



MAYCOOL DOUGLAS FARIA DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES
FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA A NUTRIÇÃO DO
CAFEIRO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

LAVRAS-MG

2023

MAYCOOL DOUGLAS FARIA DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES
FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA A NUTRIÇÃO DO
CAFEIRO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Agronomia, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi

Coorientador: MSc. Mateus Portes Dutra

LAVRAS-MG

2023

*A minha família por sempre me apoiar nas
minhas decisões, e aos meus amigos que
sempre estiveram comigo nesta jornada,
dedico!*

AGRADECIMENTO

À Deus, por sempre me guiar e iluminar meu caminho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Guelfi, e a equipe INNOVAFERT, pelo apoio e parceria de sempre.

Ao Mateus Portes, pela coorientação e amizade.

Aos integrantes da banca Mateus Portes, Euler dos Santos e Cesar Ferreira.

À equipe Rehagro, em especial à equipe Café, conduzida por Luiz Paulo Vilela.

Ao Fábio Pereira, e toda equipe Rehagro gestão, pelo fornecimento dos dados de custo de produção.

Aos meus familiares, por sempre estarem comigo, especialmente meus avós Juarez e Maria que sempre estiveram presentes, com apoio e instrução.

A Mikaella Meira, pela ajuda e companheirismo.

A todos amigos que me acompanharam nesta caminhada.

MUITO OBRIGADO!

*Nenhum homem pode banhar-se duas vezes
no mesmo rio, pois na segunda vez o rio já
não é o mesmo, nem tão pouco o homem.*

(Heráclito de Efeso)

RESUMO

A cultura do *Coffea arabica* L. possui uma alta demanda em nitrogênio (N), suprida principalmente por meio de adubações minerais, no entanto, há uma grande variação quanto à eficiência das fontes de fertilizantes, que impactam diretamente na disponibilidade de N para a planta, como: lixiviação, volatilização, desnitrificação e desuniformidade de aplicação. Dentre as diferentes estratégias para aumentar a eficiência do uso de N no cafeeiro, o uso de tecnologias tais como inibidores de urease e fertilizantes de liberação controlada, visam reduzir perdas assim como parcelamentos da sua aplicação em conjunto com ganhos agronômicos. Diante deste cenário, este trabalho tem por objetivo analisar diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, afim de identificar qual possui o melhor custo benefício na disponibilidade de N no sistema de produção cafeeiro para a região do sul de Minas Gerais, considerando variáveis agronômicas e estratégias de aplicação. Visando responder os seguintes questionamentos: Por que é importante escolher a fonte certa? Qual a porcentagem de perdas por volatilização? Quanto isso impacta no custo de produção? Qual a melhor opção referente à associação entre perda e custo operacional? Para responder estas perguntas foi realizado uma análise utilizando dados experimentais (teses/ artigos científicos) onde foi testado a eficiência de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, referentes à perdas por volatilização, dos quais serão realizados levantamentos de custos em valores atuais do kg de nitrogênio aplicado, relacionado ao modo de aplicação (parcelado ou não). Para o preço dos fertilizantes, foram realizadas cotações regionais em distribuidoras especializadas. Como metodologia de análise, avaliou-se o custo por ponto de N de cada fonte, correlacionando dados de perdas, e preço de aquisição, buscando compreender qual é a mais assertiva nos sistemas de manejo sul-mineiro, avaliados neste estudo. Salienta-se que para esta análise, o custo operacional e número de parcelamentos foram considerados. Fazer a escolha da fonte de fertilizante nitrogenado de forma assertiva, reduz possíveis perdas destes insumos e fornece a quantidade suficiente de nutriente para o cafeeiro. A ureia é o fertilizante que favorece as maiores perdas por volatilização da amônia comparada a outras fontes nitrogenadas. O nitrato e sulfato de amônio são as fontes de fertilizantes nitrogenados que favorecem as menores perdas. Fertilizantes com base em nitrato de amônio são mais viáveis economicamente no atual cenário da cafeicultura sul-mineira, entretanto, o uso de tecnologias responsáveis por reduzir perdas de N por volatilização, também são viáveis quando compradas no momento certo.

Palavras-chave: Fertilizantes nitrogenados; Custo de produção; Rentabilidade; Fertilizantes de eficiência aumentada. Mercado de fertilizantes nitrogenados

ABSTRACT

The culture of *Coffea arabica* L. has a high demand for nitrogen (N), supplied mainly through mineral fertilizers, however, there is a wide variation in the efficiency of fertilizer sources, which directly impact the availability of N for the plant, such as: leaching, volatilization, denitrification and uneven application. Among the different strategies to increase the efficiency of N use in coffee, the use of technologies such as urease inhibitors and controlled-release fertilizers, aim to reduce losses as well as splitting its application together with agronomic gains. Given this scenario, this work aims to analyze different sources of nitrogen fertilizers, in order to identify which has the best cost-benefit ratio in the availability of N in the coffee production system for the southern region of Minas Gerais, considering agronomic variables and application strategies. In order to answer the following questions: Why is it important to choose the right font? What is the percentage of losses due to volatilization? How much does this impact the cost of production? What is the best option regarding the association between loss and operating cost? To answer these questions, an analysis was carried out using experimental data (scientific theses/articles) where the efficiency of different sources of nitrogen fertilizers was tested, referring to losses due to volatilization, from which cost surveys will be carried out in current values of the kg of nitrogen applied, related to the mode of application (in installments or not). For the price of fertilizers, regional quotations were made at specialized distributors. As an analysis methodology, the cost per point of N of each source was evaluated, correlating loss data, and acquisition price, seeking to understand which is the most assertive in the management systems of southern Minas Gerais, evaluated in this study. It should be noted that for this analysis, the operating cost and number of installments were considered. Choosing the source of nitrogen fertilizer assertively reduces possible losses of these inputs and provides a sufficient amount of nutrients for the coffee tree. Urea is the fertilizer that favors the highest losses by volatilization of ammonia compared to other nitrogen sources. Ammonium nitrate and sulfate are the sources of nitrogen fertilizers that favor the lowest losses. Fertilizers based on ammonium nitrate are more economically viable in the current scenario of coffee growing in southern Minas Gerais, however, the use of technologies responsible for reducing N losses by volatilization are also viable when purchased at the right time.

Keywords: Nitrogen fertilizers; Production cost; Profitability; Increased efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- ..Figura 1.** Representatividade do N no custo de produção variável total das fazendas Rehagro (R\$).21
- Figura 2.** Custos de produção variável das Fazendas de consultoria do Grupo Rehagro..... 21
- Figura 3.** Relação entre a produção e o consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil. 22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Discriminação de custos totais da safra 2021/2022 de 7 fazendas de consultoria do Grupo Rehagro.	20
Tabela 2. Fontes de Fertilizantes avaliadas e porcentagem de nutrientes.	23
Tabela 3. Custo de N em diferentes fontes de fertilizantes.	23
Tabela 4. Valores médios da dose de N em diferentes fontes nitrogenadas.....	24
Tabela 5. Custos de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados de acordo com o número de parcelamentos.	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Cenário da cafeicultura no Brasil e no mundo.....	11
2.2 Importância do N na nutrição do café	11
2.3. Perdas de nitrogênio	13
2.4 Fontes de Fertilizantes Nitrogenados	14
2.5 Custos de produção.....	16
3 METODOLOGIA.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Qual a porcentagem de perdas por volatilização dos fertilizantes nitrogenados? ..	17
4.2 Quanto isso impacta no custo de produção variável (CPV)?.....	19
4.3 Quanto custa uma aplicação nitrogenada mecanizada no cafeeiro?	22
4.4 Qual a melhor opção referente à associação entre perda e custo operacional?	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas, representando grande importância nas exportações agrícolas do Brasil (SILVA; REIS 2001). Em 2021, foram exportadas mais de 40 milhões de sacas de café (CECAFÉ, 2021).

No entanto, esta cultura apresenta um elevado custo de produção, o que leva os produtores estarem sempre buscando novas maneiras de reduzir estes custos (OLIVEIRA et al., 2007). Por consequência disto cada dia mais os produtores brasileiros investem em tecnologias e práticas que proporcionem o aumento da produtividade, pois aumentar a produtividade dos sistemas de produção e reduzir o impacto ambiental é o que garante maior eficiência da indústria agrícola, na qual está inserida a cafeicultura.

Um dos fatores que mais contribui para a baixa produtividade do cafeeiro está relacionado a nutrição e adubação (PREZOTTI, 2001). Neste sentido, as fertilizações nesta cultura se destacam por boa parte dos custos de produção (DUARTE et al., 2010). A adubação é fundamental para o cultivo do café, devendo ser efetuada para que o solo sempre possa disponibilizar os nutrientes necessários para um melhor desenvolvimento e maior produtividade (FERRAZ et al., 2011).

Na grande maioria das regiões cafeeiras o uso de fertilizantes nitrogenados se destaca, pois o nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos na produção (MESQUITA et al., 2016), requerendo aproximadamente 6,2 kg de N por saca de café beneficiada (MATIELO et al., 2010), chegando em média a aplicação de até 450 kg de N por hectare.

No Brasil, a ureia se destaca entre os fertilizantes nitrogenados mais usados para suprir a demanda das lavouras, pois apresenta altas concentrações de N na sua formulação, conseqüentemente, apresenta um menor custo por unidade quando comparado a outros fertilizantes (CHAGAS et al., 2016), entretanto, a ureia sofre muitas perdas de N por volatilização da amônia. Assim sendo, a eficiência agrônômica dos fertilizantes convencionais e a redução da perda de N são as principais finalidades no manejo da fertilidade dos solos nessas regiões, em virtude destas práticas diminuir os custos de produção (TRENKEL 2010; FAN et al., 2010).

Em vista disso, o aumento da eficiência da adubação nitrogenada nos cultivos vem sendo uma preocupação nos últimos anos. Desta maneira, conhecer as técnicas de produção e os manejos envolvendo a cultura do café, e estudar a influência destas praticas na produção e no desenvolvimento das culturas se torna fundamental para uma melhor viabilidade econômica e sustentabilidade (CUSTÓDIO et al., 2008).

Portanto, considerando o cenário atual da cafeicultura sul-mineira, assim como a importância socioeconômica desta commodity para o estado, a proposta deste estudo é analisar diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, afim de identificar qual possui o melhor custo benefício na disponibilidade de N para o sistema de produção nesta região, considerando variáveis agrônômicas e estratégias de aplicação, objetivando responder os seguintes questionamentos: Por que é importante escolher a fonte certa? Qual a porcentagem de perdas por volatilização dos fertilizantes nitrogenados e o quanto isto impacta no custo de produção? e por fim, qual a melhor opção referente à associação entre perda e custo operacional?

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário da cafeicultura no Brasil e no mundo

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION-ICO, 2017), responsável por aproximadamente 33,7% da produção mundial. A área em produção chegou a 1,84 milhões de hectares no ano de 2022, no qual 70% deste parque cafeeiro está inserido no estado de Minas Gerais. Para a safra de 22/23, estima-se uma produção de 37,92 milhões de sacas de café arábica (*cooffea arabica L.*) de 60 kg de café beneficiado, sendo 27,49 milhões de sacas produzidas no estado de Minas Gerais, correspondendo a 72,4% da produção nacional (SOUZA et al., 2023; CONAB, 2023).

Diante da importância da cafeicultura no cenário nacional, novas tecnologias garantem uma contribuição significativa no aumento da produtividade, partindo de 8 sacas por hectare no ano de 1997 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016a) para 27,7 sacas por hectare na safra de 2021/2022 (CONAB, 2023). De acordo com estudos da FAO (2018), no ano de 2050 a produtividade média na cafeicultura será de 38,3 sacas por hectare. Para que seja possível alcançar esse indicador têm-se investido em tecnologias que agregam e intensifiquem os sistemas de produção, como cultivares melhoradas geneticamente, maior assertividade no controle de pragas e doenças, insumos que atendam às demandas econômicas sociais e ambientais, fundamentados pelos pilares básicos da sustentabilidade. Um dos fios condutores da inovação, atualmente são os fertilizantes, pois são responsáveis em fornecer nutrientes às culturas agrícolas (CANTARELLA, 2007; PAVINATO et al., 2020).

2.2 Importância do N na nutrição do café

O nitrogênio é o nutriente mais demandado pelo cafeeiro (MALAVOLTA, 1993), uma vez que ele se faz presente nas principais reações bioquímicas dos vegetais e microrganismos,

representa grande contribuição para a manutenção e desempenho na produção vegetal, constituindo a molécula de clorofila, bases nitrogenadas e ácidos nucleicos, assim como em enzimas e coenzimas, vitaminas, aminoácidos e proteínas (TAIZ; ZAIGER, 2004).

Teores adequados deste elemento nos tecidos vegetais são fundamentais, pois atuam diretamente nos processos reprodutivos, promovendo maior vigor, induzindo o crescimento vegetativo e estimulando o desenvolvimento de ramos (ortotrópicos e plagiotrópicos) no qual, estarão presentes as gemas florais, que se diferenciarão em gemas frutíferas, posteriormente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; CLEMENTE et al., 2013). Alguns estudos mencionam que para cada saca beneficiada de 60 kg de café, há um consumo médio pela lavoura de 6,2 kg deste nutriente, que pode sofrer variações em função de fatores edafoclimáticos, demandando doses entre 200 e 500 kg ha⁻¹ para lavouras em produção. O cálculo é baseado no potencial produtivo atual da lavoura somado à carga pendente da safra do próximo ano (MATIELLO et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2021), podendo ser parceladas em até 5 vezes durante o período chuvoso, de setembro à março onde acontecem as fases de floração, frutificação, enchimento de grão e vegetação (RENA; MAESTRI, 1987).

No solo, o N se encontra nas formas orgânica e mineral, fornecidos principalmente pela matéria orgânica (MO) e/ ou fertilizantes nitrogenados. Cerca de 95% do N total está presente na forma orgânica, e não está prontamente disponível para as plantas. Por meio do processo de mineralização, o N torna-se lábio e posteriormente é transformado em amônio (NH⁴⁺). Uma vez que ocorre essa transformação, o amônio passa pelo processo de nitrificação formando nitrato (NO₃⁻) (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Em solos tropicais, cerca de 1 à 5% desse N orgânico é mineralizado, mas não supre completamente à demanda das plantas, diante disto, para as recomendações de adubações nitrogenadas no cafeeiro não é comum considerar as reservas de N disponíveis no solo (MALAVOLTA, 1986; CANTARELA, 2007).

Dentre todos os nutrientes de plantas, o N é o mais dinâmico no perfil do solo, pois possui grandes interações com o ambiente, podendo sofrer variações de acordo com fatores edafoclimáticos, estando sujeito à variados tipos de perdas. O monitoramento dos teores foliares é um parâmetro bastante utilizado para acompanhar o adequado fornecimento de N (FAVARIN et al., 2013). Segundo Guimarães et al. (2021), os valores considerados adequados encontram-se na faixa entre 2,5 a 3,5 dag/kg de N na folha. Concentrações excessivas não são interessantes para o cafeeiro, pois além da exposição demasiada do N ao sistema de produção, ocasionando em perdas, o desbalanço nutricional torna as plantas mais susceptíveis à *Cercospora (Mycosphaerella coffeicola)* (ADAMS; FRANTZ; BUGBEE, 2013).

2.3. Perdas de nitrogênio

A aplicação de N possui complexidades devido ao dinamismo no solo, podendo ser absorvido em apenas 50% da quantidade total aplicada (CANNAVO et al., 2013; FENILLI et al., 2007). Os fertilizantes mais utilizados na agricultura apresentam o N na forma amídica (ureia), nítrica ou amoniacal (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010) e as suas possíveis perdas se dão por meio dos processos de volatilização (NH_3^+), lixiviação (NO_3^-) e desnitrificação (N_2O).

O íon amônio (NO_3^-) é pouco retido no solo, devido às suas cargas negativas. Solos corrigidos, com a fertilidade bem construída favorecem as perdas por lixiviação, pois possui carga negativa e não é retido na CTC do solo, isto também pode ocorrer em solos bem drenados e de textura arenosa. Estima-se que até 12% da quantidade total de N aplicado sofre lixiviação (MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008; FENILLI et al., 2008; BORTOLOTTI et al., 2011).

A lixiviação é caracterizada pela percolação do N no perfil do solo, movimentando-se para profundidades não exploradas pelo sistema radicular das culturas. No Brasil foram realizados experimentos com o objetivo de quantificar estas perdas, e foi constatado que são relativamente pequenas. Como estratégias para redução desta perda, se destaca o uso de tecnologias com liberação gradual do nutriente, e aplicações parceladas. Segundo Guelfi et al. (2021) a aplicação de N deve-se limitar somente à 100 kg por aplicação. O que foi constatado por Cantarella (2007) e Souza (2018), que observaram em seus estudos perdas pequenas por lixiviação quando as doses eram menores que 100 kg de N.

Perdas por desnitrificação ocorrem em solos inundados, com ausência de O_2 , sendo convertido em formas voláteis (N_2 e N_2O), atuando como receptor de elétrons na respiração de microrganismos do solo. Cerca de 5 a 25% do N total aplicado ao solo se perdem na atmosfera (CANTARELLA, MONTEZANO, 2010; MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008). O NH_3 - (amônia) disponibilizado no solo por fertilizantes nitrogenados e matéria orgânica pode ser perdido através da lixiviação e desnitrificação. Quando na forma de NH_4^+ advindos de fontes amídicas e amoniacais de fertilizantes, que podem ser transformados em NH_3 a volatilização se torna a principal fonte de perda de N. No cafeeiro é possível que essas perdas fiquem entre 11 a 31% da quantidade total de N aplicado (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA et al., 2023).

A volatilização é influenciada por diversos fatores, como por exemplo, pH mais alcalinos, baixa MOS, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), cobertura vegetal do solo,

atividade de urease (enzima responsável por hidrolisar a ureia), umidade e temperatura do solo, regime pluviométrico e momento da realização da adubação (SOUZA et al., 2023). As condições que mais favorecem à volatilização são altas temperaturas e umidade presente no solo (CORSI, 1994; NÔMMIK, 1973; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). Baixos volumes de chuva podem não ser suficiente para dissolver o fertilizante na solução do solo acelerando o processo de hidrólise, após a aplicação do adubo em superfície é necessário que ocorra precipitações em boa quantidade para ocorrer a incorporação no perfil. Aplicação em solo úmido, sem que ocorra chuvas, intensificam as perdas, que ocorre principalmente nos três primeiros dias após a adubação (FIGURA 1) (GUELFY, 2017; FREITAS et al., 2017; FRENEY et al., 1991; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003).

2.4 Fontes de Fertilizantes Nitrogenados

Dentre os fertilizantes convencionais, os mais utilizados no Brasil são: ureia (45% N), sulfato de amônio (20% N) e nitrato de amônio (32% N) (MALAVOLTA; MORAES, 2009). A ureia se destaca, sendo a mais utilizada no Brasil e no mundo por apresentar alta concentração de N, além de possuir boa disponibilidade no mercado com um menor custo por unidade de nutriente (CABEZAS; SOUZA, 2008; ROCHETTE et al., 2013; SOUZA et al., 2023). A aplicação deste fertilizante sobre a superfície do solo pode causar elevadas perdas por volatilização, no entanto, podem apresentar uma disponibilidade de apenas 70% da dose total aplicada (CHAGAS et al., 2016; DOMINIGUETTI et al., 2016; HUSSAIN; DEVI; MAJI, 2012).

Fertilizantes de fontes amoniacais como Sulfato e Nitrato de amônio, possuem perdas menores que 0,5% por volatilização, sendo classificadas como pouca ou nenhuma perda, entretanto fornecem H⁺ no solo, favorecendo a sua acidificação, além de possuir maior valor agregado por unidade de N, quando comparado à ureia (CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; CABEZAS; SOUZA, 2008; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; MARCHESAN et al., 2011; DOMINGHETTI et al., 2016).

Estudos têm sido realizados na busca por novas tecnologias em fertilizantes com o objetivo de reduzir as perdas por volatilização da amônia (NH₃) da ureia, assim como a redução do parcelamentos das adubações, nas quais são recomendadas dividi-los em 3 aplicações, de acordo com as características físico-químicas destes insumos (GUIMARÃES et al., 1999). Apesar disto, possuem como desvantagem um alto custo de aquisição, devido a tecnologia empregada, assim são economicamente viáveis apenas em situações específicas.

Esses insumos são conhecidos como fertilizantes de eficiência aumentada e são classificados em estabilizados, de liberação lenta e de liberação controlada (GUELF, 2017).

Fertilizantes estabilizados apresentam aditivos que evita a transformação do N em formas passíveis de perdas, como os inibidores de nitrificação, que atuam após a aplicação do fertilizante no solo, inibindo a transformação de amônio em nitrato, reduzindo a lixiviação do nitrato; e inibidores de urease que reduzem a conversão do N da formas amídicas para amoniacal, reduzindo a formação de amônia no sistema e conseqüentemente as perdas por volatilização (DOMINGHETTI et al., 2016; TRENKEL, 2010; TIMILSENA et al., 2015). O aditivo que mais se destaca no Brasil é o NBPT, que tem a capacidade de reduzir a atividade da urease, formando ligações químicas com os sítios de absorção da enzima, proporcionando um atraso no pico de volatilização, e possibilitando mais tempo para o fertilizante ser incorporado ao solo (CANCELLIER et al., 2016; GUELF, 2017; WATSON et al., 2008; MIKKELSEN 2009).

Para fertilizantes de liberação lenta, destaca-se a Ureia Formaldeído, sendo a mais utilizada na agricultura mundial (GUELF, 2017). É produzida a partir da condensação da ureia com aldeídos, visando atrasar a disponibilidade do N no solo, expondo menor quantidade de ureia à volatilização, porém a velocidade não é controlável, e varia de acordo com condições de clima, solo, tamanho do grânulo, atividade microbiológica, teor de argila e pH. No cafeeiro pode apresentar uma redução de até 96% de perdas quando comparada à ureia convencional (TRENKEL, 2010; AZEEM et al., 2014 DOMINGHETTI et al., 2016).

Fertilizantes de liberação controlada são fertilizantes convencionais recobertos por resina plástica, e ou enxofre elementar, e ou polímeros, que servem de barreira física controlando a passagem do nutriente por difusão, controlando o tempo e a quantidade de nutrientes liberados na solução do solo (TRENKEL, 2010; NI et al., 2011). São consideradas boas alternativas, visto que são capazes de disponibilizar nutrientes no momento certo da demanda nutricional da cultura de interesse, ao longo de seu ciclo, minimizando as perdas ocorridas para o ambiente assim como redução de custos com o parcelamento da aplicação (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

A utilização de blends, que são a mistura entre ureia convencional e fertilizantes de eficiência aumentada pode ser uma alternativa para reduzir o custo total de fertilizante aplicado, pois são capazes de fornecer uma liberação gradual do nutriente, no momento mais demandado pela planta (TRENKEL, 2010; GUO et al., 2017).

Diante deste cenário, se dá a necessidade de estudos que apontam um melhor custo benefício para o fornecimento deste insumo tão demandado pela cafeicultura, comparando o custo de aquisição entre as diferentes fontes, e representatividade no custo de produção.

2.5 Custos de produção

A sustentabilidade da cafeicultura brasileira depende da eficiência dos sistemas de produção, que seja uma atividade lucrativa mas que ao mesmo tempo seja pautada nos valores ambientais e sociais. Para ter rentabilidade, é evidente que devemos buscar um aumento na produtividade, bem como a reduzir custos. Para a fase de implantação, os fertilizantes e corretivos podem representar até 22% no custo de produção total das lavouras, já para lavouras implantadas e em produção esse custo pode chegar à 26% do total investido (NASSER et al., 2012). Além de aumentar a eficiência destes insumos, pode-se buscar a otimização deste percentual investido, entendendo e aplicando os princípios dos 4C's (dose certa, fonte certa, local certo, e momento certo).

Maior parte dos fertilizantes comercializados no Brasil são importados (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS-ANDA, 2022), e saber o momento certo para adquirir estes insumos também é uma estratégia de gestão.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho baseou-se no referencial da pesquisa bibliográfica, que consiste em um levantamento de trabalhos científicos aprofundando o conhecimento sobre a cultura do café, a eficiência dos fertilizantes nitrogenados no cafeeiro, o custo de produção e as tecnologias para fertilizantes nitrogenados. Trata-se de uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e descritiva, sendo considerada uma abordagem tanto qualitativa como quantitativa.

Com o intuito de aprimorar o estudo e demonstrar os avanços acerca do tema, foram usados dados de referência de trabalhos realizados pelo professor Douglas Guelfi da Universidade Federal de Lavras, analisando os resultados obtidos por diferentes fontes de fertilizantes utilizados na cultura de interesse (*Coffea arabica L.*).

Para a análise de custo, foram utilizados dados reais de diferentes fazendas de consultoria localizadas no Sul de Minas Gerais, no ano de 2022, atendidas pelo grupo Rehagro-Consultoria Café e Gestão. As informações consideradas foram: tipo de mão de obra, custos operacionais e estratégias de compra dos insumos, nas quais permitiram analisar diversos aspectos acerca do tema.

Para o preço dos fertilizantes, foram realizadas cotações regionais em distribuidoras especializadas. Como metodologia de análise, avaliou-se o custo por concentração de N (%) de cada fonte, correlacionando dados de perdas por volatilização, e preço de aquisição, buscando compreender qual é a mais assertiva nos sistemas de manejo sul-mineiro, avaliados neste estudo. Salienta-se que para esta análise, o custo operacional e número de parcelamentos foram considerados.

Para o desenvolvimento do trabalho não foram levantados dados de produtividade, portanto para realizar essa análise foi considerado apenas o custo efetivo baseado nas perdas causadas pelas fontes de fertilizantes nitrogenados utilizadas, e na redução do parcelamento desta operação.

Para a coleta das informações, foram realizadas buscas em base de dados científicas e bibliotecas virtuais, assim como sites de caráter públicos, nos quais foram previamente analisados para a composição deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qual a porcentagem de perdas por volatilização dos fertilizantes nitrogenados?

Sabe-se que os principais fertilizantes nitrogenados mais usados na cafeicultura são a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio. Dentre todos os nitrogenados, a ureia é o mais usado, devido à sua alta concentração de N, o que torna menor custo quando comparado aos demais (FERNANDES, 2022). O nitrato de amônio é uma das fontes nitrogenadas mais eficientes, pois metade da sua composição está na forma amoniacal e a outra metade na forma nítrica, essa combinação propicia uma menor perda por volatilização, no entanto, por estar prontamente disponível na solução do solo, torna-se mais susceptível as perdas por lixiviação (COLOMBO 2017). O sulfato de amônio, possui baixa concentração de N, entretanto, ele se torna útil em solos com baixos teores de enxofre. É bastante utilizado, pois possui boas propriedades químicas, que diminuem suas perdas por volatilização (FERNANDES, 2022).

Dominghetti et al. (2016) estudando a perda acumulada de N por volatilização em diferentes fontes nitrogenadas em uma lavoura de café no Sul de Minas Gerais, observaram que as perdas de N da ureia convencional (31,2%) são superiores aquelas relacionadas ao nitrato de amônio, que chegou a uma perda acumulada de apenas 0,3%, independente das condições climáticas. Em outro estudo, Dominghetti et al (2017), observaram que o sulfato de amônio e o nitrato de amônio promovem as menores perdas de N em relação à ureia convencional.

Segundo Melo et al.; (2022), a utilização de fontes com tecnologias que minimizam as perdas de N, tornou-se uma realidade na cafeicultura, dentre elas, destaca-se a ureia formaldeído, de liberação lenta e fontes de liberação controlada, bem como, ureia revestida com enxofre elementar e polímeros (GUELFY, 2017), devido à sua facilidade de aplicação, fornecimento gradual do nutriente e redução dos custos operacionais da aplicação (NORONHA et al., 2022), pois estes não necessitam de parcelamentos no campo, diminuindo as perdas por lixiviação, e volatilização (SANTINATO et al., 2012). De acordo com Cantarella (2007) o uso desse tipo de fertilizante pode reduzir 80% das perdas por volatilização

A fonte utilizada para o fornecimento de N influencia diretamente a produtividade da lavoura (VENTURIM et al., 2018). No estudo de Franco Junior et al. (2019), testando fertilizantes de liberação controlada no café, onde foi observada uma diferença de 3,2 sacas em relação aos nitrogenados convencionais, resultando em incremento na produtividade. Foi constatado no estudo de Chagas et al. (2016) que a ureia revestida com enxofre elementar + polímeros, promoveram uma diminuição de aproximadamente 56% na volatilização de amônia em comparação com a ureia sem revestimento. Em 1 ano de avaliação a perda acumulada da ureia chegou a 83,4 kg de N ha⁻¹, e a do blend (ureia revestida com S elementar + polímero) na dose de 450 Kg por hectare, chegou a 47,4 kg de N ha⁻¹. O revestimento com os polímeros contribuem para uma diminuição da perda de N via volatilização, pois o revestimento impede que o grânulo da ureia esteja em contato direto com a umidade do ar e do solo, reduzindo assim o risco de formação de amônia e conseqüentemente a sua volatilização (PENG et al., 2015).

Apesar de serem fontes com menores percentuais de perda do N quando comparados à ureia convencional (estudos citados acima), os fertilizantes de eficiência aumentada normalmente apresentam um valor de mercado mais alto que os fertilizantes convencionais (TRENKEL, 2010), o que limita o seu uso em grande escala. Neste sentido, um outro questionamento surge: Qual a importância de escolher a fonte certa?

Diversos aspectos devem ser levados em consideração no momento da escolha de um fertilizante, dentre eles, as condições edafoclimáticas, manejo de correção química, o tipo de fertilizante, o tipo de aplicação, as exigências das culturas e os custos dos fertilizantes.

Ter ciência das condições edafoclimáticas da região onde está localizada a lavoura é um fator fundamental na escolha dos fertilizantes, pois dependendo da condição do ambiente e de alguns aspectos do solo, pode ocorrer a diminuição da eficiência do fertilizante aplicado. No estudo de Tasca et al., (2011) foi observado que a perda acumulada de N por volatilização foi de 50% em uma condição onde a temperatura ambiente estava em torno de 35 °C, e elevando

assim também a temperatura do solo. Nesse mesmo estudo foi visto que diferentes fontes promoveram volatilização de maneiras diferentes com a variação da umidade do solo.

Segundo Guelfi (2017), os fertilizantes apresentam custos diferentes dependendo das tecnologias empregadas em cada um, os preços podem diminuir na seguinte ordem: liberação controlada, liberação lenta, blends, estabilizados e convencionais. Mesmo sabendo que os fertilizantes com tecnologias podem reduzir as perdas de N nos sistemas agrícolas, contribuindo para o aumento da qualidade e da produtividade da colheita, ao escolher a fonte, deve-se levar em consideração a rentabilidade econômica e os impactos ambientais mitigados por estes fertilizantes.

4.2 Quanto isso impacta no custo de produção variável (CPV)?

Ao observar os custos totais de produção das fazendas de consultoria do Grupo Rehagro Gestão em parceria com o time café, nota-se que o valor médio gasto com corretivos e fertilizantes, corresponde a 31% do custo total, variando de 25 a 35% na safra de 2021/2022. O maior custo com fertilizantes visto foi de 6.062,84 reais, na Fazenda N, o que corresponde a 32% dos custos totais e o menor valor observado foi de 2.415,19 reais na Fazenda B, correspondendo a 22% do valor total (Tabela 1). Este valor está acima dos valores mencionados por Nasser (2012), onde reportou que os custos relacionados à corretivos e fertilizantes para a cultura do café chegam a representar até 26% do custo total de produção. Esta variação está relacionada principalmente na eficiência da gestão da fazenda, em saber o melhor momento para aquisição destes insumos, o que pode influenciar no preço pago por eles, assim como no custo total gasto pela fazenda.

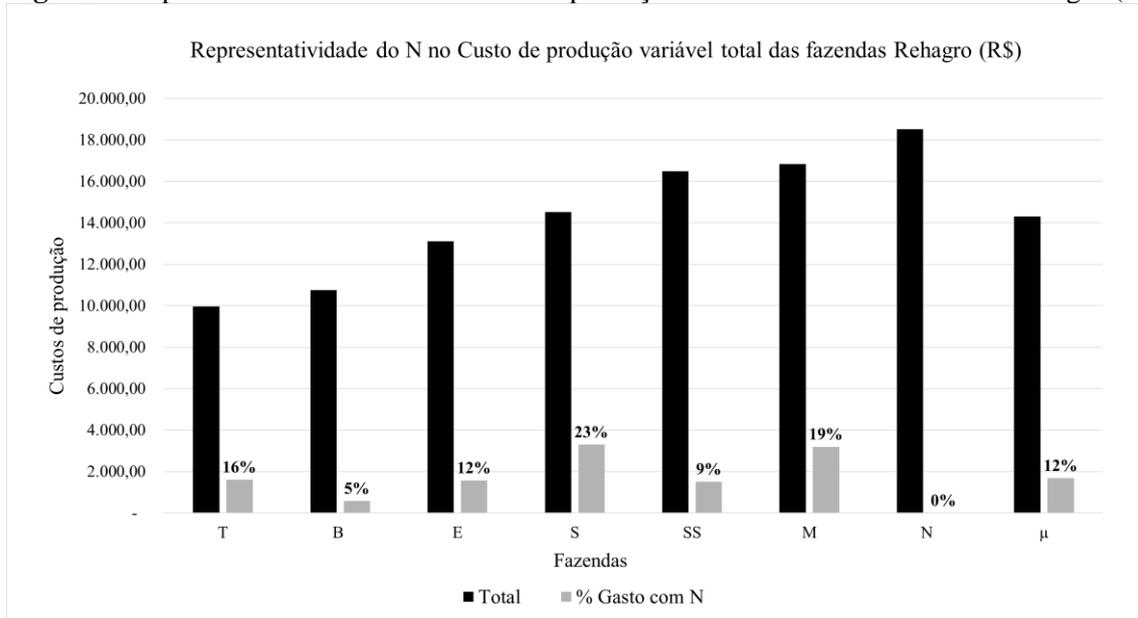
Tabela 1: Discriminação de custos totais da safra 2021/2022 de 7 fazendas de consultoria do Grupo Rehagro.

ITEM	Safra 2021/2022							MÉDIA
	M	S	B	N	T	SS	E	
Insumos Agricultura	7.632,58	5.871,03	4.161,30	9.511,03	4.454,29	5.835,17	6.563,64	6.289,86
Fertilizantes	5.413,82	3.225,68	2.415,19	6.062,84	2.607,11	3.640,78	2.818,12	3.740,51
Nitrogenados	3.199,08	1.515,50	581,56	-	1.610,32	3.299,74	1.573,03	1.682,75
Potássio	1.330,43	16,08	1.741,21	-	420,68	-	300,78	544,17
Folhares	334,35	315,46	92,42	-	330,13	264,99	571,05	272,63
Orgânicos	549,97	1.378,63	-	-	245,99	76,05	373,26	374,84
Pessoal	4.653,85	6.215,95	3.211,56	3.796,17	2.730,51	3.733,26	2.582,46	3.846,25
Administrativas	138,24	897,12	50,17	265,30	151,11	251,44	52,34	257,96
Máquinas / Veículos / Implementos	2.131,36	2.550,01	2.316,30	2.971,69	1.825,58	2.525,98	2.447,81	2.395,53
Manutenção de Benfeitorias	843,51	384,52	31,93	359,48	215,11	216,97	53,57	300,73
Serviços de Terceiros	1.118,71	536,78	704,04	251,16	476,90	1.568,26	697,91	764,82
Comercial	247,03	33,55	283,37	-	111,12	394,57	224,61	184,89
Manutenção irrigação	83,71	-	-	1.361,79	-	-	490,37	276,55
TOTAL	16.848,98	16.488,97	10.758,66	18.516,61	9.964,62	14.525,66	13.112,71	14.316,60

Fonte: Dados adaptados do Grupo Rehagro (2023). Letras M, S, B, N, T, SS, E representam os nomes das fazendas.

Vale salientar que os gastos com fertilizantes nitrogenados em todas as fazendas, exceto na B, foram superiores aos demais nutrientes. O maior custo com fertilizante nitrogenado observado foi de R\$ 3.299,74 na fazenda S representando 23% do custo de produção variável (CPV), e o menor foi de R\$ 581,56 na fazenda B, representando apenas 5% do CPV, o que pode ser explicado devido à fortes chuvas de granizo ocorridas nesta safra, atingindo grande parte das lavouras, o que resultou em redução do potencial produtivo, fator preponderante para a recomendação das doses de N, tendo um corte significativo nas adubações nitrogenadas, o que reduziu o percentual gasto com fertilizantes nitrogenados neste respectivo ano (Figura 2).

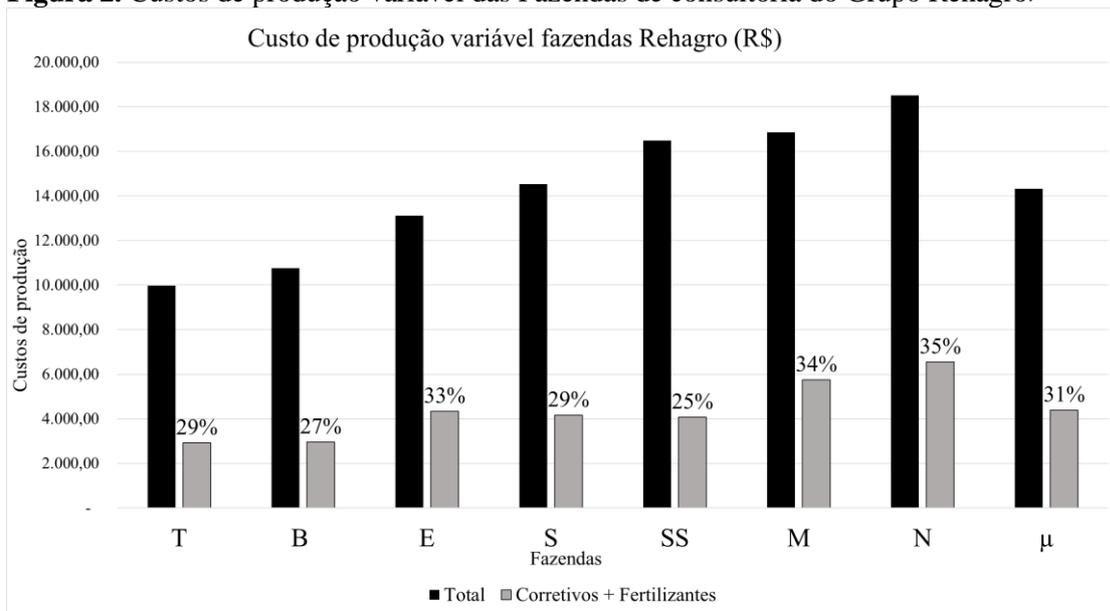
Figura 1. Representatividade do N no custo de produção variável total das fazendas Rehagro (R\$).



Fonte: Dados adaptados do Grupo Rehagro (2023).

Foi alcançado um CPV médio de R\$14.517,25, onde 12% deste valor corresponde aos fertilizantes nitrogenados (Figura 3). Este número representa extrema importância para a nutrição do cafeeiro, pois se trata de insumos responsáveis pelo fornecimento de nutrientes fundamentais para o desenvolvimento vegetativo e eficiência produtiva das lavouras (TAIZ; ZAIGER, 2004).

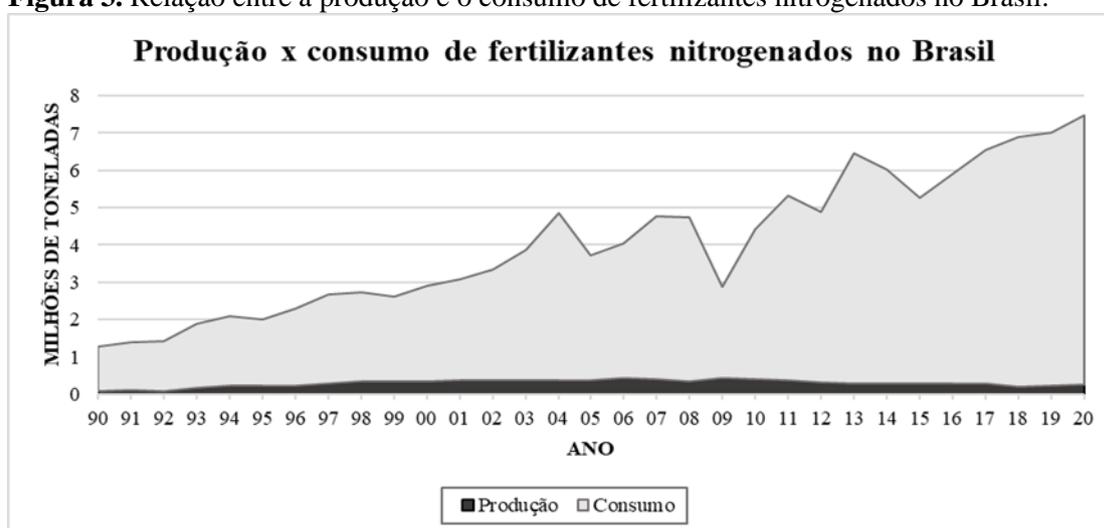
Figura 2. Custos de produção variável das Fazendas de consultoria do Grupo Rehagro.



Fonte: Dados adaptados do Grupo Rehagro (2023).

Sabe-se que grande parte dos fertilizantes nitrogenados utilizados no Brasil são importados, o que significa que são influenciados pelo mercado mundial, englobando fatores econômicos e políticos. Observando a figura abaixo (Figura 4), nota-se que desde 1990, o consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil corresponde à um valor bem mais elevado do que a produção interna deste insumo. No ano de 2020, o consumo interno de fertilizantes nitrogenados no Brasil chegou à 7,2 mi de toneladas, alcançando o maior consumo desde 1990, percebe-se também, que a produção nacional de fertilizantes varia, não chegando à 1 milhão (mi) de toneladas.

Figura 3. Relação entre a produção e o consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil.



Fonte: Adaptado de FAO (2023).

4.3 Quanto custa uma aplicação nitrogenada mecanizada no cafeeiro?

Para responder este questionamento, duas informações devem ser levadas em conta: Tempo gasto para realizar a operação de adubação em 1 hectare de café, considerando o sistema como mecanizado, e o preço médio da hora máquina. Cotações atuais de mercado na região do Sul de Minas Gerais apontam um valor médio de R\$150,00 a hora máquina, já incluindo o valor da mão de obra do operador. De acordo com a equipe técnica de consultores do time café do grupo Rehagro, para se realizar a operação de adubação mecanizada, há um gasto médio de 0,9 horas para cada hectare. Sendo assim, o valor médio operacional por aplicação de fertilizante é de R\$135,00 por hectare. Se considerarmos 3 parcelamentos, o valor alcança uma média de R\$405,00 por hectare. Contudo este valor pode ser alterado em função do relevo, espaçamento da lavoura e qualidade do equipamento, dessa forma, a realidade de cada fazenda deve ser considerada ao determinar os custos de aplicação.

4.4 Qual a melhor opção referente à associação entre perda e custo operacional?

As fontes de fertilizantes nitrogenados utilizadas para avaliação neste trabalho foram (Tabela 2).

Tabela 2. Fontes de Fertilizantes avaliadas e porcentagem de nutrientes.

Fontes	% de nutrientes		
	N	P	K
Ureia convencional	45	00	00
Formulado base Ureia	20	00	20
Formulado base Nitrato de amônio	21	00	21
Nitrato de amônio	30	00	00
Organomineral	14	02	14
Sulfato de amônio	21	00	00
Ureia + NBPT	46	00	00
Ureia + polímero + enxofre elementar	39	00	00

As cotações foram realizadas nas principais regiões produtoras do sul de Minas, nas empresas: ICL, Nutrien, Minasul cooperativa, Casa do adubo e Agrogalaxy, com os valores atualizados em 18/07/2023, e foi considerado para este trabalho os valores médios por tonelada de produto (Tabela 3). Para os valores obtidos, foi realizado a média entre 2 valores para todas as fontes acima, cotadas em diferentes lojas, e foi observado uma dificuldade de encontrar alguns fertilizantes nesta época do ano, como o Nitrato de amônio e ureia + NBPT.

Tabela 3. Custo de N em diferentes fontes de fertilizantes.

Fertilizante	% N	%P	%K	R\$/Tonelada	R\$/ kg de N
Formulado base Nitrato de amônio	21	00	21	2.130,00	5,77
Ureia convencional	45	00	00	2.967,50	6,59
Nitrato de amônio	30	00	00	2.045,00	6,82
Ureia + NBPT	46	00	00	3.256,00	7,08
Formulado base Uréia	20	00	20	2.300,00	7,13
Ureia + polímero + enxofre elementar	39	00	00	3.900,00	10,00
Sulfato de amônio	21	00	00	2.400,00	11,43
Organomineral	14	02	14	2.300,00	12,06

A Tabela 3, discrimina o preço por Kg de N contido em cada fonte utilizada. É importante mencionar que para este cálculo foi subtraído o valor do potássio contido na fórmula do fertilizante, com um valor médio de mercado de R\$2625,50. Sabendo-se da ocorrência das diferentes perdas por volatilização da ureia, dentre as diferentes fontes utilizadas, foi necessário realizar um reajuste no cálculo das doses em função das perdas. Para as fontes com base em ureia convencional foram acrescentados 31,7 % a mais na quantidade total de N recomendada, de acordo com Domingueti et al. (2016), e para a fonte de ureia com polímero + enxofre elementar foi acrescentado 13,7% referente aos 56% de redução de volatilização quando

comparado à ureia convencional, de acordo com Chagas et al., (2016). Para a fonte ureia + NBPT foi considerado um acréscimo de 22,5% de N, segundo a média de 2 anos obtida no trabalho de Freitas et al. (2020).

A dose média de referência considerada neste trabalho foi de 434 kg de N por hectare (Tabela 4). Esta dose é normalmente recomendada para lavouras de potencial produtivo em torno de 70 sc/ha, considerando os 6,2 kg de N por saca produzida (MATIELLO, 2010), resultando nas seguintes doses com os respectivos valores:

Tabela 4. Valores médios da dose de N em diferentes fontes nitrogenadas.

Fertilizante	Dose recomendada Kg/hectare	Dose corrigida kg/hectare	R\$ /hectare
Formulado base Nitrato de amônio	434	434,0	2.505,42
Nitrato de amônio	434	434,0	2.958,43
Ureia + NBPT	434	531,7	3.763,16
Ureia convencional	434	571,5	3.768,73
Formulado base Uréia	434	571,5	4.074,80
Ureia + polímero + enxofre elementar	434	493,4	4.934,00
Sulfato de amônio	434	434,0	4.960,00
Organomineral CP	434	434,0	5.233,42

Para o cálculo final foi acrescentado o custo operacional (COT) para identificar a fonte mais viável com este valor embutido. Portanto, ao analisar a tabela 5, nota-se que houve uma variação de R\$2.728,00 entre as fontes, sendo que o formulado base nitrato de amônio foi considerada a fonte mais viável economicamente, e o Organomineral a menos viável economicamente.

Na tabela abaixo estão os fertilizantes nitrogenados mais utilizados na cafeicultura com seus respectivos custos, ordenados do menor custo para o maior custo, considerando o número de parcelamentos e custo por tonelada de N recomendada por hectare. Primeiramente, destaca-se o formulado 21 00 21, com base em nitrato de amônio (R\$ 2.505,42), seguindo pelo nitrato de amônio convencional (R\$2.958,43) e ureia + NBPT (R\$3763,16) com 3 parcelamentos, representando reduções de custo significativas quando comparado ao Organomineral 14 02 14 (R\$ 5.233,42).

Tabela 5. Custos de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados de acordo com o número de parcelamentos.

	R\$/hectare	Nº parcelamentos	R\$ Final
Formulado base Nitrato de amônio	2.505,42	3	2.910,42
Nitrato de amônio	2.958,43	3	3.363,43
Ureia + NBPT	3.763,16	3	4.168,16
Ureia convencional	3.768,73	3	4.173,73
Formulado base Uréia	4.074,80	3	4.479,80
Ureia + polímero + enxofre elementar	4.934,00	1	5.069,00
Sulfato de amônio	4.960,00	3	5.365,00
Organomineral	5.233,42	1	5.368,42

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fazer a escolha da fonte de fertilizante nitrogenado de forma assertiva, reduz possíveis perdas destes insumos e fornece a quantidade suficiente de nutriente para o cafeeiro. O posicionamento da fonte certa analisando a realidade de cada fazenda, aliado ao momento de aquisição destes insumos promove um aumento no lucro econômico da atividade.

Fertilizantes a base de nitrato de amônio são mais viáveis economicamente no atual cenário da cafeicultura sul-mineira, entretanto, o uso de tecnologias responsáveis por reduzir perdas de N por volatilização, também são viáveis quando compradas no momento certo (Tabela 5) mostra que a ureia + NBPT se mostra mais viável economicamente que algumas fontes convencionais, como ureia convencional e sulfato de amônio.

Após o incremento na dose dos fertilizantes para suprir as perdas por volatilização, a ureia convencional teve um aumento no custo em R\$906,12; A ureia + NBPT de R\$691,70; E a ureia com polímero + enxofre elementar de R\$594,00.

A redução de parcelamentos da Ureia + NBPT + enxofre elementar não proporcionou maior viabilidade econômica quando comparada aos fertilizantes: formulado com base em nitrato de amônio, nitrato de amônio, ureia + NBPT, ureia convencional, e formulado com base ureia.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C.; FRANTZ, J.; BUGBEE, B. Macro- and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 1, p. 76-88, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.201200156>. Acesso em: 14 de jul de 2023.
- BORTOLOTTI, R. P. Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano. (Tese) – Doutorado em Fitotecnia - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, p.105, 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-17032011-170410/publico/Rafael_Pivotto_Bortolotto.pdf. Acesso em: 14 de jul de 2023
- CABEZAS, W. A. R. L.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300018>. Acesso em: 14 de jul de 2023
- CABEZAS, W. A. R. L.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 2, p. 2343- 2353, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/JL87ZTKYdNjNfytrbm76YSw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 de jul de 2023
- CANCELLIER, E. L. et al. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016402031115>. Acesso em: 14 de jul de 2023
- CANNAVO, P. et al. Low nitrogen use efficiency and high nitrate leaching in a highly fertilized Coffea arabica-Inga densiflora agroforestry system: A 15N labeled fertilizer study. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** v. 95, p.377–394, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10705-013-9571-Z/TABLES/7>. Acesso em: 12 de jul de 2023.
- CANTARELLA, H. Efficient use of N in new fertilizer products. In: NITROGEN CONFERENCE, 4., Costa do Sauípe, 2004. **Anais...** Costa do Sauípe, p. 44, 2007.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1017, 2007.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v. 2 p. 15-65, 2010.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlledreleased urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 497-509, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016405008916>. Acesso em: 14 de jul de 2023.
- COLOMBO, M. Produtividade do milho safrinha em função de fontes de nitrogênio e estádios de aplicação. (Monografia) – Universidade Federal do Paraná. Palatina, p. 15, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/62301>. Acesso em: 17 de jul de 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Custos de produção**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/798-cafe-arabica>. Acesso em: 12 jun. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamentos de safra: Sº levantamento da safra café: safra 2023**. Brasília: CONAB, p. 98, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 12 jun. 2023.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL (CECAFE). **Estatísticas**. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>. Acesso em: 17 de jul de 2023.

CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2010. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/artigos102010/380.pdf>. Acesso em: 16 de jul de 2023.

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

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.631-637, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400007>. Acesso em: 12 jun. 2023.

CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M.; LIMA, L. A. Efeito da irrigação sobre a classificação do café. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 691-701, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000400012>. Acesso em: 16 de jul de 2023.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 2, p. 173-183, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016402029615>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DOMINGHETTI, A.W. et al. Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados na cafeicultura. **Anais...** 43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas MG Poços de Caldas: Embrapa Café, p. 434, 2017. Disponível em: http://200.235.128.121/bitstream/handle/123456789/9735/15501_43-CBPC-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 de jul de 2023.

DUARTE, S. L.; FEHR, L. C. F. de A.; TAVARES, M.; REIS, E. A. dos. Comportamento das Variáveis dos Custos de Produção da Cultura do Café no Período de Formação da Lavoura. **Contabilidade Vista & Revista**, v. 24, n. 4, p. 15–33, 2015. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/contabilidadevistaerevista/article/view/1308>. Acesso em: 19 de jul de 2023.

FAN, X.H; LI, Y.C. Nitrogen Release from Slow-Release Fertilizers as Affected by Soil Type and Temperature. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 5, pág. 1635-1641, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0363>. Acesso em: 16 de jul de 2023.

FAO. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Rome. p.224,2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

FAVARIN, J. L.; et al. Balanço nutricional em café: estudo de caso. **Visão agrícola**, v. 8, n. 12, p. 79-81, 2013. Disponível em: <va12-fertilidade-e-nutricao03.pdf> (usp.br). Acesso em: 12 de jul de 2023.

- FENILLI, T. A. B. et al. Fertilizer 15N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 4. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400010>. Acesso em: 12 de jul de 2023.
- FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 13/14, p. 1741-1751, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103620701435514>. Acesso em: 12 de jul de 2023.
- FERNANDES, M. C. S. Estudo da indústria de fertilizantes nitrogenados: fontes, produção, mercado e impacto ambiental. (**Monografia**) – Universidade Federal de Uberlândia, p. 52, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34949/1/EstudoDaInd%c3%bacia.pdf>. Acesso em: 17 de jul de 2023.
- FRANCO JUNIOR, K. S. Et al. Avaliação do adubo de liberação lenta no desenvolvimento inicial e produção de café. **Coffee Science**, v. 14, n.4, pág.538–543, 2019. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1651>. Acesso em: 17 de jul de 2021.
- GLOBALFERT. **3º Relatório anual do mercado de fertilizantes – 2022**. p. 168. 2023. Disponível em: <https://globalfert.com.br/outlook-globalfert/>. Acesso: 18 de jul de 2023.
- GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, Belo Horizonte, n. 157, p. 1-14, 2017. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/90DE38570A7216CB832580FB0066E3B4/\\$FILE/Jornal-157.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/90DE38570A7216CB832580FB0066E3B4/$FILE/Jornal-157.pdf). Acesso em: 14 de jul de 2023.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, p. 289-302, 1999.
- GUO, J. et al. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yielding (> 15Mgha⁻¹) maize. **Field Crops Research**, v. 204, p. 23-30, 2017. Disponível em: DOI:10.1016/j.fcr.2016.12.021. Acesso em: 14 de jul de 2023.
- HUSSAIN, M.; DEVI, R. R.; MAJI, T. K. Controlled release of urea from chitosan microspheres prepared by emulsification and cross-linking method. **Iranian Polymer Journal**, v. 21, n. 8, p. 473-479, 2012. Disponível em: DOI: 10.1007/s13726-012-0051-0. Acesso em: 14 de jul de 2023.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Estatísticas do comércio: produção: total production by all exporting countries**. p. 1, 2017. Disponível em: <http://www.ico.org/prices/production.pdf>. Acesso em: 12 de jul de 2023.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas e máximas**. São Paulo: Agronômica CERES, p. 210, 1993.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, p. 165-274, 1986.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, p. 238, 1997.

MARCHESAN, E. et al. Fontes alternativas à ureia no fornecimento de nitrogênio para o arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2053-2059, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001200003>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

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

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F. J.; JENKINSON, D. S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, 2, p. 205-562. Disponível em: https://www.chesapeake.org/stac/presentations/63_Meisinger%20J_2008a_Soil%20nitrogen%20budgets.pdf. Acesso em: 14 de jul de 2023.

MESQUITA, C. M. de et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, p. 72, 2016. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_manejo_cafezais_producao.pdf. Acesso em: 17 de jul de 2023.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops**, v. 93, n. 4, p. 9-11, 2009. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F2665E4E07764FD485257980006F231E/\\$FILE/Better%20Crops%202009-4%20p9.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F2665E4E07764FD485257980006F231E/$FILE/Better%20Crops%202009-4%20p9.pdf). Acesso em: 14 de jul de 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Informe Estatístico do Café - 2007-2008**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2016a. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/agroestatisticas/cafe/informe-estatistico-do-cafe-2007-2008.xls/view>. Acesso em: 12 de jul. 2023.

NASSER, M. D. et al. Análise econômica da produção de café arábica em São Sebastião do Paraíso, estado de Minas Gerais. **Informações Econômicas**, v. 42, n. 2, p. 5-12, 2012. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2012/tec1-03-04-2012.pdf>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, n. 2, p. 309-318, 1973. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42932391>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

NORONHA, M. V. O. et al. Diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados no desenvolvimento do cafeeiro. **Anais...15º Jornada Científica e Tecnológica e 12º Simpósio de Pós-Graduação do IF sul de minas**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/172/150>. Acesso em: 17 de jul de 2023.

OLIVEIRA, E; SILVA, F. M; SALVADOR, N; SOUZA, Z. M.; CHALFOUN, S. M.; FIGUEIREDO, C. A. P. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.827-831, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600009>. Acesso em: 16 de jul de 2023.

PAVINATO, P. S. et. al. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports** v. 10, p.1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>. Acesso em: 12 de jul de 2023.

PENG, X. et al. Laboratory Evaluation of Ammonia Volatilization and Nitrate Leaching following Nitrogen Fertilizer Application on a Coarse-Textured Soil. **Agronomy Journal**, v.107, 3, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272999979_A_Laboratory_Evaluation_of_Ammonia_Volati

lization_and_Nitrate_Leaching_following_Nitrogen_Fertilizer_Application_on_a_Coarse-Textured_Soil. Acesso em: 18 de jul de 2023.

PREZOTTI L. C. Sistema para recomendação de corretivos e de fertilizantes para a cultura do café arábica (**Tese**) – Universidade Federal de Viçosa. p. 93, 2001. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/390/x003f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 de jul de 2023.

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

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, 2013. Disponível em: DOI:10.2134/jeq2013.05.0192. Acesso em: 14 de jul de 2023.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/KrKZVvyqtJ9FBC4tXNTv7rNJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

SANTINATO, R. et al. Reduções dos níveis de NK na adubação mineral do cafeeiro e no número de parcelamentos com utilização de ciclos 19-00-19 e 24-00-12 em lavoura irrigada na região de Araguari, MG. **Anais... Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira**, 2012. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6095>. Acesso em: 17 de jul de 2023.

SHAVIV, A. **Controlled release fertilizers**. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. Disponível em: https://www.fertilizer.org/wp-content/uploads/2023/01/2005_ag_frankfurt_shaviv_slides.pdf. Acesso em: 10 fev. 2017.

SILVA, F. R. Fertilizantes de liberação controlada na adubação de solo em cafeeiros Coffea arábica em produção. **Anais... X Semana de Ciência e Tecnologia do UNIARAXÁ**, p. 11, 2013. Disponível em: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/AGRARIAS_7/AGRONOMIA/ANAIS-XII-MOSTRA-DE-PESQUISA.pdf#page=32. Acesso em 17 de jul de de 2021.

SILVA, J. M.; REIS, R. P. Custo de produção do café na região de Lavras - MG: estudo de casos. **Ciência Agrotecnologia**, v. 25, n. 6, p.1287-1294, 2001. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12870083/custos-de-producao-do-cafe-na-regiao-de-lavras-cloud-editora->. Acesso em: 16 de jul de 2023.

SOUZA, J. A. Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um Latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio. (**Dissertação**) – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, p. 85, 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/5495/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 12 de jul de 2023.

SOUZA, T. L. et al. Nitrogen fertilizer technologies: Opportunities to improve nutrient use efficiency towards sustainable coffee production systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 345, p. 108317, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108317>. Acesso em: 12 de jul de 2023.

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

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493- 502, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200018>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

TIMILSENA, Y. P. et al. 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, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>. Acesso em: 14 de jul de 2023.

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

TRENKEL, M. E. **Slow and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. ed.2: IFA, International Fertilizer Industry Association p. 163, 2010. Disponível em: http://repo.upertis.ac.id/1628/1/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf. Acesso em: 14 de jul de 2023.

VENTURIM, C. H. P., FERREIRA, G. H., SILVA, A. M. Resposta do cafeeiro à adubação nitrogenada com inibidores de urease comparada à convencional. **Anais... 44º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Poços de Caldas MG, 2018 Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11749/262_44-CBPC-2018.pdf?sequence=1. Acesso em 17 de jul de de 2021.

WATSON, C. J. et al. Rate and mode of application of the uréase inhibitor N-(n-butyl) thiosphosphoric triamid on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil use and Management**, v. 24, n. 3, p. 246-253, 2008. Disponível em: DOI: 10.1111/j.1475-2743.2008.00157. x. Acesso em: 14 de jul de 2023.

