of ammonia (N-NH₃) and the yield of coffee plants that received different types of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers, defined as slow release, controlled-release, and stabilized fertilizers. The experiment was performed in a coffee farm in Lavras, in the state of Minas Gerais (MG) in Brazil, in the cropping seasons of 2015/2016 and 2016/2017. The thesis was divided in two experiments, with the first one being performed in the cropping season of 2016/17 in a randomized block design, containing 36 treatments, being four fertilizers: Conventional Urea, controlled-release coated urea with polymer (Urea + Polymer), mixture of conventional urea and controlled-release urea (Blend), and urea coated with sulfur (Urea +S), 3 doses of nitrogen – N (190, 380, and 570 kg ha⁻¹) with 3 replicates. The fertilization of Conventional Urea was divided into three applications, while the entire N dose was applied in a single application for the other fertilizers. The parameters evaluated were as follows: daily and accumulated volatilization rates of N-NH₃ (only at the highest and lowest dose of N), N recovery field test, N and S concentration in leaves and coffee grain yield. Blend and controlled-release fertilizers showed lower peaks of volatilization in daily evaluation compared to Conventional Urea. Regarding the evaluation of accumulated volatilization over time, fertilizers applied at the dose of 570 kg ha⁻¹ presented the highest accumulated losses by volatilization of N-NH₃, reaching 45%, except in conventional urea that presented practically the same percentage of loss in both doses, 30%. There were no differences in N and S leaf concentrations and coffee yield among the treatment studied. The second experiment was carried out during the cropping seasons of 2015/2016 and 2016/2017. A completely randomized block design with 10 treatments and three replicates was used. The treatments were composed of the fertilizers applied in a single application (1x), in 2 (2x) or in 3 (3x) applications, as follows: Urea (3x); Ammonium Nitrate (1x); Ammonium Nitrate (3x); Urea with Organic Matrix (3x); Urea with Polyurethane (2x); Blend “a” = 50% Urea + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “b” = 50% Ammonium Nitrate + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “c” = 50% Urea NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “d” = 50% Ammonium nitrate + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m (1x); and the control (without N application). The parameters evaluated were as follows: daily and accumulated volatilization rates of N-NH₃, agronomic efficiency, and productivity. The use of Ammonium Nitrate promoted the lowest ($p < 0.05$) N-NH₃ loss by volatilization. Urea and Blend “a” showed higher accumulated volatilization in the two evaluated harvests. Such result for the Blend “a” was due to the application in a single dose, as the amount of conventional urea in the composition of this blend is 50%. Regarding agronomic efficiency, Ammonium Nitrate, Blend “b”, and Blend “d” showed the best results. All treatments provided an increase in coffee yield, although the most relevant one were those that used Ammonium Nitrate (3x) and Blend “b” in both harvests. In conclusion, considering the conditions of the present study, the best efficiency of the fertilizer applied and the higher were reached by applying Ammonium Nitrate (3x) or Blend “b”.

Keywords: Losses of ammonia. Urea. Enhanced-efficiency fertilizers.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

- Figure 1. Average temperature and rainfall data during the experiment..... 34
- Figure 2. Daily ammonia volatilization by the application of enhanced efficiency fertilizers to the coffee crop at rates of 190 (A) and 570 (B) kg ha⁻¹ of N. The red arrows in the X axis indicate the day of fertilization for the conventional urea. The vertical bars represent the standard error of the means (n=3)..... 38
- Figure 3. Accumulated ammonia volatilization by the application of enhanced efficiency fertilizers to the coffee crop at 190 (A) and 570 kg ha⁻¹ (B) doses of N. The red arrows indicate the day of fertilization. The vertical bars represent the standard error of the means (n=3)..... 41
- Figure 4. Average nitrogen recovered (g net⁻¹) according to days after fertilization and types of fertilizers (A: Urea + Polymer; B: Urea + S; C: Blend)..... 43
- Figure 5. Average values of coffee yield (bags of 60 kg) and their respective standard errors of benefited coffee. The numbers above each column represent their respective coffee yield..... 45

Artigo 2

- Figura 1. Volatilização diária de N-NH₃ (A) pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café e dados climáticos do período (B). Safra 2015/16. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3)..... 60
- Figura 2. Volatilização acumulada de N-NH₃ pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café. Safra 2015/16. As barras verticais representam o erro padrão da média (n=3)..... 63
- Figura 3. Volatilização diária de N-NH₃ (A) pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café e dados climáticos do período (B). Safra 2016/17. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3)..... 64
- Figura 4. Volatilização acumulada de N-NH₃ pela aplicação de fertilizantes de eficiência aumentada na cultura do café. Safra 2016/17. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3)..... 65

Figura 5. Produtividade do cafeeiro (sacas de 60 kg) sobre aplicação de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados e seus respectivos erros padrão. O número acima de cada coluna representa sua respectiva produtividade. Safra 2015/16 e 2016/17..... 67

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Table 1. Soil attributes determined in the different soil depths in the experimental area.....	33
Table 2. Treatments, types of fertilizers, and number of applications in coffee.....	34
Table 3. Average nitrogen and sulfur concentration (g kg^{-1}) and their respective standard errors in coffee leaves according to the fertilizers and doses used.....	44

Artigo 2

Tabela 1. Atributos químicos e textura do solo na camada de 0-0,20 m. Lavras, MG, 2015..	55
Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento e a quantidade de parcelamentos	56
Tabela 3. Eficiência Agronômica do N aplicado, em quilos de grãos produzidos para cada quilo de N aplicado ($\text{kg grãos kg N}^{-1}$). Safras 2015/16 e 2016/17.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera	14
2.2 Fertilizantes nitrogenados	15
2.3 Fertilizantes de eficiência aumentada	17
2.4 A cultura do cafeeiro e a utilização do nitrogênio	19
REFERÊNCIAS	22
ARTIGO 1	27
Ammonia volatilization, coffee nutritional status and yield following application of conventional urea, controlled release urea and their blends	27
Abstract	27
Volatilização de amônia, estado nutricional e produção de café após aplicação de ureia convencional, ureia de liberação controlada e seus blends	28
Resumo	28
INTRODUCTION	29
MATERIAL AND METHODS	31
Description of fertilizers	31
Field management	32
Experimental Design	33
Precipitation and temperature during the experiment	34
Ammonia volatilization	35
Nitrogen recovery field test	36
Nitrogen and sulfur concentrations in coffee leaves	36
Coffee yield	37
Data analysis	37
RESULTS AND DISCUSSION	37
Ammonia volatilization	37
Nitrogen recovery field test	42
Nitrogen and sulfur concentrations in coffee leaves	43
Coffee yield	44
CONCLUSIONS	46
REFERENCES	46
ARTIGO 2	51

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E SEUS BLENDS APLICADOS EM LAVOURA CAFEIEIRA	51
RESUMO	51
ABSTRACT	52
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS	54
Caracterização da área experimental	54
Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes.....	56
Avaliações	57
Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia	57
Produtividade do cafeeiro	58
Eficiência Agronômica do nitrogênio aplicado (EA)	58
Monitoramento de dados climáticos	59
Análise dos dados	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia	59
Produtividade do cafeeiro	66
Eficiência Agronômica do nitrogênio aplicado (EA)	68
Análise econômica e ambiental.....	69
CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se por apresentar atividade cafeeira de longa data e, dentre os estados brasileiros, Minas Gerais é o principal produtor nacional de café arábica (*Coffea arabica* L.) em termos de produção de grãos (26,1 milhões de sacas) e área plantada (1,2 milhão de ha), representando 70% e 69% do total nacional de café arábica, respectivamente (CONAB, 2019).

Apesar da grande produção e da significativa área cultivada com café no Brasil, faz-se necessário aumento da produtividade e redução do custo de produção como forma de maximizar os ganhos econômicos, além de cada vez mais produzir de forma sustentável, sem impactos ambientais. Nesse cenário, mostra-se importante o emprego de tecnologias, como a utilização de fertilizantes de eficiência aumentada, os quais podem proporcionar uma adubação mais eficiente, com menos impactos ambientais e de melhor custo-benefício para o agricultor. O emprego de tais tecnologias contribui para a nutrição das plantas, contribuindo para a alta produtividade de grãos das lavouras.

Nesse contexto de se realizar o manejo eficiente da adubação, o nitrogênio (N) tem destaque especial, pois, é o nutriente exigido em maiores quantidades pelas plantas de café, o mais acumulado no tecido vegetal e o segundo nutriente mais exportado pela colheita dos frutos, atrás apenas do potássio (K) (MALAVOLTA et al., 1993). A extração de N pelos frutos de café é em média 2,58 kg por saca de 60 kg de grãos de café com casca (GARCIA, 2008).

O N merece destaque também por apresentar uma alta dinamicidade no sistema solo, como transformação em diferentes formas moleculares, acarretando altas perdas para o ambiente e podendo tornar a prática da adubação ineficiente caso não seja realizado o manejo adequado. A possível ineficiência na adubação nitrogenada está mais ligada ao uso, principalmente, da ureia convencional ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), que é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil. Sabe-se que, dependendo das condições edafoclimáticas e de manejo, a ureia, ao ser aplicada no solo sem incorporação, pode apresentar perdas por volatilização da amônia (NH_3) para a atmosfera.

Uma forma de reduzir essa perda de amônia pela aplicação de ureia é a incorporação da mesma ao solo, pois assim há aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo, diminuindo a volatilização de amônia (SANGOI et al., 2003). Outra forma de diminuir as perdas por volatilização seria o uso de fertilizantes de eficiência aumentada, conceito criado quando um produto nitrogenado de liberação lenta foi patenteado em 1924 na Europa

(TIMILSENA, 2014), e em 1961 a ureia revestida por enxofre começou a ser produzida comercialmente (TRENKEL, 2010). Atualmente, esses fertilizantes de eficiência aumentada são subdivididos em fertilizantes de liberação lenta, controlada e estabilizados, dependendo da tecnologia empregada.

Alguns compostos químicos têm sido testados com o objetivo de diminuir a velocidade de hidrólise da ureia, dentre os quais destaca-se comercialmente o NBPT (tiofosfato de N-(nbutil) triamida) por apresentar resultados positivos no rendimento das culturas (TASCA et al., 2011; LANA et al., 2018). O revestimento da ureia também tem sido utilizado como uma tecnologia promissora e pode atuar tornando mais lenta a liberação do N (DONG et al., 2016; JADON et al., 2018). Algumas pesquisas já foram realizadas para testar diversos materiais de revestimento, contendo inibidores de urease e nitrificação, polímeros biodegradáveis e outros polímeros (FARMAHA; SIMS, 2013; JADON et al., 2018), porém, o alto custo e os riscos limitam suas aplicações no campo (SIVASAKTHY; GNANAVELRAJAH, 2012).

Essas novas tecnologias de revestimento permite que as plantas absorvam os nutrientes através do processo de difusão controlada, garantindo a sua disponibilização de forma adequada às exigências das plantas (TOMASZEWSKA et al., 2002). Pesquisas recentes mostraram resultados satisfatórios da utilização de revestimentos a base de polímeros para a liberação controlada de N (BORTOLETTO-SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2019) e também a utilização de revestimento com enxofre em culturas de algodão (GENG et al., 2016). Porém, ainda são escassos estudos sobre perdas de N, absorção e eficiência de uso por plantas sob aplicações de ureia revestida por polímeros e enxofre em cafezais. Assim, devido à importância econômica e os impactos ambientais associados à fertilização nitrogenada em cafeeiro, esse tipo de estudo se faz necessário.

Outra técnica para auxiliar o melhor aproveitamento do N aplicado em culturas é a combinação ou misturas (blends) de fertilizantes com tempos de liberação variáveis, podendo resultar na diminuição de custos com mão de obra, através da redução do número de aplicações, perdas reduzidas devido à volatilização de N, lixiviação e desnitrificação reduzidas, liberação de nutrientes em sincronização com a curva de absorção da cultura ao longo do ciclo, o que pode resultar em maior eficiência no uso de N (CHAGAS et al., 2016; GARCIA et al., 2018; FREITAS, 2020). Isso se deve aos benefícios dos fertilizantes nitrogenados de maior eficiência quando comparados aos convencionais, além de proporcionar melhorias como aumento de rendimento e qualidade do produto (NAZ;

SULAIMAN, 2016; SILVA et al., 2017). Na produção de café, há a necessidade de mais estudos para verificar os benefícios da aplicação de blends de fertilizantes.

O uso de fertilizantes estabilizados e de liberação controlada trata-se de alternativa para reduzir os impactos ambientais associados à adubação nitrogenada convencional. Além disso, pode haver redução no número de aplicações de fertilizantes pela menor necessidade de parcelamento das aplicações (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010). Assim, pode-se reduzir o uso de mão de obra, economia de combustível, minimizar a compactação do solo, evitar injúrias às raízes e danos físicos à cultura, além de diminuir a contaminação dos mananciais de água.

Essa tese é apresentada no formato de artigos, tendo como objetivo avaliar a adubação do cafeeiro utilizando-se fertilizantes nitrogenados convencionais, de eficiência aumentada e a mistura entre eles (blends), os quais foram aplicados em diferentes doses. O objetivo principal do estudo foi avaliar o efeito dos fertilizantes na produtividade do cafeeiro, nas perdas de N-NH₃ por volatilização e a eficiência agronômica da adubação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera

O N é absorvido pelas plantas predominantemente na forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). Os restos vegetais e animais em decomposição têm em suas composições o N orgânico, após acontecer o processo chamado mineralização, o N orgânico é transformado em N mineral, sendo assim absorvido pelas plantas.

Dentre os fatores que influenciam a mineralização do N de resíduos orgânicos estão o teor de N, a relação entre carbono e N (C/N), o grau de maturação e a biodegradabilidade de C do material, além da textura do solo (HÉBERT et al., 1991).

O processo inverso à mineralização é chamado de imobilização, que é a transformação do N mineral a N orgânico, é uma perda temporária de N mineral, pois este é consumido pelos microrganismos do solo e imobilizado em sua biomassa microbiana, e logo após a morte e decomposição desses microrganismos inicia-se o processo de mineralização e o N volta a forma mineral. Mesmo tendo estoque elevado de N orgânico no solo, se o N estiver imobilizado pelos microrganismos, a planta pode apresentar carência de N (CANTARELLA, 2007).

O efeito da imobilização microbiana sobre o rendimento vegetal depende, entretanto, da quantidade de N imobilizada, da disponibilidade de N no solo, e da época de maior imobilização relativa à demanda vegetal. Com o transcorrer da decomposição, a relação C/N diminui e a quantidade de N imobilizada passa a ser menor do que a mineralizada. A melhor maneira de evitar o possível prejuízo causado pela imobilização microbiana no rendimento vegetal consiste, no entanto, em adicionar quantidade maior de N no período de maior demanda pela cultura de interesse econômico (ERNANI, 2005).

A atmosfera é a principal fonte de N, com aproximadamente 78% de sua composição na forma de gás inerte (N_2). Para possibilitar o uso do N na agricultura, há necessidade de fixação, por meio de processos biológicos e/ou industriais (EPSTEIN, 1975; TAIZ; ZAIGER, 2004).

A adição de N ao solo por processo biológico é realizada por bactérias e chama-se fixação biológica de N. Adição de matéria orgânica, aplicação de adubos orgânicos e o N proveniente das águas das chuvas também são formas naturais de incorporar N ao solo (MELO, 1978; RAIJ, 1991). No entanto, o elevado estoque de N orgânico no solo não se

encontra totalmente disponível para atender a demanda das plantas necessitando ser mineralizado. Essa ação depende de vários fatores e apresenta taxa variada de disponibilização, sendo desta forma, a adubação mineral a principal forma de fornecimento de N a cultura (CANTARELLA,2007). Ela deve ser manejada e aplicada de forma correta, na época ideal e na dose recomendada, para evitar perdas.

A eficiência de fertilizantes minerais varia de acordo com o tipo de fertilizante utilizado e dose utilizada, além dos fatores extrínsecos aos fertilizantes, como características edafoclimáticas. Podendo estar ligada também a fatores como espécies, genótipos cultivados, fatores climáticos (vento, temperatura e regime pluviométrico), pH, textura, poder tampão do solo, presença de matéria orgânica sobre o solo, além da forma e quantidade do N presente e adicionado no solo (CANTARELLA, 2007).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil é a ureia, que após aplicada ao solo sofre hidrólise, processo dependente de uma enzima chamada urease. Essa hidrólise aumenta o pH do solo ao redor do grânulo de ureia, o que favorece o processo de volatilização da amônia, fator que deve ser levado em conta mesmo em solos com pH ácido. O pH próximo ao grânulo de ureia é o principal fator que influencia o processo de perda por volatilização de amônia (TASCA et al., 2011).

O processo de volatilização envolve a hidrólise da ureia por meio da urease, enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais (REYNOLDS et al., 1985). Este processo é influenciado pela temperatura, umidade, pH, CTC, tipo de solo e presença de resíduos de plantas na superfície do solo, ente outros (CANTARELLA et al., 2008; LANNA et al., 2010). Considerando então a necessidade de se aumentar a produção de alimentos e alcançar maior eficiência no uso do N, a urease se torna de extrema importância de entendimento e objeto de estudo (BOARETTO et al., 2007).

A alta mobilidade da ureia no solo possibilita sua fácil incorporação pela precipitação pluviométrica, por ser uma molécula sem carga e, portanto, pouco adsorvida em pontos de carga da matéria orgânica ou mineral (DAWAR et al., 2011).

2.2 Fertilizantes nitrogenados

Os fertilizantes nitrogenados convencionais mais consumidos no Brasil, em ordem decrescente em relação ao preço de mercado e ao consumo, são: ureia (45% de N), fosfato monoamônico - MAP (9% de N), sulfato de amônio (20% de N), nitrato de amônio (32% de

N), fosfato diamônico - DAP (16% de N) e outros complexos, como aquamônia e nitrocálcio, que podem ser empregados em formulações juntamente com o fósforo (P) e o potássio (K) (MALAVOLTA; MORAES, 2009).

A amônia é a principal matéria-prima para a produção de quase todos os fertilizantes nitrogenados, podendo ainda ser usada diretamente como fertilizante, na forma concentrada de amônia anidra (82% de N) ou em solução aquosa como aquamônia (20% de N) (CANTARELLA, 2007; MALAVOLTA; MORAES, 2009; VILLALBA et al., 2014). A amônia é formada partir de N_2 atmosférico e hidrogênio (H) de combustíveis fósseis. Esta combinação de $N_2 + H$ resultará na molécula de NH_3 (CANTARELLA, 2007).

A amônia em forma de sulfato (sulfato de amônio) contém 21% de N, apresenta reação ácida no solo, tem como vantagens sua baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, químicas e oferta de enxofre (até 24% de S). O nitrato de amônio, por sua vez, contém ao mesmo tempo duas formas de N, a nítrica (NO_3^-) e a amoniacal (NH_4^+). Entretanto, este fertilizante favorece maior formação do íon nitrato, pouco retido em solos com predominância de cargas negativas causando a sua lixiviação. Porém, nas condições brasileiras, como muitos dos solos apresentam horizontes subsuperficiais com cargas positivas, estas cargas poderiam retardar consideravelmente a lixiviação do nitrato (ALCÂNTARA; CAMARGO, 2005).

O N na forma de sulfato e nitrato de amônio que contém N amoniacal, aplicados em solos com pH inferior a 7,0 (maioria dos solos brasileiros), não liberam N por volatilização, pois não favorecem o aumento do pH no local onde são aplicados, mesmo quando aplicados sobre restos de cultura (TERMAN, 1979; FRENEY et al., 1992; CANTARELLA et al., 1999). Outros fertilizantes utilizados são os fosfatos de amônio (DAP e MAP), mas tem seu uso mais destinado a aplicação fosfatada (CANTARELLA, 2007).

A ureia é a fonte mineral de N mais utilizada no Brasil e no mundo (ANDA, 2014). De 50% a 60% do N consumido no mundo é fornecido na forma de ureia (FAO, 2015), caracterizada por ser um dos fertilizantes sólidos granulados de maior concentração de N (45%), na forma amídica (diamídico). Apresenta vantagens como baixo custo de transporte, alta concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes, porém tem como desvantagens a elevada higroscopicidade e maior susceptibilidade à volatilização, quando aplicada superficialmente. A mistura de ureia com sulfato de amônio apresenta boa eficiência agrônômica, com menores taxas de volatilização

devido a menor quantidade de ureia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio (VITTI et al., 2001).

2.3 Fertilizantes de eficiência aumentada

Pelo fato do cafeeiro demandar grandes quantidades de N, vários estudos são realizados na busca de fertilizantes mais eficientes, já existindo alguns produtos consagrados com altos rendimentos e produtos com utilização em expansão, embora outros se mostrem em desuso em função de algumas características negativas (CANTARELLA et al., 2008).

Fertilizantes de eficiência aumentada é um conceito amplo e caracteriza-se pelos fertilizantes de liberação lenta, controlada e estabilizados. Fertilizante de liberação lenta ou controlada é o fertilizante que contém um nutriente de plantas em uma forma que atrasa a sua disponibilidade para absorção e uso pelas plantas após a aplicação ou que estende significativamente a sua disponibilidade para as plantas por período maior do que de um fertilizante que disponibiliza rapidamente o nutriente, chamado de fertilizante referência, tais como nitrato de amônio, ureia ou fosfato de amônio (TRENKEL, 2010).

Oficialmente não há diferença entre fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada, contudo, produtos que contenham N e sofrem decomposição microbológica, como ureia formaldeídos, são comumente relatados no comércio como liberação lenta; e produtos revestidos ou encapsulados são chamados de liberação controlada (TRENKEL, 1997).

Fertilizante nitrogenado estabilizado é o fertilizante ao qual foi adicionado substância estabilizadora do N, a qual estende o tempo do N na forma em que fora aplicado (TRENKEL, 2010). Sendo duas as principais classes de estabilizadores de N encontradas no mercado: inibidores da nitrificação e inibidores da urease.

Os inibidores de nitrificação, tais como Nitrapirina (2-cloro-6-(triclorometil) piridina) e DMPP (3,4-dimetilpirazolfosfato), diminuem a taxa de nitrificação ao interferir na atividade de bactérias do grupo das *Nitrosomonas*, bloqueando a transformação da amônia em nitrito (NO_2^-), preservando assim, por algum tempo, o N na forma amoniacal, menos sujeito a perdas por lixiviação (CANTARELLA, 2007); o inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) também se mostra eficaz (CANTARELLA, 2007).

Os fertilizantes estabilizados e de liberação controlada são alternativas para reduzir os impactos ambientais associados à adubação nitrogenada convencional. Além disso, pode

haver redução no número de aplicações de fertilizantes pela menor necessidade de parcelamento das aplicações (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Estudos têm demonstrado a redução da perda de N a partir do uso de fertilizantes de eficiência aumentada, como os de liberação lenta (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010) e os revestidos por ácido bórico e cobre (NÖMMIK, 1973; KISS; SIMIHAIAN, 2002; BENINI et al., 2004). Atualmente o inibidor de urease com maior importância prática e comercial é o NBPT. A adição do NBPT tem reduzido as perdas em torno de 60%, aumentando a eficiência de uso do N e a produtividade das culturas, sendo eficiente em baixas concentrações (WATSON et al., 1994; TRENKEL, 1997; RAWLUK et al., 2001; CANTARELLA et al., 2008; 2009).

Segundo Vieira e Teixeira (2004) fertilizantes revestidos por polímeros comparados com o uso de fertilizantes sem revestimento não diferem quanto a época de aplicação, diferindo somente quanto a eficiência da adubação, pois fertilizantes com polímeros conferem menores perdas de nutrientes, possibilitando reduzir a dose aplicada (ZAHRANI, 2000). Para o N aplicado no solo via fertilização, a volatilização é o principal problema a ser resolvido, seguido pela lixiviação no perfil do solo, sendo que este nutriente não apresenta problemas de fixação no solo, como ocorre com o fósforo.

Dentre os inibidores da urease destacam-se alguns íons metálicos, tais como: cobre (Cu), molibdênio (Mo), cobalto (Co), zinco (Zn), manganês (Mn), prata (Ag), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). Com a incorporação de cobre e boro na ureia pastilhada para inibir a atividade da urease, Stafanato et al. (2013) consideraram esses inibidores efetivos em reduzir as perdas de N por volatilização de amônia, reduzindo-as em até 54%, quando comparada com a ureia granulada convencional.

Os fertilizantes de eficiência aumentada são mais convenientes de armazenar e manusear; o revestimento torna os fertilizantes menos higroscópicos e conseqüentemente menos sensíveis à umidade do ambiente, comumente encontrada em condições de armazenamento (TIMILSENA, 2014).

Um padrão de liberação de nutrientes com modelo sigmoidal seria o adequado para atender à demanda das plantas, de forma a aumentar a eficiência de uso (TRENKEL, 2010). Esse ajuste poderia reduzir o potencial de perdas do N aplicado (MORGAN; CUSHMAN; SATO, 2009).

Os principais objetivos dos fertilizantes estabilizados e de liberação controlada 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).

A liberação gradual do N presente no interior dos grânulos de fertilizantes de liberação controlada pode ocorrer por diversos mecanismos. Na ureia revestida por enxofre ou polímero, a camada do elemento impede fisicamente o contato da água com a ureia no interior, impedindo sua liberação para o solo. Se houver imperfeições no revestimento dos grânulos causados por variações de temperatura, forças mecânicas, agentes químicos, etc., ocasionará rompimento do revestimento, com isso ocorre a entrada de água e dissolução do fertilizante no núcleo do grânulo, liberando-o para o solo.

Como o revestimento de polímero é uma proteção física do grânulo de ureia, os fatores que afetam a composição e integridade da camada de revestimento externa também afetam a liberação de N, como qualidade do revestimento, tipo de polímero utilizado, umidade e temperatura. Quando ocorre trinca ou rompimento no revestimento, a água penetra no grânulo na forma líquida ou gasosa e inicia a hidrólise da molécula de ureia, na qual o N disponível pode ser liberado pela própria trinca ou por difusão, no caso de aumento da pressão interna do grânulo e resistência do revestimento à quebra (Naz; Sulaiman, 2016).

A taxa de liberação de N da ureia revestida com enxofre depende da espessura e qualidade do revestimento, da atividade dos microrganismos responsáveis pela oxidação do S⁰, do pH, da temperatura e da umidade do solo. (Trenkel, 2010; Azeem et al., 2014).

2.4 A cultura do cafeeiro e a utilização do nitrogênio

A atividade cafeeira tem grande destaque no cenário agrícola nacional, principalmente por sua participação no desenvolvimento econômico e social das diversas regiões produtoras. O Brasil tem se destacado como o maior produtor, exportador e consumidor de café no mundo, tendo beneficiado em 2019 um total de 49,3 milhões de sacas de café arábica e conilon (CONAB, 2019).

Em termos de produção de café total (arábica e conilon), o Brasil produziu 50,9 milhões de sacas na safra 2019, sendo 36,9 milhões de sacas de café arábica (72,6%) e 13,9 milhões de sacas de café conilon (27,4%). A produtividade média de café arábica foi de 25,16 sacas por ha (sc/ha) e de café conilon de 37,34 sc/ha (CONAB, 2019).

Para atingir produtividade cada vez maior de grãos de café é necessária adubação equilibrada e que supra a demanda de nutrientes para a planta durante seu desenvolvimento, pois a nutrição mineral é fator de destaque que contribui para a produção de frutos pela planta de café (LAVIOLA et al., 2007).

Sendo assim, destaca-se o papel importante do N, por ser considerado o macronutriente mais importante na composição química das plantas (RAIJ, 1991), por fazer parte da composição da maioria dos compostos orgânicos (MALAVOLTA, 2006) e por ser um dos nutrientes que mais limitam as produções (SILVA et al., 2003).

Para a recomendação da adubação nitrogenada na cultura do café, bem como as doses de N utilizadas, são levados em consideração os seguintes fatores: produtividade esperada, análise de solo e o teor de N foliar, sendo que a literatura traz valores médios de aplicação de 120 a 470 kg ha⁻¹ de N em lavoura cafeeira (YAMADA et al., 2007).

Em estudo com a cultura do café, Fenilli et al. (2008) verificaram a recuperação no fruto (acúmulo) de apenas 25% de todo o N mineral aplicado no solo em forma de sulfato de amônio. Podendo variar de acordo com a fonte utilizada, visto que a eficiência de aproveitamento pelas plantas ou a porcentagem de recuperação do N é muito variável, ficando em torno de 50 a 60% do N total aplicado ao solo como fertilizante (COELHO et al., 1991), isso em decorrência principalmente da utilização de ureia, por se tratar de uma fonte sujeita a altas perdas nos sistemas agrícolas.

O estudo com 11 diferentes fertilizantes (ureia + cobre + boro; ureia + polímero aniônico; ureia + NBPT; ureia convencional; ureia dissolvida em água; sulfato de amônio; nitrato de amônio; ureia + enxofre + polímero; ureia + resina plástica; ureia formaldeído; ureia revestida por polímero insolúvel em água) para quantificar as perdas de amônia pela ureia e buscar fontes de fertilizantes nitrogenados com melhor aproveitamento em cafeeiro foi realizado por Bartelega (2018). Segundo o autor as maiores perdas de amônia foram observadas para a ureia + polímeros aniônicos e ureia convencional. A menor perda de N por volatilização foi encontrada para o nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia formaldeído.

A aplicação de blends de ureia com inibidor de urease e de liberação controlada pode reduzir as perdas de amônia em comparação a ureia convencional (Chagas et al., 2016). Nesse sentido, os autores realizaram experimento para quantificar as perdas de N-NH₃ por fertilizantes nitrogenados convencionais e blends de ureia + (ureia + NBPT) e ureia de liberação controlada aplicados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. Foi verificado que com a utilização do Polyblen Montanha® (blend de ureia convencional + ureia de

liberação controlada) é possível reduzir dois parcelamentos em comparação a fontes convencionais como ureia e nitrato de amônio, aplicando-se apenas 70% da dose recomendada sem alterar a produtividade e a nutrição do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 4, p. 369-376, 2005.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS-ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes, 1987-2014, São Paulo, 162 p., 2014.
- BARTELEGA, L. Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta, controlada e blends para o cafeeiro. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2018. 68p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.
- BENINI, S.; RYPNIEWSKI, W. R.; WILSON, K. S.; MANGANI, S.; CIURLI, S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: insights into the catalytic mechanism. *Journal of American Chemistry Society*, v. 126, n. 2, p. 3714-3715, 2004.
- BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T. & TRIVELIN, P.C.O. Efficient use of N in conventional fertilizers. In: *NITROGEN CONFERENCE*, 4., Costa do Sauípe, 2007. Costa do Sauípe, p.33, 2007.
- CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. *Informações Agrônomicas IPNI*, n.120, p.12-13, 2007.
- CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; MARCELINO, R. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. In: *16th Nitrogen Workshop*, Turin (Italy), June, 28th - July, 1st. 2009. p.129-130, 2009.
- CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: *CONGRESSO NACIONAL DA STAB*, 7., 1999, Londrina. Resumos... Londrina: BRASIL, p.82 – 87, 1999.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, v. 65, p. 397-401, 2008.
- 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, Sep/Oct. 2016.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio ¹⁵N em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, p. 187-193, 1991.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de café, v. 5 – Safra 2019, n.2 - Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-61, maio 2019. < file:///C:/Users/USER/Downloads/BoletimZCafZmaioZ2019_1%20(1).pdf > Acesso

em: 21 Jul. 2019.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Sistemas de produção e eficiência agronômica de fertilizantes. In: Prochnow, L.I.; Casarin, V.; Stipp, S.R. (Eds.). Boas Práticas para uso eficiente de fertilizantes. Anais... Piracicaba: InternationalPlantNutritionInstitute. v. 1, p. 229-275, 2010.

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.

DONG, Y.J. et al. Effects of newcoated release fertilizer on the growth of maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 16, p. 637-649, 2016.

EMBRAPA. Notícias, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2574254/cafe-e-a-segunda-bebida-mais-consumida-no-brasil> em 03/11/2015. Acesso em: 14 jan 2020.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 341p., 1975.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. A forma de aplicação da ureia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. *Ciência Rural*. Santa Maria v.35. n.2. p.360-365. Mar-abr. 2005.

FARMAHA, B. S.; SIMS, A.L. Yield and protein response of wheat cultivars to polymer-coated urea and urea. *Agronomy Journal*, v. 105, p. 229-236, 2013.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; FAVARIN, J. L.; BACCHI, O.O.S.; SILVA, A.L.; TIMM, L.C. Fertilizer 15N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

FIXEN, P.E. World fertilizer nutrient reserves – a view to the future. *Better Crops International*, Atlanta, GA., US. Norcross. v. 93, n. 3, p. 8-11, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION- FAO. FAOSTAT/Resources/Fertilizer. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#anchor>>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

FRENEY, J.R.; DEANMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 31, p. 341-349, 1992.

FREITAS, T. Fertilizantes de liberação controlada e seus “blends” com ureia tratada com inibidor de urease para o cafeeiro. 2020. 126 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

GARCIA, P. L.; GONZÁLEZ-VILLALBA, H. A.; SERMARINI, R. A.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen use efficiency and nutrient partitioning in maize as affected by blends of controlled-

release and conventional urea. Archives of Agronomy and Soil Science, v. 64, n. 14, p. 1944-1962, 2018.

GARCIA, A.L.A.; CARVALHO, C.H.S., GARCIA, A.W.R.. Extração de nutrientes em cafeeiros da espécie *Coffea arabica*. In: Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras, Caxambu, MG. p. 53-55, 2008.

GENG, J. et al. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. Field Crops Research, 187:87-95, 2016.

HÉBERT, M.; KARAM, A. & PARENT, L.E. Mineralization of nitrogen and carbon in soils amended with composted manure. Biological Agriculture and Horticulture. 7:349-361, 1991.

JADON, P. et al. Volatilization and leaching losses of nitrogen from different coated urea fertilizers. Journal of soil science and plant nutrition, v. 18, n. 4, p. 1036-1047, 2018.

KISS, S.; SIMIHAIAN, M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. KlumerAcademicPublishers, Doordrech, 417p., 2002.

LANA, R.; PEREIRA, V.; LEITE, C. N.; TEIXEIRA, G. M.; GOMES, J. S.; CAMARGO, R. NBPT (urease inhibitor) in the dynamics of ammonia volatilization. Revista Brasileira de Ciências Agrárias - BrazilianJournalofAgriculturalSciences. v. 13. n. 2, p. 1-8, 2018. Doi: 10.5039/agraria.v13i2a5538.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. DA; SILVA, M. B. DA; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1933-1939, 2010.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D. & MENDONÇA, S.M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1451-1462, 2007.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição de plantas. Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.

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

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. Nitrogênio na agricultura brasileira. in: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT, p. 211-255., 2009.

MELO, W.J. Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre. Jaboticabal: ANDA, 66 p. Apostila do Curso de Atualização do Curso de Fertilidade do Solo, 1978.

MORGAN, K. T.; CUSHMAN, K. E.; SATO, S. Release mechanisms for slow and controlled- release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. Hort Technology, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 10–12, Jan. 2009.

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. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>.

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

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343p, 1991.

RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 81, p. 239-246, 2001.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; Armbruster, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, p.104-108, 1985.

SANGOI, L. ERNAN, P. R.; LECH, V. A., C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687–692, 2003.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS. Anais... Frankfurt: IFA, 2005. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publicationdatabase.html/Controlled-ReleaseFertilizers.html>> Acesso em: 21 jun. 2017.

SILVA, A. M. 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.

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

SIVASAKTHY, K.; GNANAVELRAJAH, N. Organic nitrogen sources and nitrification inhibitors on leaching and phyto-accumulation of nitrate and yield of *Amaranthus polygamus*. *World Journal of Agriculture Science*, v. 8, p. 208-211, 2012.

STAFANATO, J.B.; GOULART, R.S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C.G.; SOUZA, H.N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37:726-732, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 139-172, 2004.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBOLI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 493–502, 2011.

TERMAN, G.L. Yield and protein content wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors. *Agronomy Journal*, v. 71, p. 437-440, 1979.

TIMILSENA, Y.P.; ADHIKARI, R.; CASEY, P.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, 2014.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. *Desalination*, v. 146, p. 319-323, 2002.

TRENKEL, M. E. Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 151p. 1997.

TRENKEL, M. E. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2nd ed. Paris: InternationalFertilizerIndustryAssociation. 163 p. 2010.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. Adubação de liberação controlada chega como solução. *Revista Campo & Negócios*, v.41, p.4-8, 2004.

VILLALBA, U. A. G.; LEITE, J. M.; OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. *Informações Agronômicas*, n. 148, p. 13-21, 2014.

VITTI, G. C.; TAVARES Jr., J. E.; LUZ, P. H. C.; COSTA, M. C. G.; FAVARINI, J. L. Características físicas e químicas da mistura entre sulfato de amônio e ureia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DE SOLO, 18., 2001, Londrina. Anais. Londrina: SBCS, p. 312, 2001.

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

YAMA

DA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G.C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Anais do Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba- SP. IPNI Brasil. 722p. 2007.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. *Industrial &EngineeringChemistryResearch*, Washington, v.39, n.3, p.367–371, 2000.

ARTIGO 1

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciências Agrárias

Ammonia volatilization, coffee nutritional status and yield following application of conventional urea, controlled release urea and their blends

Abstract

This work aimed to investigate the volatilization of ammonia (N-NH₃) from urea and from controlled-release urea blends as well as nitrogen (N) field recovery, N and sulfur (S) in coffee leaves and grain coffee yield. An experiment was carried out on a coffee farm in Lavras, in the state of Minas Gerais (MG) in Brazil, in the cropping season 2016/17, consisting of a randomized block design with 36 plots established as follows: 4 fertilizers [Conventional Urea, controlled-release coated urea with polymer (Urea + Polymer), mixture of conventional urea and controlled-release urea (Blend), and urea coated with sulfur (Urea + S)], and 3 doses of N (190, 380, and 570 kg ha⁻¹) with 3 replicates. The fertilization of Conventional Urea was splitted into three times, and the others N fertilizers were applied in a single application. It was evaluated daily and accumulated N-NH₃ volatilization (for doses 190 and 570 kg ha⁻¹); N recovery from the field; leaf concentrations of N and S; and grain coffee yield. Blends and controlled-release fertilizers showed lower daily peaks of N-NH₃ volatilization when compared with Conventional Urea. For accumulated N-NH₃ volatilization, the highest N dose (570 kg ha⁻¹) presented the highest volatilization, except for Conventional Urea that showed approximately the same percentage loss in both N doses. The Urea + Polymer at 570 kg ha⁻¹ promoted the highest accumulated N-NH₃ losses (45%) by volatilization. The decreasing order of accumulated N-NH₃ losses was Urea + Polymer 570 (45%) > Conventional Urea 190 (30%) \cong Conventional Urea 570 (29%) > Blend 570 (22%) > Urea + Polymer 190 (20%) > Blend 190 (18%) > Urea + S 570 (8%) > Urea + S 190 (5%). The fertilizers Urea + Polymer, Blend, and Urea + S showed N recovery rates of 18.7%, 23.8%, and 84.6% of N, respectively, at 180 days after fertilization. Urea +S was efficient to increase N fertilization of coffee plants in a single application due to the slow-release behavior, without affecting crop yield and reducing losses by volatilization when compared to Urea + Polymer 570 and Conventional Urea. There is no significant relationship between the N-NH₃ losses by volatilization and crop yield. Although the volatilization of N-NH₃ has

shown to be more stable over time when controlled-release fertilizers were applied, the evaluated treatments did not affect the N and S concentration in coffee leaves or the coffee yield.

Keywords: technologies; nitrogen fertilizers; nitrogen management; N-NH₃ losses.

Volatilização de amônia, estado nutricional e produção de café após aplicação de ureia convencional, ureia de liberação controlada e seus blends

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar a volatilização da amônia (N-NH₃) da ureia e blend de ureia de liberação controlada na fertilização do café. O experimento foi conduzido em uma fazenda de café em Lavras - MG, Brasil, na safra 2016/17, em delineamento de blocos ao acaso. Foram estabelecidos 12 tratamentos, contendo 4 fertilizantes [Ureia Convencional, ureia de liberação controlada revestida com polímero (Ureia + Polímero), mistura de ureia convencional e ureia controlada (Blend) e ureia revestida com S (Ureia + S)], 3 doses de N (190, 380 e 570 kg ha⁻¹), e 3 repetições cada tratamento, totalizando 36 parcelas experimentais. A adubação da Ureia Convencional foi parcelada em três vezes, enquanto os demais tratamentos receberam toda a dose de N em uma única aplicação. Foram avaliados os seguintes parâmetros: volatilização diária e acumulada de N-NH₃, teste de recuperação de nitrogênio (N) em campo, teor N e S nas folhas e produtividade. O Blend e os fertilizantes de liberação controlada apresentaram picos mais baixos de volatilização na avaliação diária em comparação à Ureia Convencional. Na avaliação da volatilização acumulada, os fertilizantes na dose de 570 apresentaram maiores perdas, exceto na Ureia Convencional que apresentou praticamente a mesma perda percentual em ambas as doses. Ureia + Polímero 570 promoveu a maior perda acumulada de N-NH₃ por volatilização, de 45% do N aplicado. A sequência decrescente de perda acumulada de N-NH₃ foi: Ureia + Polímero 570 (45%) > Ureia Convencional 190 (30%) \cong Ureia Convencional 570 (29%) > Blend 570 (22%) > Ureia + Polímero 190 (20%) > Blend 190 (18%) > Ureia + S 570 (8%) > Ureia + S 190 (5%). Os fertilizantes Ureia + Polímero, Blend e Ureia + S recuperaram 18.7%, 23.8% e 84.6% de N, respectivamente, aos 180 dias após a fertilização, pelo teste de recuperação de N. O fertilizante de liberação controlada com revestimento de enxofre (Ureia + S) possibilitou realizar a adubação nitrogenada do cafeeiro em única dose, disponibilizando o N de forma gradual para

as plantas, sem afetar a produtividade e reduzindo as perdas por volatilização quando comparados a Ureia + Polímero 570 e a Ureia Convencional. Não há relação entre as maiores perdas por volatilização com a produtividade. Também é possível concluir que mesmo sendo a volatilização da amônia mais estável ao longo do tempo ao usar fertilizantes de liberação controlada, isso não afeta o teor de N e S da folha ou a produção de café.

Palavras-chave: tecnologias; fertilizantes nitrogenados; manejo do nitrogênio; perdas de N-NH₃.

INTRODUCTION

Brazil is the largest coffee producer and exporter worldwide. According to CONAB (2020), the country allocates an estimated area of 1,885,500 hectares for coffee production. To supply the high demand for nutrients, grain quality, and high productivity, fertilizers are widely used in coffee crop, especially macronutrients, such as N.

Urea is the most used N source in Brazilian agriculture (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA, 2014). In general, around 60% of N applied in soils are used by plants, with significant fraction being lost due to ammonia volatilization (N-NH₃) and by leaching and denitrification (LORENSINI, 2012).

Volatilization of N-NH₃ stands out as the main form of N losses when urea is applied on soil surface without any incorporation. These conditions, combined with the edaphoclimatic factors and the intrinsic characteristics of urea, may favor N losses (VITTI et al., 2007; SANZ-COBENA et al., 2008), which ranges from 0.9% up to 64% of the applied N (LARA CABEZAS et al., 1997; PAN et al., 2016).

In addition to the the incorporation of urea (mechanically or by water from irrigation and/or rain) to reduce N losses (HOLCOMB et al., 2011; ROCHETTE et al., 2014), it is increasing the use of Enhanced-Efficiency N Fertilizers (EENFs), such as stabilized fertilizers and slow- and controlled-release fertilizers (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2014; NAUZ; SULAIMAN, 2016), which are relevant in this context but further studies are still needed.

The Controlled-Release Coated Urea (CRCU) has been used as a promising technology and can act as efficient slow/controlled-release nitrogen fertilizers (DONG et al., 2016; JADON et al., 2018). Various coating materials, containing urease and nitrification inhibitors,

biodegradable polymers, and other polymers have been studied (FARMAHA; SIMS, 2013; JADON et al., 2018), however, the high cost and risks limit their applications in real field conditions (SIVASAKTHY; GNANAVELRAJAH, 2012).

There are new technologies of covering that allows plants to absorb nutrients through a process of controlled diffusion, ensuring their availability in an adequate way according to the nutritional requirements of the plants (TOMASZEWSKA et al., 2002). A recent research has shown satisfactory results based on the use of polyurethane-based coatings (PUs) for the controlled-release of N (BORTOLETTO-SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2019) and for coating using the sulfur (S) in cotton crop (GENG et al., 2016), however, data reporting N losses, absorption, and N use efficiency for plant growth by applying urea coated with PUs or S in coffee plantations are not available.

Despite improving their agronomic efficiency, fertilizers that use this type of technology is much more expensive than conventional urea (TRENKEL, 2010). An alternative for reducing fertilizer costs would be the formulation of blends of conventional, stabilized, slow-release, controlled N fertilizers in more efficient fertilizer use processes.

Combining fertilizers (physical blends) with varying release times can result in reduced labor costs (fewer applications), reduced volatilization of N-NH₃, as well as reduced leaching and denitrification, being able to release nutrients from fertilizers in synchronization with the crop absorption curve throughout the cycle, which might result in enhanced N use efficiency (CHAGAS et al., 2016). This characteristic is owing to benefits of enhanced-efficiency N fertilizers when compared to conventional fertilizers, in addition to providing improvements associated with enhanced yield and product quality (ABALOS et al., 2014; AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2014; GENG et al., 2015; NAZ; SULAIMAN, 2016; SILVA et al., 2016).

It has been shown that volatilization of N-NH₃ by applying urea can reach up to 30% of the applied N in coffee crops (DOMINGHETTI et al., 2016). However, studies that evaluate the efficiency of N fertilization and N recovery blends are still scarce in coffee crop. In this context, the aim of this research was to compare the performance of different N fertilizers (conventional N fertilizer, controlled-release N fertilizers, and their blends) in coffee plantations, evaluating the N losses by N-NH₃ volatilization, N recovery, leaf concentrations of N and S, and coffee yield.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in a farm of commercial coffee production in Lavras (MG) (21° 17' 03" S and 44° 59' 44" W). The soil of the experiment was classified as a Latossolo Vermelho Distroférico according to the Brazilian Soil Classification System (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2018), which is equivalent to an Oxisol according to Soil Taxonomy. Coffee plants have been grown in the cropping season of 2016/17, with agricultural year starting in August 2016 and ending in July 2017. The climate of the region is consisted of dry winter and rainy summer, according to Köppen's classification (DANTAS et al., 2007), with an average annual precipitation of approximately 1,530 mm and an average temperature of 19.4° C (DANTAS et al., 2007).

Over the period of each fertilization and data collection, the surface and the subsurface temperature values of the soil were recorded daily through sensors that collect and store the temperature every 30 minutes. In addition, the rainfall was recorded daily with a pluviometer installed in the experimental area.

Description of fertilizers

Granular fertilizers were used in the experiment, with granules over 4 mm in diameter. Conventional urea was the only conventional fertilizer used, i.e., any technology has been implemented for embedded granules to increase the efficiency of fertilization, however, the other fertilizers may be considered controlled-release, i.e., they employ a physical coating to reduce the release rate, which is determined by the N concentration which extends its availability.

Coating granular urea with polymer can be performed by two processes: i) by rotating drum, in which rotational movements results in granules covered with a thin layer of polymer that adheres to the surface; or ii) by a spray drier, which consists of exposing spray drying of the polymer onto the urea granules (AZEEM et al., 2014).

For the production of urea coated with S⁰, the granules must be coated with petroleum by-products to act as sealants. Subsequently, urea must be preheated (71 to 82 °C) to make the granule surface more suitable for receiving molten S⁰ (159 °C) (GUELFY, 2017). Owing to surface irregularities of the sulfur (S) coatings, it could be noted on S-coated urea or another outer layer of polymer or resin, this outermost layer is a physical barrier for increasing the

resistance, because during handling, transport and mixing with other fertilizers, deterioration of the granules may occur (DETRICK, 1997).

Some of the specific characteristics of the fertilizers and blends used are described below:

a) Conventional Urea: conventional fertilizer with 45% N; it presents spherical granular particles, with diameter between 2 and 4 mm.

b) Urea + Polymer: Controlled-release fertilizer containing 43% N. The granules are coated with polymers, being insoluble in water, however, permeable, which prevents the immediate dissolution of the fertilizer when applied to the soil, causing nutrients to be released gradually over 3 to 4 months. This type of fertilizer with only polymer coated is classified as the most high-tech polymers among the increased efficiency fertilizers (TRENKEL, 2010);

c) Urea + S: Controlled-release fertilizer containing 37% N with 16% elemental S. Nowadays, the elemental S-coated urea is one of the cheapest technologies for the production of coated urea, this nutrient is absorbed by plants after undergoing oxidation.

d) Blend: Blend of S-coated urea (60%, w/w) and conventional urea (40%, w/w). Total N concentration is 39% containing 12% of elemental S.

Field management

Before the experiment, soil samples were collected at a depth of 0-0.05, 0-0.20, and 0.20-0.40m (Table 2) to characterize the attributes of the soil where coffee plants were grown, as showed in table 2. In general, the soil was classified as medium fertility compared to the cerrado soils in the region according to the Soil Fertility Commission of the State of Minas Gerais - CFSEMG (1999).

The first fertilization was performed on 9 November, and the treatments with a single dose were applied only on this date, the second fertilization in December 19th and the third in February 01st, with an average period of 42 days between each fertilization.

Table 1. Soil attributes determined in the different soil depths in the experimental area

Soil depth	P (Mehlich-1)	K	S	B	Fe	Mn	Zn	Cu	M.O.	Clay	Silte	Sand
m	-----mg dm ⁻³ -----								----- dag kg ⁻¹ -----			
0-0.05	45.44	173.25	103.96	0.55	37.16	5.98	2.76	4.35	2.33	47	14	39
0-0.20	16.05	108.98	48.57	0.3	44.33	3.78	1.34	1.92	2.07	47	15	38
0.20-0.40	4.08	81.12	35.39	0.33	42.42	2.14	0.84	1.37	2.01	45	19	36

Soil depth	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	T	V	m	
m	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----		
0-0.05	6.0	3.18	0.82	0,00	6.5	4.44	10.94	40.62	0,00	
0-0.20	5.2	1.22	0.38	0.3	6.1	1.88	7.98	23.55	13.76	
0.20-0.40	5.0	0.68	0.18	0.3	6.21	1.07	7.28	14.67	21.9	

Note: pH in water ratio (1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = KCl extractor (1M); SB = Base sum; V = base saturation percentage; T = CTC potential; m = aluminum saturation; P, K, Fe, Zn, Mn and Cu (Mehlich-1); B (Hot Water Extract); S (Monocalcium phosphate extractor in acetic acid); Organic matter (OM) – Oxidation with Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; B – Extractor: hot water

Experimental Design

The field trial consisted of 36 total plots, being used 4 types of fertilizers (Table 1), 3 doses of N: 190 kg ha⁻¹, 380 kg ha⁻¹, 570 kg ha⁻¹, and 3 replicates. The application on the soil surface was without any incorporation, and the frequency of application varied between fertilizers, as shown in Table 1. The experimental was performed in randomized blocks design.

The coffee cultivar in the experimental area was Catuaí Amarelo IAC 62 and the crop was established in 2014, with an inter-row spacing of 3.5 m and a row spacing of 0.6 m. Each plot consisted of twelve plants, being the useful area the eight central plants, the two outer lines and the last two plants at each end of the lines were considered as border and thus not assessed.

The dose of conventional urea was splitted in 3 applications, with one third of the dose each application, while the other fertilizers were applied in a single application, being this application carried out at the same date when the first application of conventional urea was performed.

Table 2. Treatments, types of fertilizers, and number of applications in coffee

Treatments	Types of fertilizers	Number of application
Urea (45% N)	Conventional	3 applications
Urea + S (37% N e 16% S)	Controlled-release: Urea coated with S	1 application
Urea + Polymer (43% N)	Controlled-release: Urea coated with polymer	1 application
Blend = 40% Urea + 60% Urea + S	Conventional urea + controlled-release urea (coated with S)	1 application

According to Ke et al. (2017), the application of enhanced efficiency fertilizers may not require more than one application, as recommended for conventional N fertilizers. It can promote lower labor costs when compared to N fertilization with conventional fertilizers, such as urea and ammonium nitrate (AZEEM et al., 2014).

Precipitation and temperature during the experiment

Precipitation was higher in November, overlapping with the beginning of the experiment, i.e., the first fertilization, as well as the last one when the experiment was carried out in January. The highest average monthly temperature was 23.1° C in January, and at the beginning of the experiment, a temperature of 21.5° C could be observed (Figure 1).

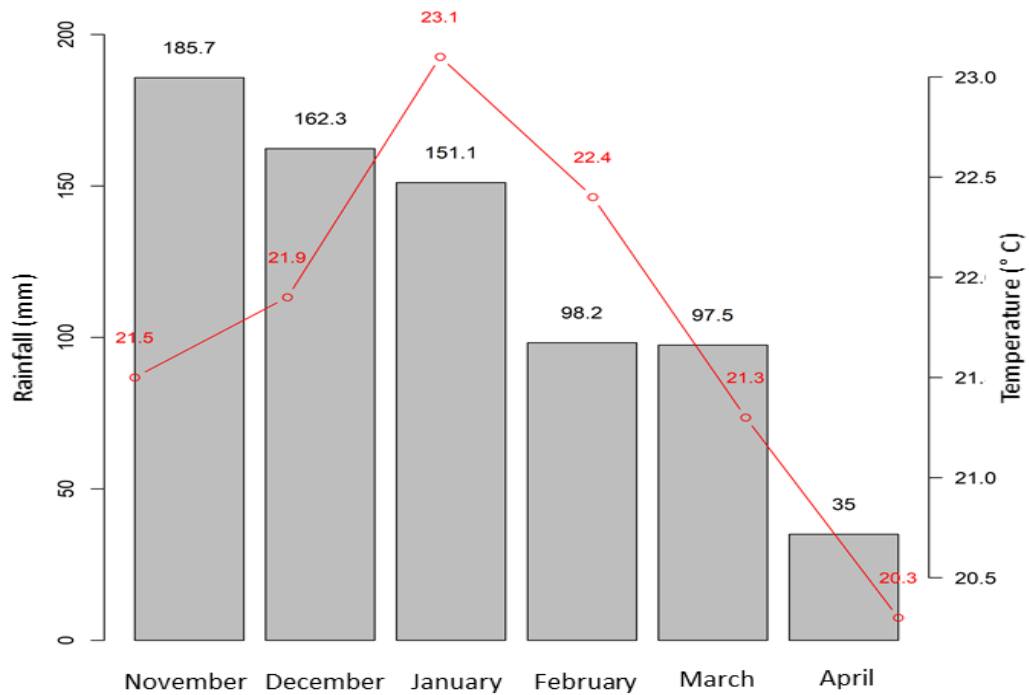


Figure 1. Average temperature and rainfall data during the experiment

According to information regarding the average temperature, it could be noted that this temperature was the same as observed by Bartelega (2018) for the same region of this study, at 22.6 Celsius degree in his experiment, which used slow-release N fertilizer or controlled fertilizers in coffee.

Taking temperature and rainfall measurements in this experiment is relevant, seeing that, according to Bartelega (2018), the availability of nutrients from controlled release fertilizers occurs mainly associated with the effect of temperature and humidity on the granule, which causes the degradation of the film that covers it. In addition, these factors are still capable of controlling the speed of N release in the soil (FAN; LI, 2010).

Ammonia volatilization

To quantify N-NH₃ volatilization, the method of semi-open static collector was used, which was developed by Nõmmik (1973) and adapted by Lara Cabezas et al. (1997). The semi-open collectors were installed on the soil in each plot, in the area of the canopy projection (fertilizer application region), immediately after N fertilization. These collectors are made of PVC tubes with a diameter of 20 cm and height of 50 cm, and they are called "chambers". Each chamber was inserted 5 cm above another PVC tube, this one being called "base", with a diameter of 20 cm and 20 cm high. The base was buried and fixed 10 cm above the ground.

Each plot consisted of 1 chamber and 3 bases, with the chamber being rotated between the bases for each sponge collection. Inside the chambers, two laminated sponge discs with a density of 0.02 g cm⁻³ and 2 cm thick were added following the tube diameter. The sponges were soaked with 80 mL of a solution containing phosphoric acid (60 ml L⁻¹) and glycerin (50 ml L⁻¹) and fixed at 0.25 and 0.40 m from the bottom edge of the chamber.

The upper sponge prevents the contamination of the lower sponge. However, the lower sponge aimed to determine the volatilized N-NH₃ and was collected at each collection and replaced by a new one. These collections were performed in the following days after the first N fertilization (DAF) as follows: 1st, 2nd, 3rd, 4th, 6th, 8th, 10th, 12th, 16th, 20th, 24th, 28th, 34th and 40th DAF; in the following days after the second N fertilization as follows: 1st, 2nd, 3rd, 4th, 8th, 12th, 16th, 20th, 26th, 32nd, 38th and 44th DAF; and in the following days after the third N fertilization as follows: 1st, 2nd, 3rd, 4th, 6th, 14th, 22nd, 30th, 38th, 46th, 54th, 62nd, 70th, 82nd, 94th and 106th DAF, totaling 42 collections in six months.

After each collection, the samples (sponges with volatilized N-NH₃) were brought to the laboratory where they were analyzed to obtain the amount of volatilized N-NH₃, according to the methodology described in Zavaschi et al. (2014). Volatilization was evaluated only for the doses of 190 and 570 kg ha⁻¹ N, totaling 24 sponge collection chambers and 72 bases.

The percentages of N-NH₃ lost (NP) were calculated using the following equation (Eq. 1), adapted from Dobbie, Smith (2003):

$$NP (\%) = (NV) / N \times 100 \quad (1)$$

In which:

NV = N-NH₃ volatilized in the plot with application of N fertilizer (kg of N-NH₃ ha⁻¹).

N = Total N applied (kg of N ha⁻¹).

Nitrogen recovery field test

A recovery field test was performed in order to quantify the amount of N that was released from each tested fertilizer. The test consists of placing a known amount of fertilizer inside a nylon net and leaving it on the soil for a pre-defined period of time. Then, the amount of N is sampled and assessed the releasing of this amount over time, as recommended by Savant et al. (1982) in N release test from controlled-release fertilizers.

The nylon net with fertilizer samples was setup into 3 replicates of each of the 3 controlled-release fertilizers, totaling 9 sets per day of collection, and 10 collections were made, totaling 90 samples. The collections were performed in the following days after nets placement in the field: 7th, 14th, 28th, 42nd, 56th, 77th, 98th, 119th, 147th and 180th. The nets had to be placed at the same day of the application when the first treatments began.

The N recovery was calculated by the difference between the total N added and the released N obtained by the difference in weight, as described by Savant et al. (1982). The fertilizer granules from each collection were manually removed from each net, separated from the soil or other materials, weighed, and crushed for further analysis. Then, a 0.2 mL aliquot was digested with potassium sulfate and sulfuric acid, followed by distillation using the Kjeldahl method and titration with acid solution.

Nitrogen and sulfur concentrations in coffee leaves

For quantifying N and S from leaves, 4 leaves per plant were collected from all 8 plants in the useful area of each plot, by collecting 2 leaves on each side of the plant, totaling 32 leaves

per plot. The collected leaves were from the middle third of the plant and were removed from the 3rd and 4th pair of leaves, counted from the first pair of leaves fully expanded at the end of the productive branch (GUIMARÃES et al., 1999).

After this procedure, the collected leaves were sent to the laboratory, washed with distilled water, dried in an oven to constant weight, and ground in a Willey mill.

Then, N digestion was performed followed by distillation by the Kjeldahl method and titration with acidic solution to determine the leaf N concentration. For the determination of S, nitroperchloric digestion was performed and the determination was made by ICP-OES. Both methods followed the methodology proposed by Malavolta et al. (1997).

Coffee yield

The harvest season occurred on 06/24/2017 (207 days after the first fertilization) and the productivity of each plot was quantified and the values obtained were extrapolated to the whole hectare, and then being possible to obtain the productivity in kg per hectare. On average, the harvest season began when there are green fruits in less than 10% of plants. All fruits of the eight plants in the area of each plot were harvested manually, and air-dried until humidity could reach 12%. Subsequently, the volume and the mass of coffee bean grains were measured.

After drying the fruits, they were processed and weighed. The mass obtained from processed coffee was corrected to 11% moisture and according to this value, the productivity in bags of processed coffee per hectare was estimated.

Data analysis

In the present study, the analysis of variance was performed using the lmer function of the lme4 package of the statistical program R (R CORE TEAM, 2019). Tukey's t test at 5% significance was used to compare treatments and regression analysis throughout the evaluation periods.

RESULTS AND DISCUSSION

Ammonia volatilization

The daily losses of N due to volatilization as well as to the application of conventional urea had peaks overlapping with the respective application periods of the fertilizer, regardless of

the N rates used (190 or 570 kg ha⁻¹). In these treatments, volatilization peaks were observed between the 2nd and 3rd days after each fertilization, and the volatilization in these days reached a maximum loss of 11.3% after the 1st fertilization according to the conventional urea treatment at dose 190 kg ha⁻¹. Among the Enhanced Efficiency Fertilizers (EEFs), the Blend showed the highest peak of daily loss was 3.7% in the 3rd day after application at 190 kg ha⁻¹ (Figure 2).

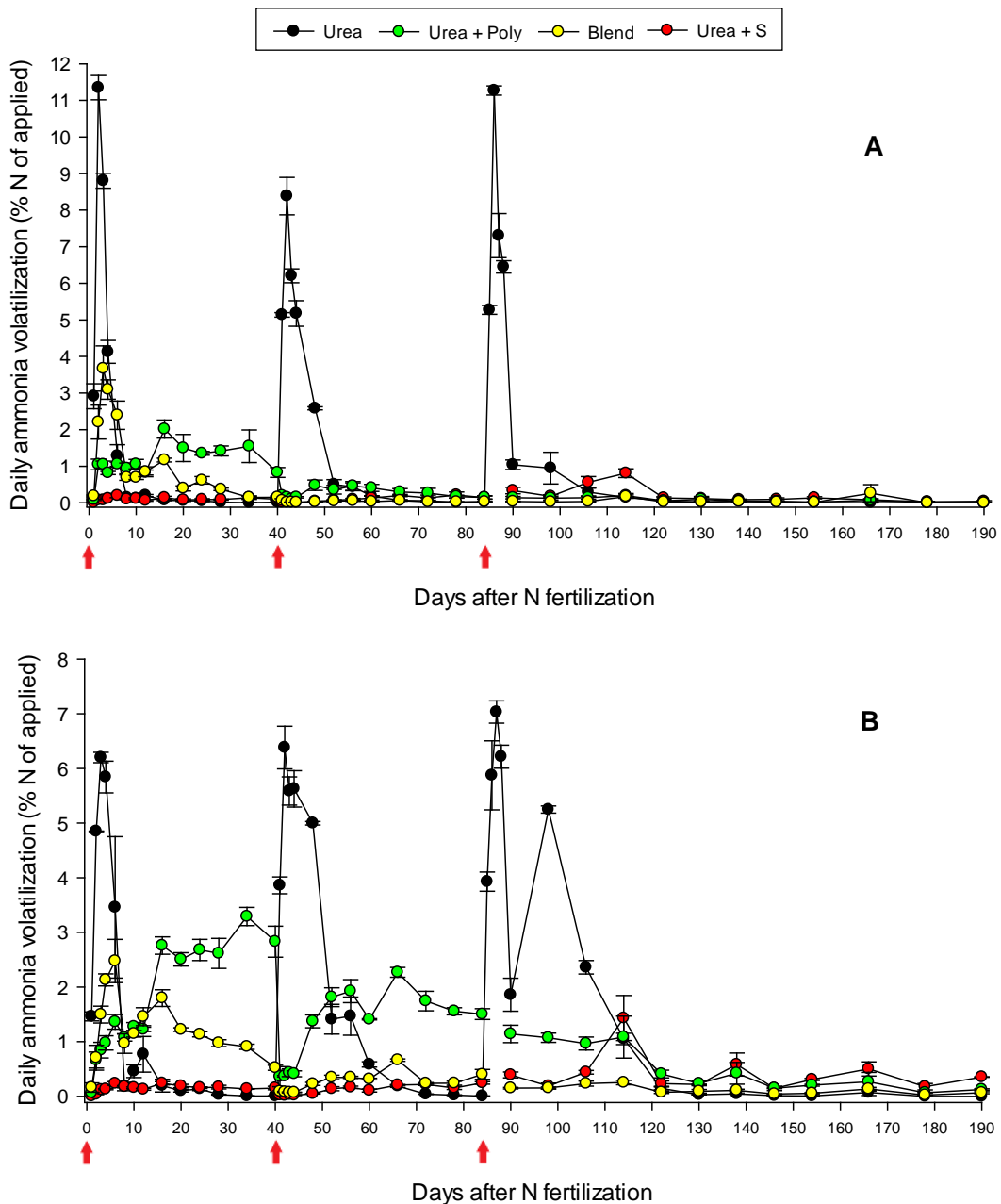


Figure 2. Daily ammonia volatilization by the application of enhanced efficiency fertilizers to the coffee crop at rates of 190 (A) and 570 (B) kg ha⁻¹ of N. The red arrows in the X axis indicate the day of fertilization for the conventional urea. The vertical bars represent the standard error of the means (n=3)

For the other tested fertilizers, the trend of N-NH₃ volatilization over time was more constant, without the occurrence of larger peaks. The lowest N loss was verified for the Urea + S in both doses, with a peak of 1.4% on the 114th day after application at 570 kg ha⁻¹.

An interesting result that could be noticed in the treatment with Urea + Polymer, regardless of dose, is that there was an increase in volatilization on the 16th day after fertilization, an increase of activity that remained until the 34th day. Some authors report that volatilization occurs until the 4th day (CHAGAS et al., 2016; BARTELEGA, 2018). However, has been also showed that the N losses may occur in later stage, which can be attributed to factors such as temperature and increasing soil pH, conditions where N volatilization is favored (DOMINGHETTI et al., 2016).

The release peaks observed in treatments that used conventional urea, regardless of the dose, were registered after the fertilizer application, emphasizing that only these treatments received the application in 3 different periods. When the first volatilization peaks are far from the first day of fertilization, the nitrogen fertilizer efficiency will be enhanced (BARTELEGA, 2018), i.e., from one to two days to happen the peak, it is enough for urea to incorporate into the soil and reduce losses due to volatilization.

In this context, Cancellier et al. (2016) pointed out that N is prone to losses in the environment, due to its complex dynamic, chemical characteristics, and changes that occur in the soil environment. N loss can be through leaching in the form of nitrate (NO₃⁻), and by volatilization in the form of ammonia (NH₃) and denitrification caused by microorganisms that leads to N losses in the form of NO, N₂O and N₂. For these factors, Ladha et al. (2005) reported that the use of fertilizer by the plant should not exceed 50%, and that higher dose increase N loss.

Several researches have shown the influence of climatic factors (temperature, air humidity, soil moisture, wind speed, and precipitation) on the volatilization rate of N-NH₃. The relative humidity and critical temperature of dissolution of the urea granules (fertilizer) is 74.3% and at 30 Celsius degrees, respectively (CANCELLIER et al., 2016; SILVA et al., 2017). After being urea dissolved in the soil, the urea is usually hydrolyzed to soil within two or three days, and losses occur by volatilization of N-NH₃ in this period (DA ROS et al., 2005), as shown in the present study.

Regarding the assessments of daily losses, the treatment Urea + Polymer applied at 570 kg ha⁻¹ was less marked for releasing N-NH₃ compared to other treatments that presented peaks of time-releasing ammonia, however, despite presenting a lower percentage of release, the

time-releasing ammonia was constant, and this treatment showed the greatest ammonia losses in terms of accumulated N-NH₃ volatilization (Figure 3).

The accumulated losses were greater at dose 570 compared to dose 190 for the different types of fertilizers used. Urea + Poly, Blend, and conventional urea at dose 570 kg ha⁻¹, from the 8th day onwards had the highest losses, with Urea + Polymer 570 showing significant loss ($p < 0.05$) in relation to the other treatments (Figure 3).

Regarding the treatment Urea + S at 570 kg ha⁻¹, it could be noted that the losses were higher after 106 days (Figure 3). Conventional urea showed an average of 30% of accumulated loss in both doses, while this loss represented 45% for Urea + Polymer at 570 kg ha⁻¹. Urea + S presented the lowest loss, comprising 8% and 5% of the applied N at 190 and 570 kg ha⁻¹, respectively.

Thus, the highest losses owing to volatilization presented by Urea + Polymer at 570 kg ha⁻¹ can be explained by the reduction in the number of applications in comparison to conventional urea. In comparison with the other enhanced-efficiency N fertilizers, the explanation for the highest volatilization losses of Urea + Polymer at 570 kg ha⁻¹ may be related to the type of coating. Sulfur-coated fertilizers (blend and Urea + S) enabled a delay in the urea dissolution process. The gradual release of N from coated urea can contribute to synchrony between nutrient release and absorption by the coffee plants.

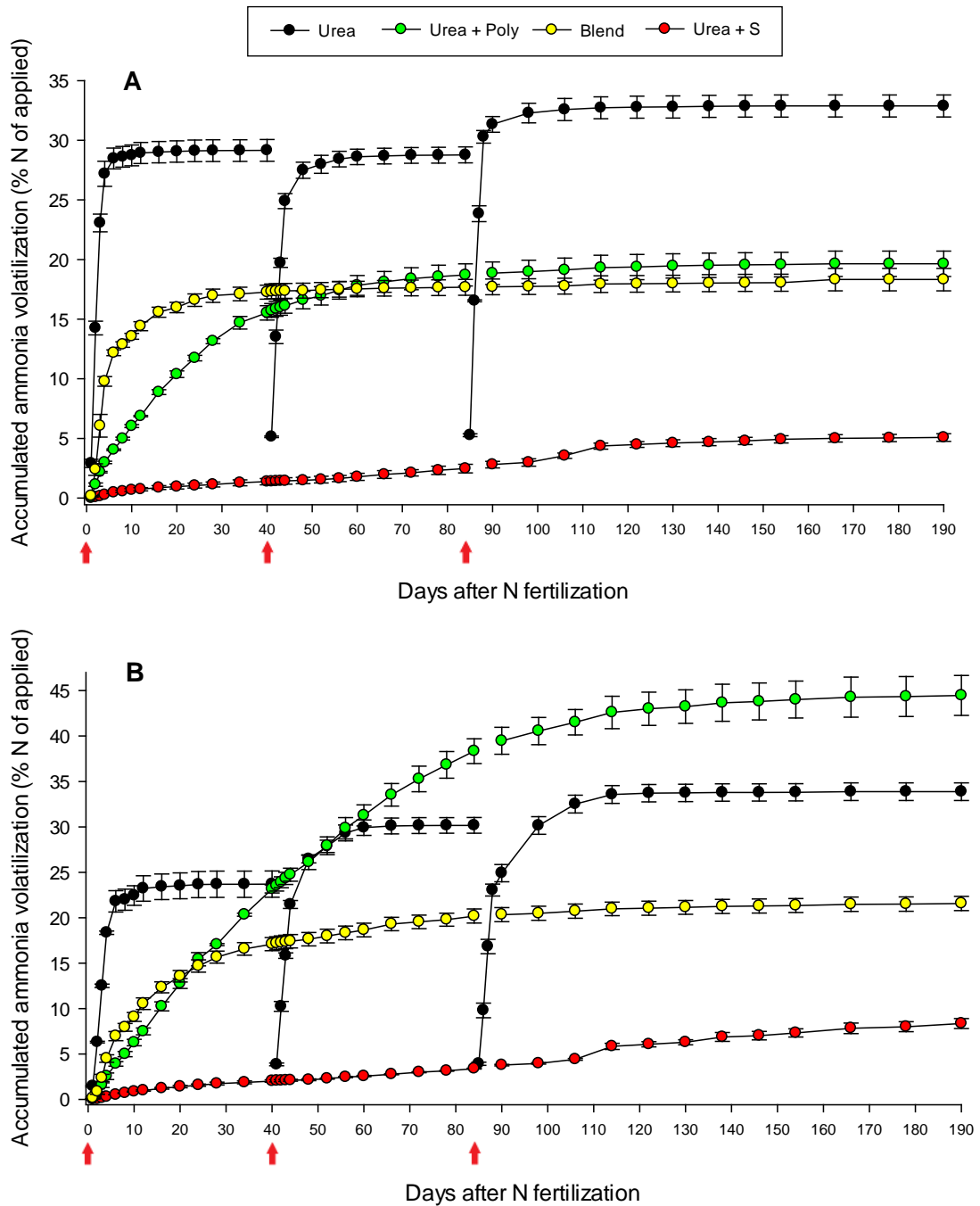


Figure 3. Accumulated ammonia volatilization by the application of enhanced efficiency fertilizers to the coffee crop at 190 (A) and 570 kg ha⁻¹ (B) doses of N. The red arrows indicate the day of fertilization. The vertical bars represent the standard error of the means (n=3)

Indeed, the high rates of losses due to volatilization can be found in the literature, and according to Dominghetti et al. (2016), the authors could report values of accumulated loss of N-NH₃ (averages of three fertilizations in coffee cultivation) when urea is surfaced applied of

up to 55% of N via N-NH₃, and these values were higher than those found in this experiment, which were around 30% by using 3 applications for conventional urea.

Nitrogen recovery field test

The Urea + S had the highest value of ($p < 0.05$) N recovered in relation to the other treatments, irrespectively of the day in which the experiment was performed (Figure 4).

Until the 42nd day after fertilization, the Urea + Polymer treatment also showed higher N recovery ($p < 0.05$) than the blend treatment. However, between 98th and 147th days after fertilization, this situation has changed, and the blend treatment showed significant ($p < 0.05$) N recovery when compared to the use of Urea + Polymer (Figure 4).

In all treatments, the nitrogen recovered levels decreased upon increasing the days after fertilization. In the last collect, 18.7%, 23.8%, and 84.6% of N were still present in the nets for the treatments as follows: Urea + Polymer, Blend, and Urea + S, respectively.

The treatment with urea + S was the fertilizer that showed the slower release of N to the soil, which delay the N availability to the plant, proving the efficiency of the S in the coating granular urea. This delayed release is efficient due to the possibility of synchronizing the N release according to plant uptake; this fact also explains the low rate of volatilization of N owing to lower N release by the fertilizer, i.e., in terms of minimizing losses due to volatilization. According to Trenkel (2010), fertilizers characterized by granule coating by S and polymers normally present a sigmoidal pattern of N release, which depends mainly on the quality and thickness of the granule coating, in which coating thickness more than the critical value may cause a slow-release N source (GUERTAL et al., 2009).

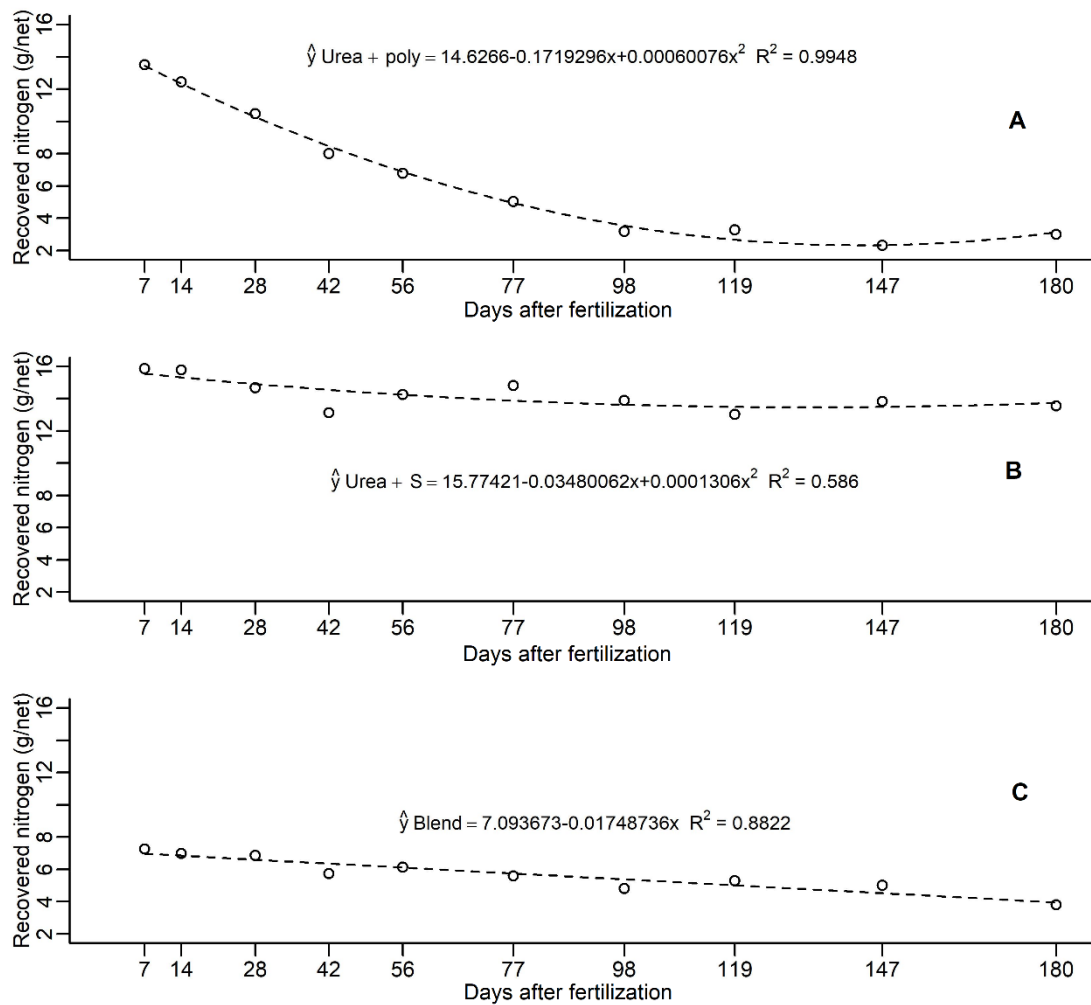


Figure 4. Average nitrogen recovered (g net^{-1}) according to days after fertilization and types of fertilizers (A: Urea + Polymer; B: Urea + S; C: Blend)

Nitrogen and sulfur concentrations in coffee leaves

For leaf N concentration, there was no significant difference for the interaction of fertilizer types versus fertilizer doses with p -value = 0.64010 (Table 3), even the fertilizers that showed greater volatilization, did not show any difference for this variable in relation to the other treatments. A similar result was also reported by Bartelega (2018), in which there were no differences in N levels in coffee leaves grown after application of controlled-release fertilizers. According to the author, this fact can be explained since fertilizations are recommended based on manuals, which already take into account the possible losses of N fertilizers, mainly through volatilization, considering that a large part of the N used in Brazilian agriculture is from conventional urea source (BARTELEGA, 2018).

According to the variation found for the N concentration, the value was from 30.37 (Urea + Polymer 380) to 32.97 g kg⁻¹ (Blend 380). These levels are within the values considered normal or higher, according to Martinez (2003), who established as normal range from 25 to 32 g kg⁻¹. Taking this range into consideration, all treatments that used the 570 dose could be above the recommended range, probably due to the high dose of this treatment.

Table 3. Average nitrogen and sulfur concentration (g kg⁻¹) and their respective standard errors in coffee leaves according to the fertilizers and doses used

Types of fertilizers ¹	Fertilizers doses ²					
	190		380		570	
	Nitrogen concentration	Sulfur concentration	Nitrogen concentration	Sulfur concentration	Nitrogen concentration	Sulfur concentration
	-----g kg ⁻¹ -----					
Urea + Poly	31.27±0.6	2.99±0.1	30.37±0.9	1.62±0.4	32.73±0.6	1.96±0.7
Urea + S	32.07±0.5	2.73±0.5	31.40±0.3	2.12±0.6	32.50±0.2	1.94±0.7
Blend	30.80±0.4	2.32±0.8	32.97±2.1	1.24±0.8	32.53±1.5	2.87±0.4
Urea	30.63±0.9	1.96±1.1	31.67±1.1	2.20±0.6	32.20±0.7	2.51±0.4

^{1,2} the interaction of fertilizer types x fertilizer doses was not significant at 5% significance by the F test.

The results showed that there was no significant difference for the interaction of fertilizer types *versus* fertilizer doses with *p*-value = 0.15072 for the S concentration (g kg⁻¹), as it was reported for N concentrations in coffee leaves (Table 3).

The levels of leaf S verified in the experiment ranged from 1.24 (Blend 380) to 2.99 g kg⁻¹ (Urea + Polymer 190). The values of minimum S concentration were below the variation verified by Bartelega (2018), who reported, after 60 days of the first fertilization, S concentrations in coffee leaves ranging from 2.36 to 2.98 g kg⁻¹. Martinez et al. (2003) considers values lower than 1.3 g kg⁻¹ as critical for S concentrations in coffee leaves. Thus, only the treatment that received the Blend at 380 kg ha⁻¹ showed S leaf concentrations below this critical value, with these concentrations for all other treatments being higher and within the levels indicated by this author, or even above this recommended range, from 1.3 to 2.5 g kg⁻¹.

Coffee yield

Coffee yield concerning the three fertilizer doses as well as the four types of fertilizers could show that the interaction was not significant by the F test of the analysis of variance (*p*<0.05) (Figure 5). Yield ranged from 47 (Urea 380) to 71 bags ha⁻¹ (Urea + S 380).

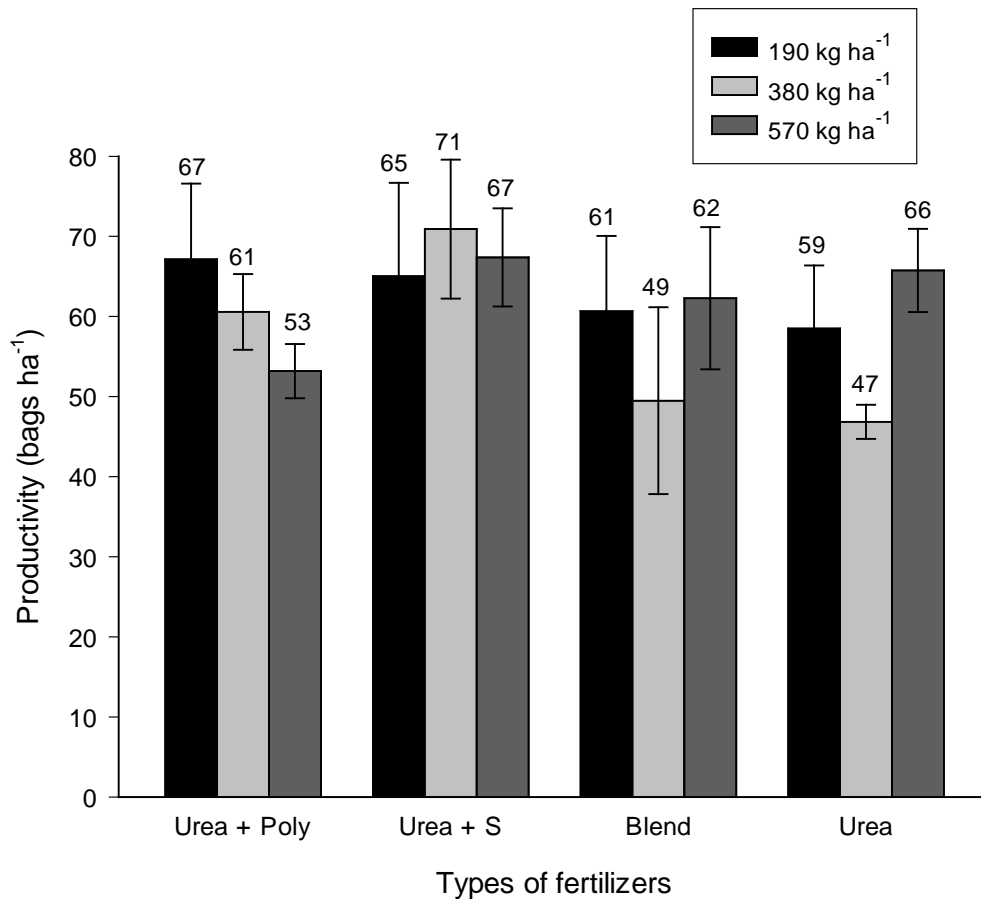


Figure 5. Average values of coffee yield (bags of 60 kg) and their respective standard errors of benefited coffee. The numbers above each column represent their respective coffee yield

Regarding the productivity with respect to volatilization, it was found that the highest N dose showed the highest N-NH₃ volatilization values, however, these results did not influence the production, as seen in figure 5. Bartelega (2018) also did not find a relationship between the amount of N losses due to volatilization and coffee productivity, i.e., the treatments in which high losses were present due to volatilization did not affect productivity.

This observation has also been reported by other authors, who report that N volatilization in the form of N-NH₃ does not limit coffee production (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016). According to Bartelega (2018), this fact occurs due to the amount of N fertilizer applied within the whole field is substantially enough for plants to grow and produce fruits, furthermore, the surplus applied was volatilized. In addition, there is also a reserve of N from organic matter, since the supply of N related to soil fertility, is characterized from medium to high values, then, the N in the soil compensates the losses of N-NH₃ by volatilization, it is required for good crop production.

CONCLUSIONS

The Urea + Polymer and the conventional urea showed the highest accumulated losses due to the volatilization of N-NH₃. Conversely, the fertilizer with urea + S promoted the lowest N-NH₃ losses by volatilization, and the volatilization did not influence the foliar nutrition of sulfur and nitrogen.

Comparing the enhanced-efficiency fertilizers, when they were applied at the highest dose (570 kg ha⁻¹), the N-NH₃ volatilization was greater than the application of the lowest dose (190 kg ha⁻¹).

The urea + S treatment was the fertilizer that maximized the delayed nitrogen availability to the plant in the test of N recovery.

There are no differences in the coffee yield among treatments, so there is no relationship between the N losses due to volatilization and coffee production in this experiment.

REFERENCES

- Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes, 1987-2014. São Paulo: ANDA, 2014. 178p.
- Abalos, D. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 189:136-144. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
- Azeem, B. et al. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal Control Release*, 181:11-21, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>
- Bartelega, L. Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta, controlada e blends para o cafeeiro. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2018. 68p. Dissertação mestrado.
- Bortoletto-Santos, R.; Ribeiro, C.; Polito, W. L. Controlled release of nitrogen-source fertilizers by natural-oil-based poly(urethane) coatings: the kinetic aspects of urea release. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 33, p. 1-8, 2016.
- Bundan, L.; Majid, N.M.A.; Ahmed, O.H.; Jiwan, M.; Kundat, F.R. Ammonia volatilization from urea at different levels of zeolite. *International journal of physical sciences*, v.6, n.34, p.7717– 7720, 2011. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.592>.

- Cancellier, E.L.; Silva, D.R.G.; Faquin, V.; Almeida, B.A.; Cancellier, L.L.; Spehar, C.R. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.2, p.15-23, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016402031115>.
- Chagas, W.F.T.; Guelfi, D.R.; Caputo, A.L.C.; Souza, T.L.; Andrade, A.B.; Faquin, V. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.5, p.497-509, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016405008916>.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira - 1ª Estimativa - Janeiro/2020. Available in: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Accessed on: July 16, 2020.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, 1999.
- Da Ros, C.O.; Aita, C.; Giacomini, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, n.4, p.799-805, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000400008>.
- Dantas, A.A.A.; Carvalho, L.G.; Ferreira, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.6, p.1862-1866, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.
- Dobbie, K.; Smith, K. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: The impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, v.9, n.2, p.204-218, 2003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00563.x>.
- Dominghetti, A.W.; Silva, D.R.G.; Guimarães, R.J.; Caputo, A.L.C.; Spehar, C.R.; Faquin, V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.2, p.1-11, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016402029615>.
- Dong, Y. J. et al. Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 16, p. 637-649, 2016.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356p.
- Fan, X.H.; Li, Y.C. Nitrogen release from slow-release fertilizers as affect by soil type and temperature. *Soil Science Society American Journal*, v.74, n.2, p.1635-1641, 2010.

- Farmaha, B. S.; Sims, A. L. Yield and protein response of wheat cultivars to polymer-coated urea and urea. *Agronomy Journal*, v. 105, p. 229-236, 2013.
- Geng, J. et al. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton. *Field Crops Research*, 184:9-16, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.001>
- Geng, J. et al. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. *Field Crops Research*, 187:87-95, 2016.
- Guertal, E.A. Slow-release Nitrogen Fertilizers in Vegetable Production: A Review. *Hort Technology*, v.19, n.1, p.19-22, 2009. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.16>.
- Guimarães, P.T.G.; Ribeiro, A.C.; Alvares, V.H. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães P.T.G.; Alvares, V.H. (Eds.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: UFV, 1999. p.289-302.
- Holcomb, J. C. et al. Effect of irrigation rate on ammonia volatilization. *Soil Science Society of American Journal*, 75:2341-2347, 2011. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0446>
- Jadon, P. et al. Volatilization and leaching losses of nitrogen from different coated urea fertilizers. *Journal of soil science and plant nutrition*, v. 18, n. 4, p. 1036-1047, 2018.
- KE, J. et al. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. *Field Crops Research*, v. 205, p.147-156, 2017.
- Ladha, J.K.; Pathak, H.; Krupnik, T. J.; Six, J.; Kessel, C. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, v.87, p.85-156, 2005. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)87003-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)87003-8).
- Lara Cabezas, W.A.R.; Korndörfer, G.H.; Motta, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.489-496, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300019>.
- Lorensini, F.; Ceretta, C.A.; Giroto, E.; Cerini, J.B.; Conti, C.R.L.L.; Trindade, M.M.; Melo, G.W.; Brunetto, G. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, v.42, n.7, p.1173-1179, 2012.
- Malavolta, E. ABC da análise de solos e folhas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.

- Martinez, H.E.P.; Menezes, J.F.S.; Souza, R.B.; Venegas, V.H.A.; Guimarães, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n.6, p.703-713, 2003.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>.
- Pan, B.; Lam, S.K.; Mosier, A.; Luo, Y.; Chen, D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.232, p.283–289, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>.
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available in: <<http://www.R-project.org/>>. Accessed on: January 25, 2019.
- Reeza, A.A.; Ahmed, O.H.; Nik Muhamad, N.A.M.; Jallohn, M.B. Reducing ammonia loss from urea by mixing with humic and fulvic acids isolated from coal. *American Journal of Environmental Science*, v.5, .3, p.420–426, 2009. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2009.420.426>.
- Rochette, P. et al. Ammonia volatilization an nitrogenretention: How deep to incorporate urea? *JournalofEnvironmental Quality*, 42:1635-1642, 2014. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.05.0192>.
- Rodrigues, J.O.; Partelli, F.L.; Pires, F.R.; Oliosi, G.; Espindula, M.C.; Monte, J.A. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, v.11, n.4, p.530-537, 2016. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8254>.
- Sanz-Cobena, A.; Misselbrook, T.H.; Juan, A.A.; Jose, I.; Vallejo, A.D.A. Inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agricultural, Ecosystems Environment*, v.126, n. 3-4, p.243-249, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.001>.
- Savant, N.K.; Datta, S.K. Nitrogen transformations in wetland rice soils. *Advances in Agronomy*, v.35, p.241-302, 1982.
- Silva, A.G.B.; Sequeira, C.H.; Sermarini, R.A.; Otto, R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. *AgronomyJournal*, v.109, n.1, p.1-13, 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0200>.

- Silva, E. F. et al. Desempenho de ureia revestida compoliuretano como fertilizante de *Phaseolus vulgaris* L. *Matéria*, v. 24, n. 3, e12268, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0725>
- Sivasakthy, K.; Gnanavelrajah, N. Organic nitrogen sources and nitrification inhibitors on leaching and phyto-accumulation of nitrate and yield of *Amaranthus polygamous*. *World Journal of Agriculture Science*, v. 8, p. 208-211, 2012.
- Stafanato, J.B.; Goulart, R.S.; Zonta, E.; Lima, E.; Mazur, N.; Pereira, C.G.; Souza, H.N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n. 3, p.726-732, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300019>.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1995. 174p.
- Timilsena, Y.P. Adhikari, R.; Casey, P.; Muster, T.; Gill, H.; Adhikari, B. Enhanced efficiency fertilizers: A review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.95, p.1131-1142, 2014. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
- Tomaszewska, M.; Jarosiewicz, A.; Karakulski, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. *Desalination*, v. 146, p. 319-323, 2002.
- 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. 160p.
- Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O.; Gava, G.J.C.; Penatti, C.P.; Bologna, I.R.; Faroni, C.E.; Franco, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.2, p.249-256, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200014>.
- Zavashi, E.; Faria, L.A.; Vitti, G.C.; Nascimento, C.A.C.; Moura, T.A.; Vale, D.W.; Mendes, F.L.; Kamogawa, M.Y. Volatilização de amônia e componentes da produção do milho com a aplicação de ureia revestida com polímeros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.4, p.1200-1206, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400016>.

ARTIGO 2

Artigo preparado de acordo com as normas da Revista Ciência e Agrotecnologia

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA E SEUS BLENDS APLICADOS EM LAVOURA CAFEIEIRA

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo investigar a volatilização de nitrogênio (N) na forma de amônia (N-NH₃) e a produtividade do cafeeiro com diferentes fertilizantes nitrogenados. O experimento foi realizado em fazenda de café em Lavras - MG, Brasil, na safra 2015/2016 e 2016/2017. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos completos inteiramente casualizados com 10 tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas distribuídas aleatoriamente. Os tratamentos foram aplicados em dose única (1x), dois (2x) ou três parcelamentos (3x), são eles: Ureia (3x), Nitrato de Amônio (1x), Nitrato de Amônio (3x), Ureia com Matriz Orgânica (3x), Ureia Recoberta com Poliuretano (2x), Blend “a” = 50% Ureia + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend “b” = 50% Nitrato de amônio + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend “c” = 50% Ureia NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x), Blend “d” = 50% Nitrato de amônio + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m (1x) e o controle (sem aplicação de N). Foram avaliados a volatilização diária e acumulada de N-NH₃, a eficiência agronômica e a produtividade do cafeeiro. A utilização de Nitrato de Amônio promoveu as menores ($p < 0,05$) perdas de N-NH₃ por volatilização. Os tratamentos que utilizaram Ureia e Blend “a” como fertilizantes apresentaram maior volatilização acumulada nas duas safras avaliadas. Tal resultado do Blend “a” foi devido à aplicação em dose única, pois, este blend apresenta ureia convencional em 50% de sua composição. Na eficiência agronômica, os tratamentos Nitrato de Amônio, Blend “b” e Blend “d” obtiveram os melhores resultados. Todos os tratamentos utilizados proporcionam aumento da produtividade do cafeeiro, embora os que mais se destacaram foram os que utilizaram o Nitrato de Amônio (3x) e o Blend “b” nas duas safras. Em conclusão, para haver melhor aproveitamento do fertilizante aplicado, maior produtividade do

cafeeiro e menor volatilização, é recomendado a utilização do Nitrato de Amônio (3x) e o Blend “b”.

ABSTRACT

This work aimed to investigate the volatilization of nitrogen (N) in the form of ammonia (N-NH₃) as well as the productivity of coffee that received different N fertilizers. The experiment was carried out on a coffee farm in Lavras, in the state of Minas Gerais (MG), in Brazil, in the cropping seasons of 2015/2016 and 2016/2017. A completely randomized block design including 10 treatments and three replicates was used, totaling 30 plots randomly distributed. The doses of fertilizers were applied in a single application (1x), with two (2x), or three (3x) fertilization, as follows: Urea (3x); Ammonium Nitrate (1x); Ammonium Nitrate (3x); Urea with Organic Matrix (3x); Urea Covered with Polyurethane (2x); Blend “a” = 50% Urea + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “b” = 50% Ammonium nitrate + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “c” = 50% Urea NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m (1x); Blend “d” = 50% Ammonium nitrate + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m (1x); and the control (without N application). The parameters evaluated were as follows: daily and accumulated volatilization, agronomic efficiency, and productivity. The use of Ammonium Nitrate promotes the lowest ($p < 0.05$) loss of N-NH₃ through volatilization. The treatments that used Urea and Blend "a" as fertilizers presented the highest accumulated volatilization in the two evaluated harvests. This result can be explained due to the fact that the Blend “a” was applied in a single application and it has 50% of conventional urea in its composition. In agronomic efficiency, the Ammonium Nitrate, Blend "b", and Blend "d" treatments showed the best results. All tested treatments provided an increase in coffee productivity, although the highlighted fertilizers were those that used Ammonium Nitrate (3x) and Blend “b” in both harvests. In conclusion, aiming to use efficiently the fertilizer applied, to increase coffee productivity and less volatilization, it is recommended to apply Ammonium Nitrate (3x) and Blend “b”.

INTRODUÇÃO

A ureia é a fonte de nitrogênio (N) mais utilizada na agricultura mundial (IFA, 2020) por apresentar vantagens em relação a outras fontes do nutriente, como ser de fácil fabricação, elevada concentração do nutriente e menor preço por unidade de N. No entanto, a ureia aplicada no solo está sujeita a elevadas perdas de N por volatilização de amônia (NH_3) (KOUJEGA et al., 2019), perdas essas que podem chegar de 20 a 30% do N aplicado (CANTARELLA et al., 2008). Porém, este valor pode variar de acordo com a cultura e condições edafoclimáticas. O uso eficiente de N é essencial para sustentar a produtividade agrícola, tornando necessárias pesquisas que possibilitem aumentar a eficiência do uso do N na produção agrícola (JADON et al., 2018).

Após a aplicação da ureia no solo, ela é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio, que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila, elevando o pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Parte do amônio se converte em NH_3 , que pode se perder para a atmosfera por volatilização, caso a ureia não seja incorporada ao solo (ROCHETTE et al., 2009a; 2009b). Para tentar minimizar essas perdas ocorridas, alguns compostos químicos têm sido testados com o objetivo de diminuir a velocidade de hidrólise da ureia, por meio da inibição ou diminuição da atividade da urease, dos quais podemos citar o NBPT (tiofosfato de N-(nbutil) triamida) (CANTARELLA et al., 2008; ROCHETTE et al., 2009b; TASCIA et al., 2011; LANA et al., 2018; KOYAMA, 2019). Outro fertilizante bastante utilizado principalmente na cultura do café é o nitrato de amônio (NH_4NO_3) com característica peculiar de ter perda de N muito baixa em relação aos demais fertilizantes (CHAGAS et al., 2016).

O recobrimento de ureia também tem sido utilizado como uma tecnologia promissora capaz de reduzir a volatilização de N (DONG et al., 2016; JADON et al., 2018). Algumas pesquisas foram realizadas para testar diversos materiais de revestimento, contendo inibidores de urease, polímeros biodegradáveis e outros polímeros (FARMAHA; SIMS, 2013; JADON et al., 2018), porém o alto custo e os riscos limitam suas aplicações no campo (SIVASAKTHY; GNANAVELRAJAH, 2012).

O fornecimento adequado de N para o cafeeiro deve ser capaz de suprir as demandas dos frutos e dos órgãos vegetativos (LAVIOLA et al., 2008). Segundo Ke et al. (2017), a aplicação de fertilizantes de eficiência aumentada pode não necessitar de parcelamentos de doses, como recomenda-se para fertilizantes nitrogenados convencionais. E com isso, pode

promover menor custo com mão de obra quando comparado a adubação nitrogenada com fertilizantes convencionais, como ureia e nitrato de amônio (AZEEM et al., 2014).

Outra técnica para auxiliar o melhor aproveitamento do N aplicado em culturas é a combinação ou misturas (blends) de fertilizantes. Eles possuem tempos de liberação variáveis, podendo resultar na diminuição de custos com mão de obra, por redução do número de aplicações. Podem ter perdas reduzidas devido à volatilização de N, lixiviação e desnitrificação, além da liberação de nutrientes em sincronismo com a curva de absorção da cultura ao longo do ciclo, o que pode resultar em maior eficiência no uso de N (CHAGAS et al., 2016; GARCIA et al., 2018; FREITAS, 2020). Isso se deve aos benefícios dos fertilizantes nitrogenados de maior eficiência quando comparados aos convencionais, além de proporcionar melhorias como aumento de rendimento e qualidade do produto (NAZ; SULAIMAN, 2016; SILVA et al., 2017). Na produção de café, há a necessidade de mais estudos para verificar os benefícios da aplicação de blends de fertilizantes.

Estudos relacionados à fertilização de cafezais têm importante papel na agricultura, pois no cenário nacional, a produção cafeeira tem grande destaque no desenvolvimento econômico e social das diversas regiões produtoras. Além do uso de mão de obra e fixação do homem ao campo, a cadeia do café participa na geração de empregos em todas as etapas de produção, obtenção de divisas externas e arrecadação de impostos (SENEDUANGDETH et al., 2018). Em 2019, o Brasil beneficiou um total de 49,3 milhões de sacas de café arábica e conilon (CONAB, 2019).

Visando aumentar a eficiência da adubação nitrogenada no cafeeiro, bem como como disponibilizar para a planta a quantidade de N necessária, este estudo busca por um fertilizante nitrogenado ou blend de fertilizantes que permita suprir a demanda nutricional e aumentar a produtividade do cafeeiro, com a menor perda para o ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em dois anos agrícola, nas safras 2015/16 e 2016/17, em lavoura de café plantada em 2011, variedade Catuaí amarelo, na Fazenda Pedra bonita, no município de Lavras-MG, com 4.081 plantas por hectare (3,5 m x 0,7 m). O solo predominante na área, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é o Latossolo Vermelho Distroférico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo

(EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA, 2018). Antes da instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 0,20 m para caracterização (Tabela 1). De maneira geral e considerando-se a classificação de fertilidade para o solo do cerrado, esse solo apresenta média fertilidade.

Tabela 1 - Atributos químicos e textura do solo na camada de 0-0,20 m. Lavras, MG, 2015.

Característica	Unidade	Camada de solo 0-0,20 m
pH	-	6,6
P-rem	mg L ⁻¹	12,5
P (Mehlich-1)	mg dm ⁻³	5,5
K	mg dm ⁻³	110,0
S	mg dm ⁻³	21,0
B	mg dm ⁻³	0,3
Zn	mg dm ⁻³	4,8
Cu	mg dm ⁻³	2,0
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	3,8
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,4
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,0
(H+Al)	cmol _c dm ⁻³	1,6
Soma de Bases (SB)	cmol _c dm ⁻³	5,5
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	5,5
CTC potencial (T)	cmol _c dm ⁻³	7,1
Saturação por bases (V)	%	77,4
Saturação por alumínio (m)	%	0,0
M.O.	dag kg ⁻¹	3,2
Argila	dag kg ⁻¹	60,0
Silte	dag kg ⁻¹	21,0
Areia	dag kg ⁻¹	19,0

Referências: pH em água – proporção 1:25; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = extrator de KCl (1 mol L⁻¹); P, K, Zn e Cu = extrator Mehlich 1; B = extrator água quente; S = extrator fosfato monocálcico em ácido acético; Matéria orgânica: oxidação com Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; textura do solo (areia, silte e argila) foi determinada pelo método de Bouyoucos.

O clima da região é do tipo Cwb, clima tropical úmido segundo classificação de Köppen (DANTAS et al., 2007). O clima apresenta duas estações bem definidas, sendo uma seca, que corresponde aos meses de maio a setembro, e outra chuvosa, relativa ao período de outubro a abril. A precipitação média, temperatura e umidade do ar são apresentadas em

médias do período de 2015 a 2017, observados em estação agrometeorológica instalada a 50 metros do local do experimento.

Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos completos inteiramente casualizados com 10 tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas distribuídas aleatoriamente. As parcelas foram constituídas de 3 linhas com 12 plantas de café cada, sendo a área útil da parcela as 8 plantas centrais da linha central, sendo as duas linhas externas e as duas últimas plantas de cada extremidade das linhas consideradas como bordadura. Os tratamentos utilizados, bem como o número de parcelamentos para a aplicação da dose recomendada ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados no experimento e a quantidade de parcelamentos.

Tratamentos	Fonte	Número de aplicações*
T1	Ureia	3 parcelamentos
T2	Nitrato de amônio	1 parcelamento
T3	Nitrato de amônio	3 parcelamentos
T4	Ureia com matriz orgânica	3 parcelamentos
T5	Ureia recoberta com poliuretano	2 parcelamentos
T6	Blend “a” = 50% Ureia + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m	1 parcelamento
T7	Blend “b” = 50% Nitrato de amônio + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m	1 parcelamento
T8	Blend “c” = 50% Ureia NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m	1 parcelamento
T9	Blend “d” = 50% Nitrato de amônio + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m	1 parcelamento
T10	Controle	Sem adubação

* Número de parcelamentos para a aplicação da dose recomendada, de 300 kg ha^{-1} , segundo Guimarães et al. (1999).

As características dos fertilizantes utilizados na formação dos tratamentos foram classificadas da seguinte forma: I - Fertilizantes convencionais: A) Ureia - ureia granulada com 45% de N e B) Nitrato de amônio - granulado com 31% de N; II – Fertilizante estabilizado: C) Ureia-NBPT - ureia granular com 45% de N + 530 mg kg^{-1} NBPT; III – Fertilizante de liberação controlada: D) Multicote 2m® - contém 41% de N e 2% de K_2O e E) Multicote 4m® - com 40% de N e 2% de K_2O , ambos Multicote produzido por Haifa® e

envolvido por poliuretano; seu tempo de liberação é de até 2 e 4 meses, respectivamente. F) Nitrocote 9m® - com 45% de N, grânulos completamente recobertos pelo polímero elástico Poligen, produzido pela Compo Expert®. G) Ureia + Poliuretano: a liberação de ureia através da membrana de poliuretano é influenciada pela quantidade de cadeias laterais de alquilo, bem como pelo teor de uretano (WATANABE et al., 2009), contendo 44% de N. A ureia 2 m, a ureia 4 m a ureia 9 m, são assim chamadas porque o grânulo é revestido por polímero que protege a liberação de N por período de 2, 4 e 9 meses, respectivamente.

Avaliações

Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia

Para quantificação da volatilização de amônia foi utilizado o método do coletor estático semiaberto, desenvolvido por Nõmmik (1973) e adaptado por Lara Cabezas et al. (1999). Os coletores semiabertos foram instalados em cada parcela, na área da projeção da copa (região de aplicação do fertilizante), imediatamente após a adubação nitrogenada de cobertura. Esses coletores são constituídos por tubos de PVC com 20 cm de diâmetro e 50 cm de altura, chamados de “câmaras”. Cada câmara foi inserida a 5 cm sobre outro tubo de PVC, este denominado “base”, que tem 20 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A base foi enterrada e fixa a 10 cm no solo.

Dentro das câmaras foram adicionados dois discos de esponja laminada com densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$ e 2 cm de espessura cortados com o mesmo diâmetro do tubo, ou seja, 20 cm. As esponjas foram embebidas com 80 mL de solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) e glicerina nos volumes de 60 ml L^{-1} e 50 ml L^{-1} , respectivamente e fixadas nas alturas de 0,25 e 0,40 m da borda inferior da câmara. Cada parcela foi constituída por 1 câmara e 3 bases, sendo que a câmara foi rotacionada entre as bases a cada coleta de esponja.

A esponja superior possui a função de evitar a contaminação da espuma inferior. A esponja inferior é utilizada para determinação da amônia volatilizada, recolhida a cada coleta e colocada uma nova no lugar, essas coletas foram realizadas nos seguintes dias após a adubação nitrogenada: 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 8º, 10º, 12º, 14º, 19º, 24º e 29º e repetida na safra subsequente.

Após a coleta, as amostras (esponjas com o N volatilizado) foram encaminhadas ao laboratório onde foram analisadas para a obtenção da quantidade de amônia volatilizada, conforme metodologia descrita em Zavaschi (2010).

A porcentagem de N-NH₃ perdida (NP) foi calculada utilizando a seguinte equação (Adaptado de DOBBIE; SMITH, 2003):

$$NP (\%) = (N_v - N_{\text{CONT}}) / N \times 100, \text{ onde:}$$

N_v = N-NH₃ volatilizado na parcela com aplicação de fertilizante nitrogenado (kg de N-NH₃ ha⁻¹).

N_{CONT} = N-NH₃ volatilizado na área sem aplicação de fertilizante nitrogenado (controle); (kg de N-NH₃ ha⁻¹).

N = Total de N aplicado (kg de N ha⁻¹)

Produtividade do cafeeiro

Por ocasião da colheita de cada ano agrícola, os valores de produtividade (sacas de 60 kg) foram calculados com base na área experimental das parcelas. Iniciou-se a colheita quando em média cada planta apresentou menos de 10% dos frutos ainda verdes. Os frutos foram colhidos manualmente e encaminhados para secagem até atingirem umidade em torno de 12%. Posteriormente, foram avaliados o volume e a massa de frutos secos (“café em coco”).

O beneficiamento dos frutos foi realizado e a produção das parcelas foi novamente pesada após procedimento de determinação da umidade em estufa a 105 °C por 24h. A massa obtida de café beneficiado foi corrigida para 11%, umidade boa para armazenagem e, posteriormente, foi determinada a produtividade em sacas de café beneficiado por hectare.

Eficiência Agronômica do nitrogênio aplicado (EA)

Foi calculada a EA do N aplicado através da diferença entre a produção de grãos com adubação e a produção de grãos sem adubação, ambos em kg grãos ha⁻¹, em relação à dose de N (em kg) aplicada por hectare. Obtendo-se o resultado em quilogramas de grãos produzidos para cada quilograma de N aplicado (kg grãos kg N⁻¹) conforme descrito por Fageria et al. (2010).

$$EA = \frac{\text{Produção de grãos com adubação} - \text{Produção de grãos sem adubação}}{\text{Dose de N}}$$

Monitoramento de dados climáticos

Durante o período de cada adubação e coleta de dados, foi registrada a umidade relativa do ar e temperatura através de sensores, e pluviosidade através de um pluviômetro instalado próximos a área experimental.

Análise dos dados

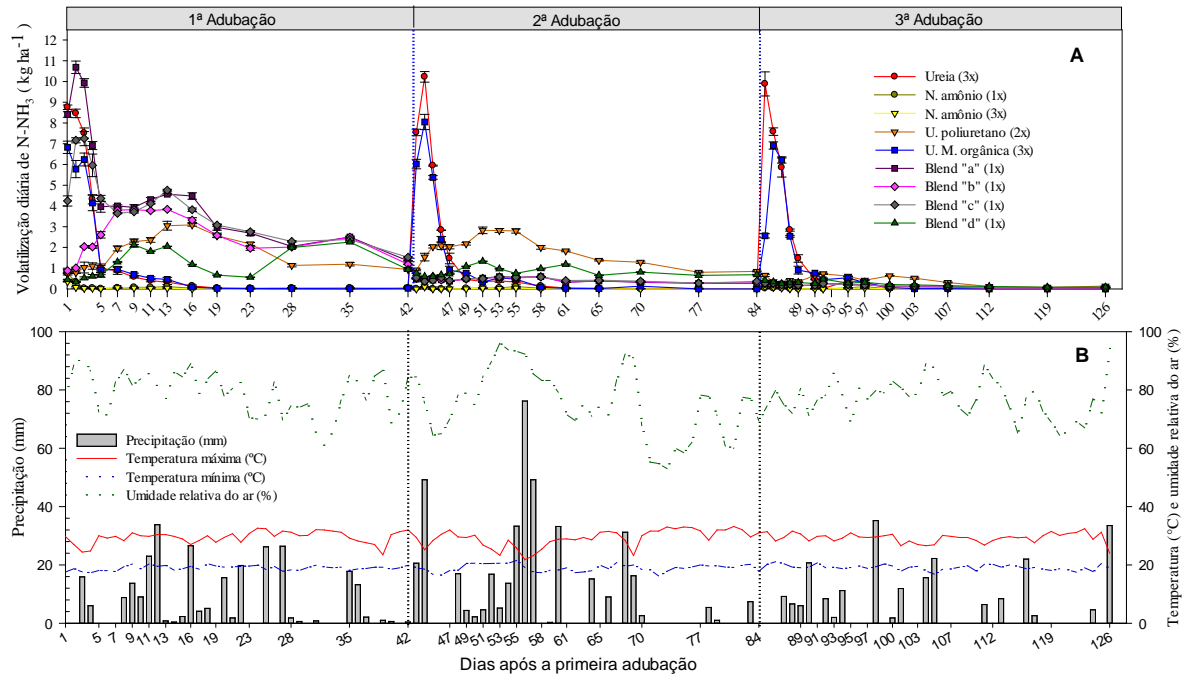
Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o software SISVAR 5.6® (FERREIRA, 2019), com a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os gráficos foram feitos usando a função corrplot do pacote corrplot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia

Na safra 2015/2016, nas perdas diárias de N por volatilização, foi observado um pico de liberação entre o primeiro e o terceiro dia após a primeira adubação nos tratamentos ureia, ureia com matriz orgânica, Blend “a” e no Blend “c”. Nestes tratamentos foram verificadas perdas acima de 6 kg ha^{-1} por dia, superior aos demais tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 1). Nos tratamentos citados acima, este pico de volatilização caiu rapidamente até o quinto dia após a adubação, principalmente nos tratamentos ureia e ureia com matriz orgânica, que obteve volatilização abaixo de 1 kg ha^{-1} após este 5º dia (Figura 1).

Figura 1 - Volatilização diária de N-NH₃ (A) pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café e dados climáticos do período (B). Safra 2015/16. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3).



O tratamento Blend “a” apresentou maior ($p<0,05$) pico de volatilização do N-NH₃ na avaliação em quilogramas de N perdidos, alcançando perda de aproximadamente 11 kg ha⁻¹ entre o primeiro e segundo dia após a fertilização. Em termos percentuais, a Ureia teve o maior pico de volatilização, pois perdeu em torno de 9% no pico máximo (9 kg ha⁻¹). Vale ressaltar que esta perda da Ureia é sobre 100 kg ha⁻¹ aplicados em cada um dos 3 parcelamentos. Já, o pico do Blend “a” foi de 3,6%, pois este é calculado sobre os 300 kg ha⁻¹ aplicados em dose única. A alta volatilização do Blend “a” em relação aos demais blends logo após a aplicação se deve ao fato deste apresentar 50% de ureia convencional em sua composição.

Os tratamentos Ureia + Poliuretano, Blend “b” e Blend “d” apresentaram volatilização de N-NH₃ mais lenta, atingindo um pico máximo de perda de 3 kg ha⁻¹ por dia somente após o sétimo dia subsequente a fertilização (Figura 1). Já, os tratamentos contendo nitrato de amônio, com 1 ou 3 aplicações, apresentaram volatilização de N-NH₃ abaixo de 1 kg ha⁻¹ após a fertilização e se mantiveram constante por todo experimento (Figura 1).

Essa variação na volatilização de N-NH₃, tanto na quantidade quanto no dia que ocorre após a fertilização, já foi relatada por outros autores, e pode ocorrer até o quarto dia (CHAGAS et al., 2016; BARTELEGA, 2018). No entanto, alguns autores citam perdas

posteriores e atribuem essa característica a fatores como temperatura e pH do solo, os quais, quando elevados, favorecem a volatilização (DOMINGHETTI et al., 2016).

Durante o experimento, as temperaturas máximas variaram em torno de 25 a 30° C e a mínima em torno de 20° C. As médias de temperatura estão dentro dos valores analisados por Bartelega (2018), que registrou uma média de 22,6 ° C em seu experimento, com adubação nitrogenada de fertilizantes de liberação lenta ou controlada no café e obteve resultados semelhantes a este experimento.

Para o tratamento utilizando Blend “c” que utilizou a mistura de 50% Ureia NBPT + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m apresentou o pico de volatilização de N-NH₃ até o terceiro dia, com uma perda de 7 kg ha⁻¹, sendo posteriormente a este período observado diminuição até o quinto dia, após o qual se estabilizou com perda de aproximadamente 4 kg ha⁻¹ por dia até o 16° dia após a fertilização (Figura 1), sendo também observada alta perda acumulada (Figura 2).

Os tratamentos, Ureia, Nitrato de Amônio e Ureia + Matriz Orgânica receberam 3 fertilizações durante o experimento, Ureia + Poliuretano recebeu 2 fertilizações e os demais tratamentos receberam somente uma fertilização. Dentre os tratamentos que receberam 3 fertilizações, a Ureia e a Ureia + Matriz Orgânica apresentaram picos de liberação após as fertilizações até o terceiro dia, sendo depois desse período, observada a queda da volatilização. Vale destacar que os picos de volatilização nas 3 fertilizações foram maiores para o tratamento com a Ureia ($p < 0,05$) em relação à utilização da Ureia + Matriz Orgânica (Figura 1).

O dia em que ocorrem os picos de volatilização é importante, porque, quanto mais distantes estão os primeiros picos de volatilização desde o dia da primeira fertilização, melhor a eficiência do fertilizante nitrogenado (Bartelega, 2018).

Nesse contexto, Cancellier et al. (2016) afirmam que o N é propenso a perdas no ambiente, devido à sua dinâmica complexa e às características e mudanças que ocorrem no solo. Pode ser perdida pela lixiviação na forma de nitrato (NO₃⁻), pela volatilização na forma de amônia (NH₃) e pela desnitrificação causada por microorganismos que levam a perdas de N na forma de NO, N₂O e N₂. Devido a esses fatores, Ladha et al. (2005) relataram que o uso de fertilizantes pela planta não excede 50% e, ainda assim, afirmaram que quanto maior a dose aplicada, maior a perda.

A fertilização com nitrato de amônio, independente do número de fertilizações utilizadas (1x ou 3x) não apresentou volatilização significativa após as aplicações, se mantendo constantemente abaixo de 1 kg ha^{-1} de volatilização por dia (Figura 1).

Já, a segunda fertilização com Ureia + Poliuretano apresentou aumento gradual até o nono dia após a segunda aplicação, chegando a volatilização máxima de 3 kg ha^{-1} por dia, sendo posteriormente marcado pela queda gradativa.

Parece que o aumento e a queda gradativa da volatilização do N-NH_3 no tratamento com Ureia + Poliuretano coincidem com a variação da umidade e com a precipitação. De acordo com Bartelega (2018), a realização de medições de temperatura e precipitação é importante, pois, a disponibilidade de nutrientes dos fertilizantes de liberação controlada ocorre principalmente pela ação da temperatura e umidade no grânulo, o que causa a degradação do filme que o recobre. Além disso, esses fatores ainda são capazes de controlar a velocidade de liberação de N no solo (FAN; LI, 2010).

Algumas pesquisas têm relatado a influência de fatores climáticos (temperatura, umidade do ar, umidade do solo, velocidade do vento e precipitação) na taxa de volatilização do N-NH_3 . A umidade relativa e a temperatura crítica de dissolução dos grânulos de ureia (fertilizante) é de 74,3% e 30°C , respectivamente (CANCELLIER et al., 2016; SILVA et al., 2017). De acordo com da Ros et al. (2005) depois que a ureia é dissolvida no solo, geralmente é hidrolisada em dois ou três dias, com perdas devido à volatilização do N-NH_3 ocorrendo nesse período, como foi observado neste estudo.

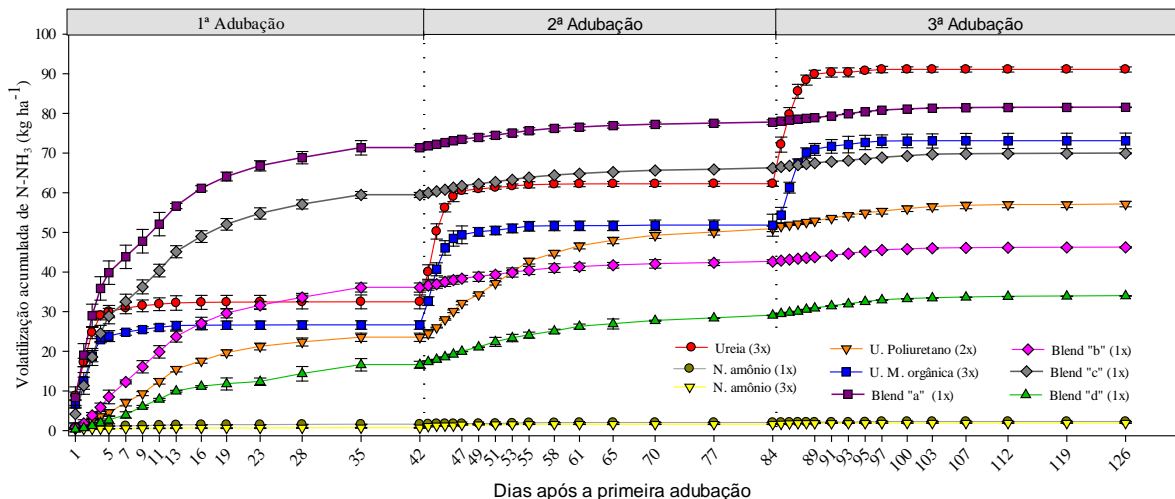
Em relação à volatilização acumulada de N-NH_3 pela aplicação de fertilizantes, foi verificado, no 42º dia após a primeira aplicação, que a perda acumulada total de N-NH_3 seguiu a ordem decrescente: Blend “a” > Blend “c” > Blend “b” > Ureia > Ureia + Matriz Orgânica > Ureia + Poliuretano > Blend “d” > Nitrato de Amônio (3x) > Nitrato de Amônio (1x) (Figura 2). Porém, após este registro, alguns tratamentos receberam a segunda e a terceira aplicação. Isso fez com que na avaliação final ao 126º dia após a fertilização inicial, ficasse na seguinte ordem decrescente: Ureia > Blend “a” > Ureia + Matriz Orgânica > Blend “c” > Ureia + Poliuretano > Blend “b” > Blend “d” > Nitrato Amônio (3x) > Nitrato Amônio (1x). Nesse sentido, vale destacar o tratamento Blend “a”, que mesmo recebendo apenas uma aplicação permaneceu com uma das maiores volatilizações acumuladas de N-NH_3 , apresentando perdas menores apenas em relação a ureia convencional (Figura 2).

O resultado apresentado pela utilização de Nitrato de Amônio como fertilizante em cafeeiro também foi observado no trabalho desenvolvido por Chagas et al. (2016). A sua

utilização não promoveu picos diários de perda, nem perdas acumuladas de N-NH₃, onde registraram perda acumulada de N-NH₃ na 1ª fertilização de 0,9 kg N ha⁻¹, sendo a menor (p<0,05) entre os fertilizantes aplicados pelos autores, conforme visualizado neste experimento.

O N na forma de nitrato de amônio contém N amoniacal, aplicados em solos com pH inferior a 7,0, caso deste trabalho, não liberam N por volatilização, pois não favorecem o aumento do pH no local onde são aplicados, mesmo quando aplicados sobre restos de cultura (CANTARELLA et al., 1999).

Figura 2 - Volatilização acumulada de N-NH₃ pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café. Safra 2015/16. As barras verticais representam o erro padrão da média (n=3).



Na safra de 2016/2017, os tratamentos com Ureia e Blend “a” apresentaram o mesmo comportamento de volatilização diária de N-NH₃ observado para a safra de 2015/2016, com pico de liberação até o terceiro dia após a aplicação. Após este período houve decréscimo até o sexto dia, sendo posteriormente observado liberação mais constante (Figura 3). Vale ressaltar, nesta safra, os picos de perdas diárias alcançados por estes dois tratamentos foram maiores do que os da safra anterior. Em 2016/2017 as perdas chegaram próximo de 16 kg ha⁻¹ (Figura 3), enquanto em 2015/2016 chegou a perda máxima de 11 kg ha⁻¹ (Figura 1).

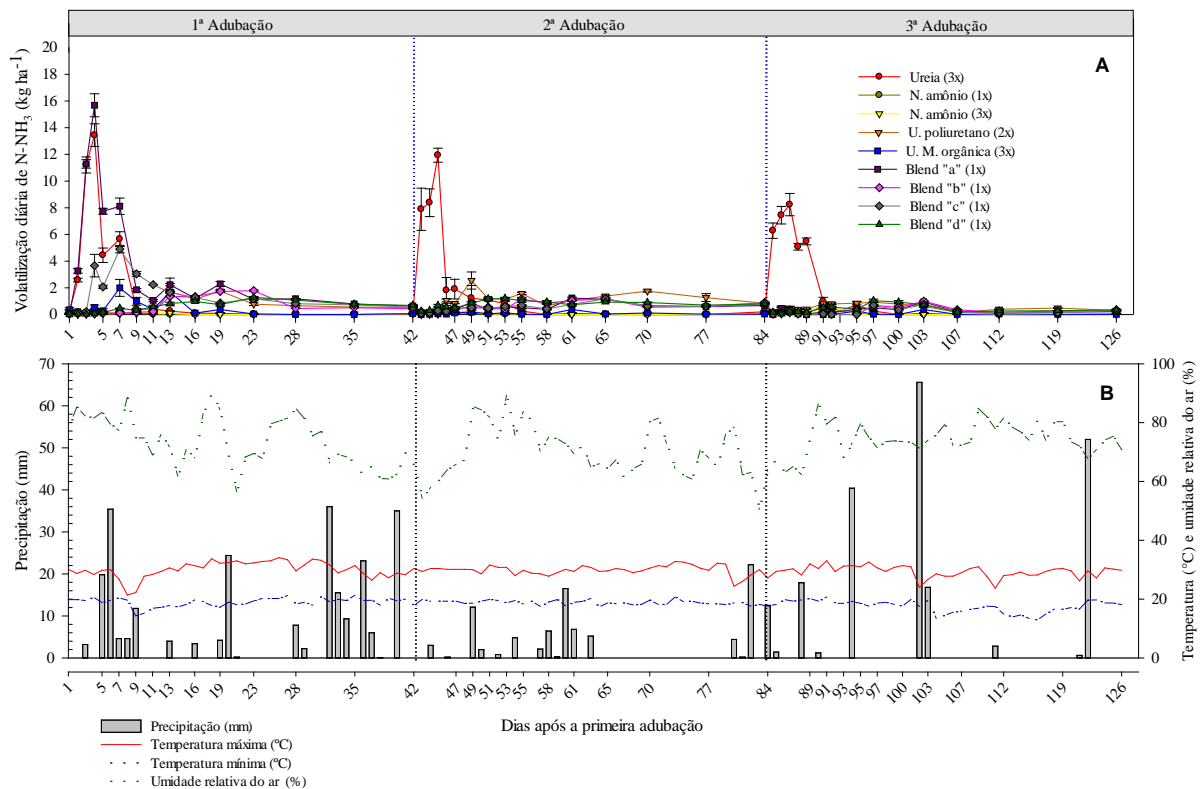
Essa diferença nos picos entre as diferentes safras pode ser devido aos fatores climáticos observados para cada safra. Na safra de 2016/2017, é possível observar umidade relativa do ar em torno de 60%, enquanto na safra de 2015/2016 a umidade estava acima de 80%. De acordo com Tasca et al. (2011) taxa de umidade baixas podem influenciar negativamente na volatilização de N-NH₃, pois a umidade adequada pode favorecer a

incorporação do fertilizante ao solo, diminuindo dessa forma, esse tipo de perda (ROCHETTE et al., 2009a). Essa interferência da umidade na volatilização se dá principalmente na atividade da urease (MOTA et al., 2015).

Por outro lado, os tratamentos com Blend “c” e matriz orgânica, não apresentaram picos de volatilização nos primeiros dias, conforme foi visualizado na safra 2015/2016. Os picos destes tratamentos só foram observados no sétimo dia após a fertilização, e, além disso, as perdas foram menores em relação à safra anterior (Figura 3). De acordo com Tasca et al. (2011), o pico de liberação da ureia contendo algum inibidor de urease ocorre cerca de três dias mais tarde em relação à utilização da ureia convencional. Além disso, a temperatura mais baixa nesta safra pode ter influenciado para a visualização de perdas menores em relação à safra anterior (TASCA et al., 2011). Na safra 2016/2017, foi observado temperatura máxima abaixo de 20 °C, enquanto na safra anterior foi cerca de 22 °C.

Os tratamentos com nitrato de amônio, independente do número de adubações realizadas, também demonstraram comportamento de volatilização de N-NH₃ semelhante ao da safra anterior, se mantendo constantemente abaixo de 1 kg ha⁻¹ (Figura 3).

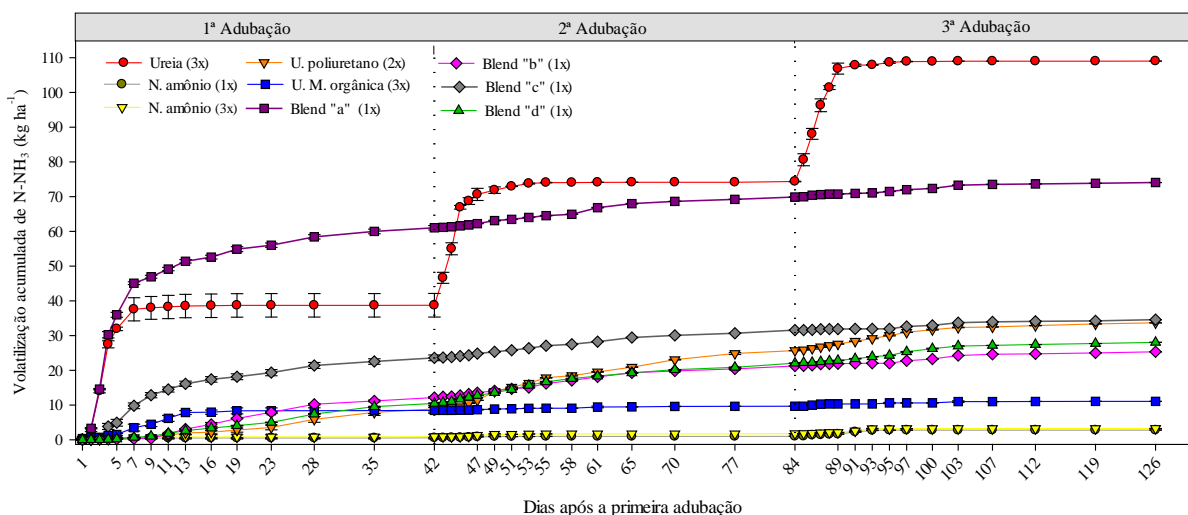
Figura 3 - Volatilização diária de N-NH₃ (A) pela aplicação dos fertilizantes testados neste estudo na cultura do café e dados climáticos do período (B). Safra 2016/17. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3).



A volatilização acumulada de N-NH₃ da safra 2016/2017 apresentou a seguinte ordem decrescente de perdas: Ureia > Blend “a” > Blend “c” > Ureia + Poliuretano > Ureia com Matriz Orgânica > Blend “d” > Blend “b” > Nitrato de Amônio (3x) > Nitrato de Amônio (1x) (Figura 4). Em relação à safra anterior, houve algumas alterações na ordem dos fertilizantes, porém, as duas primeiras posições e as duas últimas não se alteraram, demonstrando dessa forma que a ureia e o Blend “a” foram os tratamentos que mais apresentaram perdas de N-NH₃ nas duas safras avaliadas. Esta volatilização do blend “a” se justifica pelo fato de 50% de sua composição ser constituída da própria ureia convencional. Por outro lado, a utilização de nitrato de amônio proporcionou as menores perdas (Figura 4) em ambas safras.

A utilização de ureia convencional proporciona maiores perdas N-NH₃ por ser altamente solúvel em água, e por isso hidrolisa mais rapidamente (AZEEM et al., 2014; DOMINGHETTI et al., 2016). A menor volatilização acumulada nas duas safras foi ocasionada pelo nitrato de amônio, independente do parcelamento, e entre os blends avaliados, o Blend “b” e “d” foram os tratamentos que apresentaram as menores perdas por volatilização de N-NH₃, se justificando pelo fato destes blends terem 50% de nitrato de amônio em sua composição.

Figura 4 - Volatilização acumulada de N-NH₃ pela aplicação de fertilizantes de eficiência aumentada na cultura do café. Safra 2016/17. As barras verticais (A) representam o erro padrão da média (n=3).



Produtividade do cafeeiro

Os fertilizantes que apresentaram melhores resultados ($p < 0,05$) na produtividade do cafeeiro na safra 2015/2016 foram em ordem decrescente os seguintes: Nitrato de Amônio (3x) > Blend “d” \cong Blend “b” > Ureia com Matriz Orgânica > Ureia com Poliuretano (Figura 5).

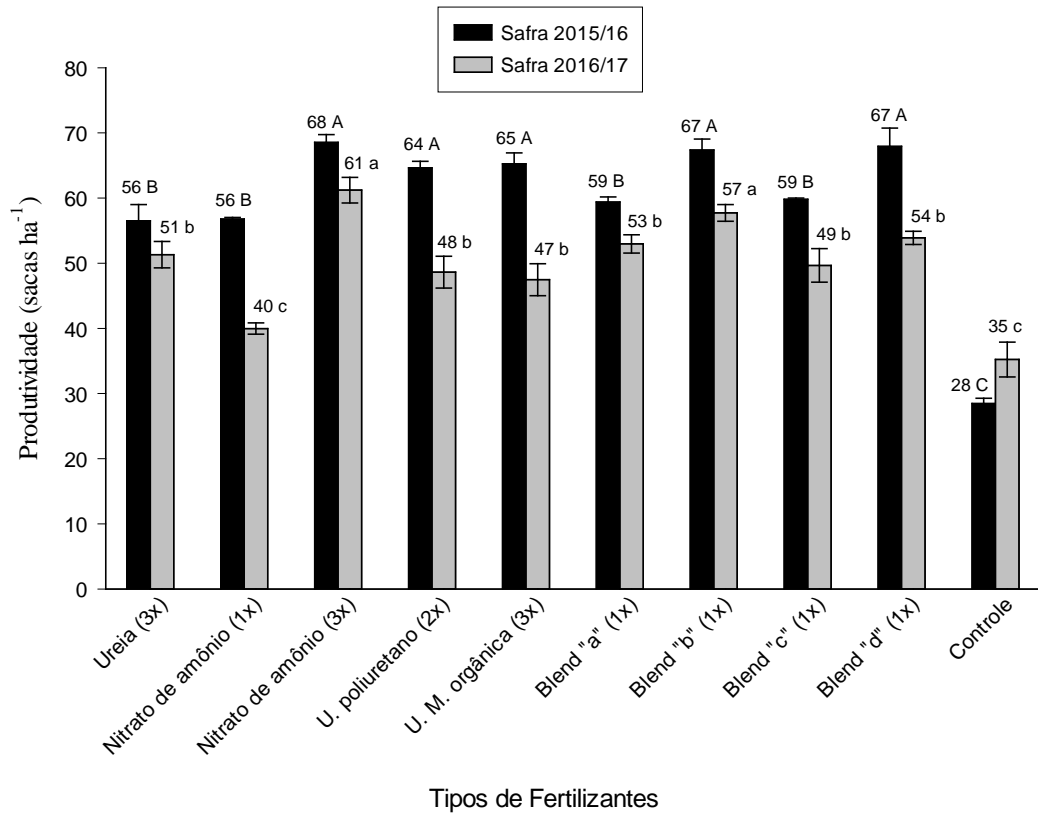
Porém, todos os tratamentos obtiveram pelo menos 100% de produtividade a mais em relação ao grupo controle, que apresentou somente 28,48 sacas de 60 kg ha⁻¹. O tratamento com Nitrato de Amônio (3x) produziu 40,06 sacas ha⁻¹ a mais do que o grupo controle. Estes resultados demonstram a importância da utilização dos fertilizantes para a obtenção da maior produtividade da cultura.

Além do tratamento com Nitrato de Amônio (3x), merecem destaques também os tratamentos Blend “b” e Blend “d”. Eles apresentaram produtividade semelhante à do Nitrato de Amônio (3x). Além disso, também apresentaram bons resultados da eficiência agrônômica do N aplicado. Provavelmente, os resultados apresentados por estes dois tratamentos se dão pelo fato de ambos terem a mesma composição, com 50% de nitrato de amônio, diferenciando somente na porcentagem de Multicote e Nitrocote, como segue: Blend “b” (50% Nitrato de amônio + 40% Multicote 2m + 10% Nitrocote 9m) e Blend “d” (50% Nitrato de amônio + 30% Multicote 4m + 20% Nitrocote 9m).

Os resultados observados neste estudo também demonstram haver influência direta da volatilização sobre a produtividade do cafeeiro. Os tratamentos com menores valores de volatilização acumulada também apresentaram as maiores produtividades, exceto o tratamento que utilizou o Nitrato de Amônio (1x). No entanto, a volatilização do N na forma de NH₃ não limita a produção de café, conforme visualizado na comparação dos tratamentos com o grupo controle. Essa observação também foi relatada por outros autores (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016).

Segundo Bartelega (2018), esse fato ocorre porque a quantidade de N aplicada nos fertilizantes é mais do que suficiente para as plantas vegetarem e produzirem, e o excedente aplicado é volatilizado. Além disso, existe também reserva de N no solo contida na matéria orgânica. O suprimento de N, em solos com fertilidade construída, é médio a alto, portanto, o N presente no solo compensa o que foi perdido pela volatilização, causando boa produtividade para a safra.

Figura 5 - Produtividade do cafeeiro (sacas de 60 kg) sobre aplicação de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados e seus respectivos erros padrão. O número acima de cada coluna representa sua respectiva produtividade. Safra 2015/16 e 2016/17.



Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas se referem à safra 2015/16 e letras minúsculas à safra 2016/17.

Na safra de 2016/2017, somente os tratamentos com Nitrato de Amônio (3x) e Blend “b” apresentaram maior produtividade ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos. Por outro lado, exceto o tratamento de Nitrato de Amônio (1x), todos tratamentos apresentaram produtividade superior ao grupo controle, no qual não foi utilizado nenhum tipo de fertilizante (Figura 5), portanto utilizou a reserva orgânica do solo.

O Nitrato de Amônio aplicado em diferentes parcelamentos apresentou diferença de produtividade, sendo a aplicação em 3 parcelamentos superior em relação a aplicação em dose única, em ambas as safras. Estes resultados mostram que apesar das perdas por volatilização não terem ocorrido, perdas por lixiviação podem ser problema na aplicação de nitrato de amônio, principalmente aplicado em elevadas doses sem o devido parcelamento.

A distribuição de chuvas foi melhor no primeiro ano, sendo que no segundo ano ocorreu de forma mais concentrada, o que deve ter contribuído para as maiores perdas de N por lixiviação no segundo ano para o tratamento Nitrato de Amônio.

A produtividade da safra 2015/2016 em relação à safra 2016/2017 foi superior para todos os tratamentos utilizados, exceto para o grupo controle que teve produtividade maior em 2016/2017 (Figura 5).

O tratamento com o fertilizante Nitrato de Amônio produziu 26 sacas de café por hectare a mais que o grupo controle (Figura 5). A utilização de Nitrato de Amônio já foi relatada por Chagas et al. (2016) por ser responsável por aumentar a produtividade do cafeeiro em relação a outros fertilizantes utilizados, sendo que ele é um dos fertilizantes mais comumente utilizados.

Eficiência Agronômica do nitrogênio aplicado (EA)

Em relação à eficiência agronômica, foi verificada a seguinte ordem decrescente na safra 2015/2016: Nitrato de Amônio (3x) > Blend “d” > Blend “b” > Ureia com Matriz Orgânica > Ureia com Poliuretano > Blend “a” ≥ Blend “c” > Ureia ≥ Nitrato de Amônio (1x) (Tabela 3).

Já, na safra de 2016/2017 a ordem decrescente foi: Nitrato de Amônio (3x) > Blend “b” > Blend “d” > Blend “a” > Ureia > Blend “c” > Ureia com Poliuretano > Ureia com Matriz Orgânica > Nitrato de Amônio (1x). Embora foram verificadas algumas alterações na posição de alguns tratamentos nas duas safras, em ambos os casos, o Nitrato de Amônio (3x) apresentou a melhor eficiência agronômica e o Nitrato de Amônio (1x) a menor eficiência agronômica (Tabela 3).

Um fato interessante observado entre as safras, é que em todos os tratamentos a eficiência agronômica da safra 2015/2016 foi maior em relação à safra 2016/2017. Como exemplo, o Nitrato de Amônio (3x) que apresentou melhores resultados em ambas as safras, em 2016/2017 apresentou 40% menos eficiência em relação a primeira safra. Já, o Nitrato de Amônio (1x) foi o que apresentou menor eficiência em ambos os casos, e na safra 2016/2017 se observou apenas 9% da eficiência registrada em 2015/2016. Esta diferença entre as safras pode ser decorrente principalmente de fatores climáticos, conforme já citados anteriormente, ou ainda devido ao potencial de produtividade do próprio solo, que teria capacidade suficiente para suprir boa parte da demanda de N pela planta.

Tabela 3 - Eficiência Agronômica do N aplicado, em quilos de grãos produzidos para cada quilo de N aplicado (kg grãos kg N⁻¹). Safras 2015/16 e 2016/17.

Tratamentos	EA 2015/16	EA 2016/17
Ureia	5,6	2,8
Nitrato de Amônio (1x)	5,6	0,5
Nitrato de Amônio (3x)	8,0	4,8
Ureia com Matriz Orgânica (3x)	7,3	2,0
Ureia com Poliuretano (2x)	7,2	2,2
Blend “a” (1x)	6,2	3,1
Blend “b” (1x)	7,7	4,1
Blend “c” (1x)	6,2	2,5
Blend “d” (1x)	7,9	3,3

Análise econômica e ambiental

Este estudo avaliou diversos fertilizantes protótipos e não comerciais, sendo assim, por não se ter o preço real de mercado de todos os fertilizantes, a exata análise econômica se torna dificultada. Porém, o preço de um fertilizante varia de acordo com a tecnologia de produção empregada, e a média geral encontrada no mercado é a seguinte sequência crescente de preços: convencionais < estabilizados < blends < liberação lenta < liberação controlada (GUELFY, 2017).

Levando em consideração apenas as avaliações realizadas neste estudo e a média do preço da tecnologia empregada em fertilizantes, o Nitrato de Amônio aplicado em 3 parcelamentos seria o fertilizante com melhor custo benefício. Contudo, deve-se levar em consideração que a aplicação de forma parcelada gera aumento no custo de produção da lavoura em função dos gastos com as operações.

Dessa forma, considerando realizar apenas uma operação de adubação na lavoura, o Blend “b” é considerado o mais viável, pois, apresentou alta eficiência agronômica e produtividade, além de baixa volatilização. Além de apresentar 50% de sua composição de um fertilizante convencional, o qual torna seu custo de produção mais acessível.

Entretanto para se definir qual tecnologia de fertilizantes apresentará melhor custo benefício de acordo com a viabilidade de parcelamento, é necessária análise in loco dos custos operacionais de cada produtor rural.

Do ponto de vista ambiental, o nitrato de amônio aplicado em dose única não é recomendado, pois tem em sua composição 50% do N na forma de nítrica, que pode ser lixiviado no perfil do solo por ser uma molécula de carga negativa, ou mesmo sofrer desnitrificação e se transformar em óxido nitroso, gás considerado de efeito estufa e perdido por volatilização do solo. Isso explica a baixa eficiência agronômica, produtividade e

volatilização neste tratamento em que foi aplicada toda a dose de N (300 kg ha^{-1}) de uma única vez, sem parcelamento.

CONCLUSÃO

Para as condições edafoclimáticas deste trabalho e considerando as duas safras avaliadas, concluiu-se que a utilização de Nitrato de Amônio, tanto na aplicação em dose única quando parcelado em três vezes, promoveu a menor perda de N-NH_3 por volatilização. Enquanto os tratamentos que utilizaram os fertilizantes Ureia e Blend “a” foram os que apresentaram maior volatilização.

Na eficiência agronômica, os tratamentos Nitrato de Amônio (3x), Blend “b” e Blend “d” foram os que apresentaram melhores resultados.

Todos os tratamentos utilizados proporcionam aumento da produtividade do cafeeiro, embora, os que mais se destacaram nas duas safras foram os que utilizaram o Nitrato de Amônio em três parcelamentos e o Blend “b”.

REFERÊNCIAS

AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*. 181:11-21, 2014.

BARTELEGA, L. Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta, controlada e blends para o cafeeiro. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2018. 68p. Dissertação mestrado.

BORTOLETTO-SANTOS, R.; RIBEIRO, C.; POLITO, W. L. Controlled release of nitrogen-source fertilizers by natural-oil-based poly(urethane) coatings: the kinetic aspects of urea release. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 33, p. 1-8, 2016.

CANCELLIER, E.L.; SILVA, D.R.G.; FAQUIN, V.; ALMEIDA, B.A.; CANCELLIER, L.L.; SPEHAR, C.R. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.2, p.15-23, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016402031115>.

CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. *Informações Agrônomicas IPNI*, n.120, p.12-13, 2007.

CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; MARCELINO, R. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. In: 16th Nitrogen Workshop, Turin (Italy), June, 28th - July, 1st. 2009. p.129-130, 2009.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. Resumos... Londrina: BRASIL, p.82 – 87, 1999.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugar cane trash blankets. *Scientia Agricola*, v. 65, p. 397- 401, 2008.

CHAGAS, W.F.T.; GUELFY, D.R.; CAPUTO, A.L.C.; SOUZA, T.L.; ANDRADE, A.B.; FAQUIN, V. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.5, p.497-509, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de café, v. 5 – Safra 2019, n.2 - Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-61, maio 2019. < file:///C:/Users/USER/Downloads/BoletimZCafZmaioZ2019_1%20(1).pdf > Acesso em: 21 Jul. 2019.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, n.4, p.799-805, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000400008>.

DANTAS, A.A.A.; CARVALHO, L.G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.6, p.1862-1866, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.

DOBBIE, K.; SMITH, K. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: The impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, v.9, n.2, p.204-218, 2003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00563.x>.

DONG, Y.J. et al. Effects of newcoated release fertilizer on the growth of maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 16, p. 637-649, 2016.

DOMINGHETTI, A.W.; SILVA, D.R.G.; GUIMARÃES, R.J.; CAPUTO, A.L.C.; SPEHAR, C.R.; FAQUIN, V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*, v.40, n.2, p.1-11, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016402029615>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 356p. 2018.

FAGERIA, N.K.; MORAIS, O.P. de; SANTOS, A.B. dos. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, v.33, p.1696-1711, 2010. DOI: 10.1080/01904167.2010.496892.

FAN, X. H.; LI, Y. C. Nitrogen release from slow-release fertilizers as affect by soil type and temperature. *Soil Science Society American Journal*, v.74, n.2, p.1635-1641, 2010.

FARMAHA, B. S.; SIMS, A.L. Yield and protein response of wheat cultivars to polymer-coated urea and urea. *Agronomy Journal*, v. 105, p. 229-236, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, n.4, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FREITAS, T. Fertilizantes de liberação controlada e seus “blends” com ureia tratada com inibidor de urease para o cafeeiro. 2020. 126 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

GARCIA, P. L.; GONZÁLEZ-VILLALBA, H. A.; SERMARINI, R. A.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen use efficiency and nutrient partitioning in maize as affected by blends of controlled-release and conventional urea. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 64, n. 14, p. 1944-1962, 2018.

GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agronômicas*, Belo Horizonte, n. 157, p. 1-14, mar. 2017.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). *Recomendações para uso de fertilizantes e corretivos em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, p. 175-190, 1999.

IFA - THE INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA. About Fertilizers. 2020. Disponível em: https://www.fertilizer.org/Public/About_fertilizers/Public/About_Fertilizers/About_Fertilizers.aspx?hkey=c35de5b6-2f79-4db3-93cc-d2cef45ae5d4. Acesso em: 13 out. 2020.

JADON, P. et al. Volatilization and leaching losses of nitrogen from different coated urea fertilizers. *Journal of soil science and plant nutrition*, v. 18, n. 4, p. 1036-1047, 2018.

Ke, J., Xing, X., Li, G., Ding, Y., Dou, F., Wang, S. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. *Field Crops Research*, v. 205, p.147-156, 2017.

KOUDJEGA, K.; ABLEDE, K. A.; LAWSON, I. Y. D.; ABEKOE, M. K.; OWUSU-BENNOAH, E.; TSATSU, D. K. Reducing ammonia volatilization and improving nitrogen use efficiency of rice at different depths of urea supergranule application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 8, p. 974-986, 2019.

KOYAMA, Eric Akiyoshi Benites. Perdas de nitrogênio por volatilização em milho safrinha no sul da Amazônia. 2019. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2019.

LADHA, J.K.; PATHAK, H.; KRUPNIK, T. J.; SIX, J.; KESSEL, C. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy*, v.87, p.85-156, 2005. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)87003-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)87003-8).

LANA, R.; PEREIRA, V.; LEITE, C. N.; TEIXEIRA, G. M.; GOMES, J. S.; CAMARGO, R. (2018). NBPT (urease inhibitor) in the dynamics of ammoniavolatilization. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*. v. 13. n. 2, p. 1-8. Doi: 10.5039/agraria.v13i2a5538.

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

MOTA, M. R.; SANGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como Alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:512-522, 2015

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. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>.

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

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 84:71-80, 2009a.

ROCHETTE, P.; MacDONALD, J.D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Banding urea enhanced ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.*, 38:1383-1390, 2009b.

RODRIGUES, J. O.; PARTELLI, F. L.; PIRES, F. R.; OLIOSI, G.; ESPINDULA, M. C.; MONTE, J. A. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, v.11, n.4, p.530-537, 2016. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8254>.

SALMAN, O.A.; HOVAKEEMIAN, G.; KHRAISHI, N. Polyethylene-coated urea. 2. Urea release as affected by coating material, soil type, and temperature. *Ind. Eng. Chem. Res.* 28:633– 638, 1989.

SAVANT, N. K., J. R. CLEMMONS, AND A. F. JAMES. A technique for predicting urea release from coated urea in wetland soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* V.3, p. 793–80. 1982.

SENEUANGDETH, D.; OUNMANY, K.; PHOMMAVONG, S.; PHOUXAY, K; HATHALONG, K. Labor employment opportunities in coffee production in Southern lao people's democratic republic. *Journal of Asian Rural Studies*, v. 2, n. 1, p. 16-36, 2018.

SILVA, A. G. B.; SEQUEIRA, C. H.; SERMARINI, R. A.; OTTO, R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. *Agronomy Journal*, v.109, n.1, p.1-13, 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0200>.

SILVA, E. F. et al. Desempenho de ureia revestida compoliuretano como fertilizante de *Phaseolus vulgaris* L. *Matéria*, v. 24, n. 3, e12268, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0725>

SIVASAKTHY, K.; GNANAVELRAJAH, N. Organic nitrogen sources and nitrification inhibitors on leaching and phyto-accumulation of nitrate and yield of *Amaranthus polygamus*. *World Journal of Agriculture Science*, v. 8, p. 208-211, 2012.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBOLI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 493–502, 2011.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. *Desalination*, v. 146, p. 319-323, 2002.

WATANABE S, KODAMA M, FUKUDA M. Nitrogen stable isotope ratio in the manila clam, *Ruditapes philippinarum*, reflects eutrophication levels in tidal flats. *Mar Pollut Bull*. 2009 Oct;58(10):1447-53. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.06.018.

ZAVASCHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos apresentados na presente tese objetivaram avaliar diferentes fertilizantes e/ou blends de fertilizantes na cultura do cafeeiro. Sabe-se que é de extrema importância o sincronismo entre a liberação do nutriente pelos fertilizantes de eficiência aumentada e a demanda de nutriente da planta fazendo com que haja melhor aproveitamento do nutriente aplicado para a cultura. Dessa forma, o tempo em que o nutriente permanece na solução do solo é reduzido, o que diminui perdas e aumenta a eficiência de uso do N pelas plantas.

O presente estudo mostrou que o uso de blends de fertilizantes nitrogenados pode ser uma alternativa viável no aumento da eficiência da adubação e diminuição das perdas, porém, o uso de alta porcentagem de ureia convencional no blend pode acarretar perdas significativas por volatilização, principalmente com doses elevadas de N na adubação.

Considerando os dados do experimento II (segundo artigo), para que haja um melhor aproveitamento do fertilizante aplicado e uma maior produtividade do cafeeiro, é recomendado a utilização do Nitrato de Amônio (3x) e o Blend “b”.

É necessário ressaltar a importância da continuidade dos estudos, pois, pela bienalidade do cafeeiro e dinamicidade do N, devido a sua estreita relação com condições edafoclimáticas, estudos a longo prazo e envolvendo outras condições edafoclimáticas para avaliação das perdas, eficiência da adubação nitrogenada e nutrição do cafeeiro podem ser de grande importância para validação dos resultados aqui apresentados.

Estudos futuros com foco nas tecnologias para produção dos fertilizantes de eficiência aumentada são uma vertente promissora, pois, a cobrança da sociedade será cada vez maior em relação ao uso eficiente de fertilizantes em sistemas agrícolas, no sentido de gerar maior produtividade para o produtor rural e conseqüentemente menores custos de produção. Por fim, salienta-se que os fertilizantes produzidos por essas novas tecnologias devem ser devidamente testados na pesquisa, em comparação a fertilizantes convencionais já disponíveis e conhecidos no mercado.