



MATEUS PORTES DUTRA

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL FOLIAR E BLENDS DE
FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA EM
CAFEEIROS EM PRODUÇÃO**

LAVRAS – MG

2022

MATEUS PORTES DUTRA

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL FOLIAR E BLENDS DE FERTILIZANTES DE
EFICIÊNCIA AUMENTADA EM CAFEEIROS EM PRODUÇÃO**

Dissertação 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 Mestre.

Profa. Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza
Orientadora
Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Coorientador

LAVRAS - MG

2022

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

Dutra, Mateus Portes.

Diagnóstico nutricional foliar e blends de fertilizantes de
eficiência aumentada em cafeeiros em produção / Mateus Portes

Dutra. - 2021.

76 p. : il.

Orientador(a): Adélia Aziz Alexandre Pozza.

Coorientador(a): Douglas Guelfi.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Equipamentos portáteis. 2. Diagnose foliar. 3. Fertilizantes
de eficiência aumentada. I. Alexandre Pozza, Adélia Aziz. II.
Guelfi, Douglas. III. Título.

MATEUS PORTES DUTRA

**DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL FOLIAR E BLENDS DE FERTILIZANTES DE
EFICIÊNCIA AUMENTADA EM CAFEEIROS EM PRODUÇÃO**

**FOLIAR NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND BLENDS OF ENHANCED
EFFICIENCY FERTILIZERS IN PRODUCTION COFFEE TREES**

Dissertação 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 Mestre.

APROVADA em 16 de agosto de 2021.

Dr. Edson Marcio Mattiello

UFV

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

EPAMIG

Dr. Vitor de Laia Nascimento

UFLA

Profa. Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza

Orientadora

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva

Coorientador

LAVRAS - MG

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por abençoar minha vida todos os dias e me conceder saúde para trabalhar e alcançar os meus objetivos.

A Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e a todo o corpo docente do Departamento de Ciência do Solo (DCS) e demais departamentos, por ter me concedido um ensino de qualidade do qual vou carregar por toda a minha vida.

À fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos e ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Aos meus pais Joesse Dutra e Euzébio Dutra, aos meus irmãos, Thais Dutra e Elton Dutra, a minha sobrinha Luiza Oliveira e a toda a minha família, por acreditarem em mim e conceder todo o apoio e compartilhar comigo todas as conquistas.

Ao meu padrinho Ademar Dutra, pelos ensinamentos sobre a vida e a cultura do cafeeiro que me guiam deste então na minha carreira profissional do qual foi fundamental na escolha de minha carreira como engenheiro agrônomo.

A minha namorada Fernanda, pela paciência em relação a distância entre nós, apoio em todas as decisões e ajuda para condução dos experimentos.

Aos meus orientadores, Prof. Dra. Adélia Aziz e Prof. Dr. Douglas Guelfi, por acreditarem em minha capacidade, pela confiança e amizade adquirida durante todo o tempo de trabalho, pelos conselhos e ensinamentos que irie carregar por toda a minha carreira profissional.

As amigos do grupo de fertilizantes e corretivos, Leonardo, César, Adrienne, Ana Paula, Maria Elisa, Thalita, Vitor, Hugo, Gustavo e Damiany, pela ajuda, conselhos, apoio para condução dos experimentos e a amizade construída.

Ao Humberto “Seu Humberto” por todo apoio durante a realização de análises em laboratório e pela amizade.

Aos funcionários da Universidade Federal de Lavras, Lívia, Mariene, Denise, Alessandra, “Pezão”, Gilson, Cristina e todos que seguiram trabalhando, onde, mesmo com as dificuldades enfrentadas pela pandemia auxiliaram na realização de análises e mantiveram a nossa Universidade organizada e protegida, para que, os trabalhos pudessem ser realizados.

Ao grupo NKG (Fazenda da Lagoa) por conceder área experimental e para os Funcionários: Patrik, Joaquim, Alexandre, Alisson, Clésio, Célio, Everaldo, Antônio e a todos

os demais profissionais da fazenda que sempre nos ajudaram na condução dos experimentos, pelo conhecimento repassado e pela amizade adquirida.

A Fazenda Samambaia, em especial para Daniela, por conceder área experimental e todo o apoio para condução dos experimentos.

Ao meu amigo Alisson, pela amizade, ajuda e ensinamentos dos quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca de defesa, Prof. Dr. Edson Mattiello, Prof. Dr. Gladyston Carvalho e Prof. Dr. Vitor Nascimento, pela disponibilidade e contribuições que enriqueceram a escrita deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ou Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

A todos que de forma direta ou indiretamente ajudaram na realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

A adoção de tecnologias para a nutrição mineral equilibrada do cafeeiro arábica representa um importante papel para dar suporte à produtividade da cultura, assim como à sustentabilidade do cafeicultor na atividade agrícola. Neste sentido, o uso de equipamentos portáteis para diagnosticar o estado nutricional, e de fontes de fertilizantes de eficiência aumentada foram avaliados com o intuito de otimizar o diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica e aumentar a eficiência de uso de nutrientes para a cultura. Sendo assim, objetivou-se no primeiro artigo, determinar os teores dos nutrientes N, K e Ca no extrato foliar do cafeeiro, com o aparelho portátil seletivo de íons, correlacionando-os com os teores determinados na folha por método de digestão ácida, a fim de se obter uma metodologia, eficaz e de rápida resposta. O trabalho foi realizado em lavouras comerciais em fase de produção, divididas entre cultivares de *Coffea arabica* L., Catuaí-IAC99 e Acaíá IAC 474-19. Realizado em dois ensaios, um no manejo padrão da fazenda e outro com variação de doses de nitrogênio. Houve correlação significativa para Ca e K entre as cultivares Acaíá IAC 474-19 e Catuaí IAC 99, sendo alta a correlação para Ca, indicando, em uma primeira avaliação, que para esse nutriente, a técnica apresenta boa tendência de uso dando suporte a novas investigações para validação do método. A correlação foi baixa para K, provavelmente por sua rápida mobilidade na planta. Para o N, não houve correlação significativa entre os métodos. Indicando que os teores de nitrato no extrato foliar, não apresentam concentrações adequada para sua correlação com o teor de N total. Porém, em função das doses de N aplicadas com as duas fontes: nitrato de amônio e ureia observou-se que, os teores de nitrato das folhas do cafeeiro ajustaram-se ao modelo quadrático e não apresentou diferenças significativas para o efeito das fontes. O segundo artigo teve por objetivo avaliar a eficiência de “blends”, por meio da associação de fertilizantes convencionais, de liberação controlada ou lenta, para o cafeeiro em produção. Onde foram utilizados cinco tratamentos com fertilizantes, sendo duas fontes convencionais: Ureia e Nitrato de Amônio, parcelados em três aplicações e três formulações de blends, aplicados em uma única adubação: Blend 1, Blend 2 e Blend 3. Submetidos a variação de doses de N, K₂O e P₂O₅. A liberação de N para os tratamentos blends apresentou diferentes longevidades entre o uso de blends associados a fertilizantes de liberação controlada, em comparação a de liberação lenta. A liberação de nutrientes dos blends 2 e 3, foram superiores em laboratório, comparado ao observado para o teste de campo. Os teores foliares de N e P foram influenciados somente pelo efeito isolado de doses. Entre os testes de liberação de nutrientes, a campo e em laboratório, o blend 2 apresentou-se como a fonte de maior longevidade e ajuste em contraste com a demanda nutricional do cafeeiro. A estratégia de aplicação do Blend 3, em cobertura e incorporado, não influenciou a liberação dos nutrientes N, P e K. As fontes em estudo, assim como a variação de doses de N, P e K, não influenciaram a produtividade, rendimento e renda, para o cafeeiro em seu primeiro ano de avaliação, demonstrando que para a cultura são necessários estudos de médio a longo prazo para dar suporte a interferência no ambiente de produção para o uso de fontes e diferentes doses dos nutrientes N, P e K.

Palavras-chave: Fertilizantes de eficiência aumentada. *Coffea arabica* L. Análise foliar.

GENERAL ABSTRACT

The adoption of technologies for the balanced mineral nutrition of arabica coffee represents an important role to support the productivity of the crop as well as the sustainability of the coffee grower in the agricultural activity. In this sense, the use of portable equipment to diagnose the nutritional status and sources of fertilizers of increased efficiency were evaluated in order to optimize the nutritional diagnosis of arabica coffee and increase the efficiency of use of nutrients for the culture. Therefore, the aim of the first article was to determine the levels of nutrients N, K and Ca in the coffee leaf extract, with a portable ion-selective device, correlating them with the levels determined in the leaf by the acid digestion method, the in order to obtain an efficient and fast-response methodology. The work was carried out in commercial crops in the production phase, divided between cultivars of *Coffea arabica* L. (Catuaí-IAC99 and Acaiaí IAC 474-19), in two trials: one involving the standard management of the farm and the other with varying doses of nitrogen. The results showed a significant Pearson correlation for Ca and K between the cultivars Acaiaí IAC 474-19 and Catuaí IAC 99, with a high correlation for Ca, indicating, in a first evaluation that, that for this nutrient, the technique has a good tendency to use supporting new investigations for method validation. There was low correlation for K, probably due to its rapid mobility in the plant. For N, there was no significant correlation between the methods, indicating that the levels of nitrate in the leaf extract do not present adequate concentrations for their correlation with the content of total N. However, depending on the doses of N applied with the two sources (ammonium nitrate and urea), it was observed that the nitrate contents of the coffee leaves adjusted to the quadratic model and did not present significant differences for the effect of the sources. The second article aimed to evaluate the efficiency of blends, through the association of conventional fertilizers, of controlled or slow-release fertilizers, for coffee in production. Five fertilizers were used: two conventional sources - Urea and Ammonium Nitrate, divided into three applications, and three formulations of blends, applied in a single fertilization - Blend 1, Blend 2 and Blend 3, subjected to varying doses of N, K₂O and P₂O₅. The N release for the blend treatments showed different longevity between the use of blends associated with controlled release fertilizers, compared to the slow release. The release of nutrients from blends 2 and 3 were higher in the laboratory, compared to that observed in the field test. Leaf N and P contents were influenced only by the isolated effect of doses. Among the nutrient release tests (in the field and in the laboratory) blend 2 presented itself as the source of greater longevity and adjustment in contrast to the nutritional demand of the coffee tree. The Blend 3 application strategy, in top dressing and incorporated, did not influence the release of nutrients N, P and K. The sources under study, as well as the variation of N, P and K doses, did not influence productivity, income or yield, output and income or hulling for coffee in its first year of evaluation, demonstrating that medium to long-term studies are needed for the culture to support interference in the production environment for the use of sources and different doses of nutrients N, P and K.

Keywords: Enhanced efficiency fertilizers. *Coffea arabica* L. Leaf analysis.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	9
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
2.1	Diagnóstico nutricional de plantas por meio de equipamentos portáteis	11
2.2	Fertilizantes de eficiência aumentada	13
2.2.1	Fertilizantes de liberação lenta	13
2.2.2	Fertilizantes de Liberação controlada	14
2.3	Blends entre tecnologias de fertilizantes convencionais e de eficiência aumentada	15
2.4	Resposta agronômicas do cafeeiro	15
	REFERÊNCIAS	17
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*	21
	ARTIGO 1 - DIAGNOSE FOLIAR DE N, K E Ca PARA A ESPÉCIE <i>Coffea arabica</i> L., POR MEIO DE EQUIPAMENTOS PORTÁTEIS	21
1	INTRODUÇÃO	24
2	MATERIAL E MÉTODOS	25
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1	Ensaio para o primeiro grupo	28
3.2	Ensaio para o segundo grupo	33
4	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	39
	ARTIGO 2 – BLENDS DE FERTILIZANTES CONVENCIONAIS, LIBERAÇÃO CONTROLADA E LENTA PARA LAVOURAS EM PRODUÇÃO ESPÉCIE <i>Coffea arabica</i> L.	41
1	INTRODUÇÃO	44
2	MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1	Análise de solo	50
2.2	Análise foliar	50
2.3	Produtividade, renda e rendimento	51
2.4	Curva de liberação de nutrientes	52
2.4.1	Teste de liberação a campo	52
2.4.2	Teste de liberação no laboratório	53
2.5	Estatística	54
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1	Curva de Liberação de N, P₂O₅ e K₂O pelos “Blends” em campo	55
3.2	Curva de Liberação de N, P₂O₅ e K₂O pelos “Blends” em laboratório	62
3.3	Dinâmica das concentrações de N-mineral no solo	64
3.4	Teores foliares de N, P e K	68
3.5	Produtividade, renda e rendimento	70
4	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	74

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira é responsável pela produção de cerca de 35% da safra anual de café arábica no mundo, liderando a produção e as exportações do grão. Para a safra de 20/21, estima-se a produção 48.807 mil sacas de café arábica beneficiado em uma área estimada de 1.806,616 mil hectares, sendo que, o estado de Minas Gerais, corresponde a 71.7% do total (CONAB, 2021). Sendo assim, para estado mineiro, a cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas, responsável por promover o desenvolvimento e meio de trabalho para muitas famílias, atribuindo-se em muitos casos, a principal fonte de seu sustento.

Diante da importância socioeconômica da cafeicultura frente a agricultura nacional, a intensificação dos cultivos agrícolas, tendências de crescimento global vinculadas ao manejo sustentável de ecossistemas, requerem a cada ano agrícola, tecnologias de manejo e insumos mais eficientes e que apresentem características sustentáveis ao ambiente de produção. Dentre o uso de insumos, destaca-se estratégias para otimizar o manejo nutricional e tecnologias para o uso de fertilizantes, dos quais apresentam-se entre as principais estratégias adotadas como objetivo deste estudo (Pavinato et al., 2020; Bruuselma et al., 2009).

A análise foliar para o cafeeiro, assim como para as demais culturas perenes, é uma das mais importantes ferramentas de manejo para a avaliação do estado nutricional de plantas. Por meio de seu diagnóstico, o estado nutricional de plantas pode ser avaliado, e em conjunto atribuir-se estratégias para possibilitar adequada nutrição e dar suporte a produtividade (Prado, 2020). Na agricultura moderna, tempo e dinheiro são palavras sinônimas, portanto, estratégias para aprimorar e reduzir o período entre a amostragem e o resultado final do laudo, são vistos com bons olhos e atendem boas perspectivas para adoção a nível de campo, desde que sejam bem correlatadas com os métodos padronizados já existentes.

O uso de equipamentos portáteis constitui uma nova estratégia para diagnose foliar. Atribui-se a sua adequação correlacionar os valores obtidos com a metodologia padrão de análise foliar, gerando-se assim modelos dos quais tem por objetivo antecipar o diagnóstico, pois os equipamentos portáteis apresentam resultado imediato e com isso reduz do tempo para tomada de decisão. Associa-se também ao uso de equipamentos portáteis, a redução da geração de resíduos inorgânicos e utilização de reagentes químicos para análises (Zhou et al., 2020; Paye et al., 2018).

Dentre os equipamentos portáteis em uso na agricultura, destaca-se a calibração de métodos com o uso de medidores de clorofila (SPAD), associado ao elemento nitrogênio e observações para o uso de microeletrodos portáteis seletivos de íons, específicos para os

elementos N-NO⁻³, Ca²⁺ e K⁺ e em trabalhos mais atuais o uso de pXRF (espectrômetro portátil de fluorescência de raio X) (Borges et al., 2020; Godoy et al., 2009; Stevens et al., 2016).

Embora o uso de equipamentos portáteis tenha sido empregado para estudos em diversas culturas agrícolas, apresentando bons índices de correlação entre método convencional e via equipamento portátil (Fontes, 2016), o seu uso em específico para o cafeeiro arábica apresenta poucas informações, se tornando uma lacuna o entendimento da tecnologia dando suporte a novas investigações e a possibilidade de atribuir-se o seu uso para a cultura.

Aumentar a eficiência de uso de nutrientes na agricultura é um desafio atual e resulta em ganhos agronômicos e ambientais, atendendo as premissas da produção sustentável e do conceito 4C (fonte certa, dose certa, local certo, e momento certo). Dentre as novas tecnologias para fertilizantes, que são opções estratégicas neste contexto, os fertilizantes de liberação controlada ou lenta (fertilizantes de eficiência aumentada) podem reduzir as perdas de nutrientes por volatilização, lixiviação e desnitrificação, aumentando a produtividade. Além de outras vantagens como a redução dos custos de aplicação e mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Zhang et al., 2019).

Os fertilizantes de liberação controlada e lenta, são característicos por apresentarem disponibilidade do nutriente de forma gradual em comparação com as fontes solúveis, sendo a liberação do nutriente ajustada à demanda nutricional da cultura de interesse. Sendo que, o fertilizante de liberação controlada é caracterizado por apresentar revestimento do grânulo de fertilizante por polímero orgânico ou inorgânico, o qual exerce proteção física para a liberação do nutriente. As fontes de liberação lenta são produzidas por meio de modificações químicas do fertilizante convencional. Em função da característica de liberação de nutrientes destas fontes, adota-se como benefício de seu uso a adubação em uma única aplicação (Timilsena et al., 2014; Trenkel, 2010).

Atrelado ao uso de fertilizantes de liberação controlada e lenta atribui-se o uso de “blends”, os quais são produzidos a partir da mistura física de diferentes fontes de fertilizantes, sendo que, a associação destas fontes apresenta como vantagens a redução de custos de produção e ajustes na dinâmica de liberação dos nutrientes. Devido à redução de custos a tecnologia permite maior acessibilidade por partes dos produtores comparada ao uso isolado de fontes de liberação controlada ou lenta e condições para aumentar a eficiência do uso de nutrientes em relação as fontes convencionais (Guelfi, 2017; Tong et al., 2018).

Para o cafeeiro arábica a adubação de fontes via solo apresenta alguns critérios para aumentar a eficiência de uso dos nutrientes, sendo assim para as fontes nitrogenadas e potássicas, necessário o parcelamento da adubação. De acordo com trabalhos científicos e o

boletim oficial para o estado de Minas Gerais, a recomendação de aplicação destas fontes segue o parcelamento em 3 a 4 aplicações para o período chuvoso (CFSEMG, 1999; Otto et al., 2021). Nesse caso, a adoção de uso de blends utilizados em uma só aplicação, apresenta-se como estratégia para a redução de custos de aplicação do fertilizante e o ganho em tempo para os demais tratamentos culturais utilizados na lavoura.

De posse do modelo de liberação da fonte empregada, há a possibilidade de realização do posicionamento correto de acordo com a demanda da cultura. Além de poder verificar se a fonte em questão possui atributos para aplicação em uma única dose sem comprometer a nutrição da planta, a dinâmica da disponibilidade de formas minerais no solo dos nutrientes, os quais encontram-se sujeitos a perdas e sua eficiência de uso (Liu et al., 2019; Tong et al., 2018).

Portanto, a abordagem sobre este tema é de grande relevância para a cafeicultura, sendo que, a associação destas fontes apresenta benefícios tanto agrônômicos quanto ambientais e para a sustentabilidade da produção agrícola (Zhang et al., 2021; Tian et al., 2020).

Diante do exposto, buscou-se com este trabalho avaliar no primeiro artigo, a eficiência da análise foliar de nitrogênio, potássio e cálcio para o cafeeiro, por meio do extrato foliar com o uso de equipamentos portáteis. E no segundo artigo, avaliar a eficiência de uso de “blends” entre fertilizantes convencionais, de liberação controlada e lenta para o cafeeiro arábica em produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Diagnóstico nutricional de plantas por meio de equipamentos portáteis

A avaliação da diagnose nutricional de plantas por meio de microeletrodos portáteis, apresenta como vantagens, promover a obtenção do resultado de forma instantânea (em tempo real), baixo custo, com facilidade de manejo e boa praticidade, se comparada à análise química foliar tradicional realizada em laboratório. A metodologia tem por princípio atender as premissas: 1) avaliação no material fresco macerado deve ser eficaz para predizer a quantidade e o estado do nutriente na planta e apresentar correlação com o nutriente na matéria seca da folha; 2) apresentar sensibilidade a variações na concentração do nutriente no extrato, em contraste com a disponibilidade no solo e a dose do nutriente aplicado; 3) possibilitar ajuste das concentrações dentro das faixas ou níveis críticos (Fontes, 2016).

A amostra a ser retirada para avaliação deve atender aos mesmos critérios determinados para a metodologia tradicional de análise foliar. Deve-se adotar o mesmo critério de coleta de

folhas índices, ciclo de desenvolvimento da cultura, condições climáticas, horário para coleta e serem representativas do estado nutricional de plantas, além de ser do mesmo material enviado para as análises laboratoriais (Paye et al., 2018).

O material vegetal de referência utilizado para a maioria das culturas contém o pecíolo, assim como folhas e partes do limbo foliar (Fontes, 2016; Cadahía & Lucena, 2000), que serão usados nesse experimento.

A extração do material a ser analisado, pode ser obtida por meio de diferentes metodologias, de acordo com a característica vegetal do tecido, utilizando-se de extrações com auxílio de prensas (Gangaiah et al., 2016; Fontes et al., 2002); éter etílico (Cadahía & Lucena, 2005; Souza et al. 2012); e maceração (Fontes, 2016; Zabini, 2010).

Entre os equipamentos portáteis mais utilizados para avaliação nutricional do extrato foliar, encontra-se, o uso de medidores específicos de íons K^+ , NO_3^- e Ca^{2+} tendo como referência o aparelho Laqua Twin™ da empresa (Horiba Co., Quioto, Japão). A técnica consiste na coleta do extrato através de micropipeta do aparelho, sendo o conteúdo depositado no eletrodo do equipamento, com resultado final obtido segundos após e expresso em $mg L^{-1}$ (Stevens, 2016; Faquin, 2002).

Há poucos registros obtidos para o diagnóstico foliar por meio de equipamentos portáteis para a cultura do café observados na literatura, como ferramenta para diagnose nutricional a campo. Dentre as técnicas já estudadas, para o N, foi estabelecido, o ajuste entre o teor foliar de nitrogênio com o uso do índice relativo de clorofila (IRC), por meio do aparelho Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) (clorofilômetro) o principal equipamento entre as investigações, o qual apresenta boa correlação entre os métodos (Godoy et al., 2009; Netto et al., 2005; Reis et al., 2006).

A utilização do pXRF (espectrômetro portátil de fluorescência de raio x) foi investigada para a espécie *Coffea* spp., sendo assim, uma outra alternativa de equipamento e otimização da diagnose foliar para o cafeeiro. Borges et al. (2020), observaram bons padrões de correlação entre a leitura pXRF comparada à leitura feita por meio de digestão ácida (Malavolta, 1997). Os melhores índices de coeficiente de determinação foram encontrados para os micronutrientes. Entre os macronutrientes, exceto o nitrogênio, o qual não é caracterizado pelo equipamento, somente o elemento magnésio, não apresentou correlação entre os métodos.

Em outras culturas, o uso da análise de seiva por medidores portáteis de íons, tem sido utilizado. Essa análise tem possibilitado valores consideráveis de correlação entre os encontrados na seiva de plantas e os teores de nutrientes encontrados nas análises foliares por

meio de digestão ácida, como descrito por Souza et al. (2012) para as variedades de citros Hanlim e Valência para os nutrientes K^+ e NO_3^- .

Com algodoeiro, Stevens et al. (2016) encontraram resultados promissores com o uso dessa ferramenta. Obtiveram correlação significativa dos dados apresentados pelo medidor de íons de K^+ em comparação com métodos analíticos padrões, tanto para análise de solo e análise foliar.

Para a cultura do tomate, Farneselli et al. (2014); Folegatti et al. (2005) observaram boa correlação entre os dados de análise de seiva de pecíolo, comparado aos padrões de índices nutricionais de nitrogênio, considerando a tecnologia como útil para auxiliar no manejo nutricional do tomateiro fertirrigado.

O teor de N-mineral em seiva de plantas de cana-de-açúcar, no estágio inicial de desenvolvimento da cultura, foi avaliado por Joris et al. (2014). A seiva da nervura central das plantas, é sensível a doses do nutriente, podendo ser adotada como indicador para parcelamento da adubação mineral e diagnose nutricional da cultura.

2.2 Fertilizantes de eficiência aumentada

Fertilizantes estabilizados, de liberação lenta ou (quimicamente modificados) e de liberação controlada, são descritos como tecnologias que permitem aumentar a eficiência agronômica de fertilizantes convencionais, neste sentido atribui-se a classificação dentre as demais tecnologias como fertilizantes de eficiência aumentada (Guelfi, 2017; Timilsena et al., 2014).

2.2.1 Fertilizantes de liberação lenta

Entre os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, são descritos três tipos principais de frações, sendo eles produtos da condensação de ureia, em condições de pH, temperatura, proporção molar, em período de reação específicos, por meio da interação de com compostos aldeídos: formaldeídos, isobutiraldeídos, crotonaldeídos ou acetaldeídos; obtendo-se como produto final dos processos, seguidos dos seus respectivos valores teóricos de concentração do nutriente: ureia formaldeído (UF) 38% N, ureia isobutiraldeído (IBDU) 32% N e ureia crotonaldeído (ciclo diureia) (CDU) 32,5% N (Guelfi, 2017; Trenkel, 2010; Cantarella, 2007).

Para a cultura do café, destaca-se o uso de ureia formaldeído a qual compõe blend com outros fertilizantes nitrogenados e fonte de potássio convencionais (Freitas, 2017).

Os fatores que influenciam a liberação do N dos fertilizantes de liberação lenta, são atribuídos: tamanho de partícula (IBDU e CDU), relação molar entre a proporção ureia:formaldeído e fatores edafoclimáticos, relacionados a temperatura, pH, umidade e atividade microbológica (Giroto et al., 2018; Ikeda et al., 2014; Trenkel, 2010).

O padrão de liberação de nutrientes para polímeros de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, é determinado pela avaliação do índice de atividade (IA). Onde, uma amostra de 100 g do fertilizante é coletada em três etapas de solubilização, sendo elas caracterizadas de acordo com a solubilidade em temperatura a 25°C, a 100°C e fração insolúvel a 100°C (Trenkel, 2010).

Adota-se a seguinte equação para o cálculo do IA (Guelfi, 2017):

$$[(N \text{ insolúvel a } 25 \text{ }^{\circ}\text{C} + N \text{ insolúvel a } 100 \text{ }^{\circ}\text{C}) / (N \text{ insolúvel a } 25 \text{ }^{\circ}\text{C})] \times 100.$$

2.2.2 Fertilizantes de Liberação Controlada

Os fertilizantes de liberação controlada, são caracterizados por apresentarem recobrimento do grânulo de fertilizante do qual exerce proteção física, onde, a liberação do nutriente ocorre por meio do processo de difusão. O recobrimento do grânulo tem por princípio, promover a liberação sequencial do nutriente, visando o mais próximo possível, correlacionar a disponibilidade com a curva de absorção pela cultura de interesse (Guelfi, 2017; Azeem et al., 2014).

São diversos os tipos de revestimentos descritos para o recobrimento de grânulos, sendo eles: enxofre elementar (S⁰), poliuretano, polietileno, termoplásticos, resinas plásticas (Guelfi, 2017); parafina associado a gesso-agrícola (Yu & Li, 2019); substâncias húmicas (Erro et al., 2012); revestimento com magnésio (Timilsena et al., 2014); Quitosana (Assimi et al., 2020), dentre outros.

Os fertilizantes de liberação controlada, são classificados devido a sua taxa de liberação, segundo teste de liberação em meio aquoso (água destilada), temperatura padronizada 25°C, adotando como referência, as seguintes especificações: liberar no máximo 15% do nutriente nas primeiras 24 horas; liberar menos que 75% de seu conteúdo no período de 28 dias. O período em dias equivalente a liberação de 75% do conteúdo é adotada como referência para a especificação de garantia determinada pelo fabricante, apresentado com algarismo numérico, seguido da letra “M”. Como exemplo, um fertilizante de liberação controlada “4M”, refere-se a um período de quatro meses necessário para a liberação de 75% do nutriente contido (Trenkel, 2010).

Os fatores determinantes a liberação de nutrientes dos fertilizantes revestidos, referem-se: ao tipo de polímero, assim como sua espessura e fatores externos ligados as características edafoclimáticas, tais como, temperatura do solo e umidade, precipitação pluviométrica (Liu et al., 2019; Chagas, 2017).

2.3 Blends entre tecnologias de fertilizantes convencionais e de eficiência aumentada

Diante de características relativas ao custo de produção de fertilizantes de liberação lenta e controlada, aspectos relacionados a demanda e parcelamentos de nutrientes, adota-se o uso de blends para compor a formulação final de fertilizantes. O uso de blends tem por princípio, a mistura física entre diferentes tipos de tecnologias, sendo elas, a mistura entre fontes convencionais e de fertilizantes de liberação lenta e/ou controlada, a mistura física entre tecnologias de fertilizantes de eficiência aumentada. Onde, o objetivo da mistura tem por princípios promover redução de custo, comparado ao uso de 100% de fontes de liberação lenta ou controlada, assim como a redução de custos devido ao não de parcelamentos da adubação, comparado ao uso de fontes convencionais (Zhang et al., 2021; Liu et al., 2019).

Associado aos benefícios da tecnologia, o uso de blends associa-se a possibilidade de ajustes na solubilidade inicial na formulação do fertilizante e ajuste na curva de liberação de nutrientes, sendo que, de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, ou entre culturas de diferentes características de demanda de nutrientes, a adoção de blends possibilita um maior aproveitamento de uso das tecnologias que temos hoje disponível no cenário agrícola (Andrade et al., 2021; Freitas, 2017).

2.4 Respostas Agronômicas do cafeeiro

Entre os fertilizantes convencionais, devido a sua rápida liberação e solubilidade em água, em maior relevância, nitrogenados e potássicos, tem-se atribuídos perdas que diminuem sua eficiência agronômica, relacionados aos processos de volatilização e lixiviação (Favarin et al. 2013; Otto et al.; 2010)

As perdas acumuladas por meio da volatilização de amônia, com o uso de fertilização a base de ureia para a cultura do café, são descritas em taxas aproximadas de 30% (Chagas et al., 2016; Domingueti et al., 2016). Para outras culturas, em condições diferentes ao cultivo do cafeeiro, estas perdas podem alcançar, taxas acumuladas de até 70% do nutriente aplicado (Yu

& Li, 2019), sendo a tecnologia de fertilizantes de eficiência aumentada de grande importância para contornar estas perdas (Rodella, 2018).

A utilização de blends de fertilizantes de liberação controlada associada a inibidores de urease, foi abordado em estudo para a cultura do café (Chagas et al., 2016), apresentando redução significativa de perdas de 23.2 kg ha⁻¹ N, em comparação ao tratamento convencional de ureia, na condição de maior perda acumulada do blend.

A redução de perdas por volatilização de amônia pela ureia formaldeído e ganhos em produtividade para cafeeiro arábica foi constatada em trabalho de (Freitas, 2017), sendo que, a UF resultou em perdas na forma de amônia equivalente a 0.46% do N aplicado, enquanto o uso de ureia convencional resultou em perdas de 22.98%. Foi observado no mesmo estudo, ganhos em produtividade de 11 sacas a mais por hectare com o uso do blend: ureia convencional + ureia revestida (S⁰ + polímeros) em comparação ao tratamento com ureia.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. B.; et al. Fertilizing maize croppings with blends of slow/controlled-release and conventional nitrogen fertilizers. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 000, p. 1-11, 2021.
- ASSIMI, T. E.; et al. Sustainable coating material based on chitosan-clay composite and paraffin wax for slow-release DAP fertilizer. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 161, p. 492–502, 2020.
- AZEEM, B.; et al. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, p. 11-21, 2014.
- BORGES, C. S.; et al. Foliar Elemental Analysis of Brazilian Crops via Portable X-ray Fluorescence Spectrometry. **Sensors**, v.20, n.9, p. 2491-2509, 2020.
- BRUUSELMA, T.; LEMUNYON, J.; HERZ, B. **Fundamentos para utilização correta de seus fertilizantes**. International Plant Nutrition Institute, Informações Agronômicas, v.126, 2009.
- CADAHÍA, L. C.; LUCENA, J. J. Diagnostico de nutrición y recomendaciones de abonado. In: CADAHÍA, L.C. **Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales**. 3.ed. Ediciones Mundi-Prensa, 2005. p. 183-257.
- CADAHÍA, L.C.; LUCENA, J.J. Diagnóstico de nutrición y recomendaciones de abonado. In: CADAHÍA, L.C. **Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales**. 2.ed. Ediciones Mundi-Prensa, 2000. p. 173-246.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do solo**, Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CHAGAS, W. F. T. **Tecnologias de fertilizantes nitrogenados na cafeicultura**. 2017. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de lavras, lavras, 2017.
- CHAGAS, W. F. T.; et al. 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.
- 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. 310 p.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra brasileira: café**. v.8, n.2. Segundo levantamento, p. 1-63, 2021. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/safras/café. Acesso em: 10 jul. 2021.
- DAVIDSON, D.; GU, F. X. Materials for Sustained and Controlled Release of Nutrients and Molecules To Support Plant Growth. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 870-876, 2012.
- DOMINGUETTI, 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.

ERRO, J.; et al. Organic Complexed Superphosphates (CSP): Physicochemical Characterization and Agronomical Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n.8, p. 2008-2017, 2012.

FAQUIN, Valdemar. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, v. 1, 2002. 77 p.

FARNESELLI, M.; et al. Reliability of petiole sap test for N nutritional status assessing in processing tomato. **Journal of plant nutrition**, v. 37, n. 2, p. 270-278, 2014.

FAVARIN, J. L.; TEZOTTO, T.; NETO, A. P. Balanço nutricional em café: estudo de caso. **Visão Agrícola**, n. 12, p. 79-81, 2013.

FOLEGATTI, M. V.; et al. Calibration of cardy-ion meters to measure nutrient concentrations in soil solution an in plant sap. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 1, p. 8-11, 2005.

FONTES, P. C. R.; RONCHI, C. P. Níveis críticos de índices de nitrogênio no tomateiro em solo e solução nutritiva determinados por diferentes procedimentos estatísticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1421-1429, 2002.

FONTES, P.C.R. **Nutrição Mineral de Plantas: anamnese e diagnóstico**. Ed. UFV., 2016. 315 p.

FREITAS, T. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos**. 2017. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GANGAIAH, C.; et al. A Correlation of Rapid Cardy Meter Sap Test and ICP Spectrometry of Dry Tissue for Measuring Potassium (K⁺) Concentrations in Pak Choi (Brassica Rapa Chinensis Group). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n.17, p.2046-2052.,2016.

GODOY, L. J. G.; et al. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 217-226, 2009.

GUELFY, D. R G. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **International Plant Nutrition Institute, Informações Agronômicas**, v. 157, 2017.

JORIS, H. A. W.; et al. Evaluating Nitrogen Behavior in Sugarcane after Fertilization Using Leaf and Sap Extract Analyzes. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, n.14, p.2655-2664, 2014.

LIU, J., et al. Bio-Based elastic polyurethane for Controlled-release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics. **Journal Clinical Production**, v. 209, p. 528-537, 2019.

MALAVOLTA, E.; et al. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

- NETTO, A. T.; et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p.199-209, 2005.
- OTTO, R. VITTI, G. C.; LUZ, P. H. S. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p.1137-1145, 2010.
- OTTO, R.; et al. Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Informações Agronômicas (NPCT)**, v. 9, 2021.
- PAVINATO, S. P.; et al. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n.1, p. 1-11, 2020.
- PAYE, H. S.; et al. Novas tecnologias para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. **Incaper em Revista**, v. 9, p. 42-50, 2018.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. 2. Ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020. 407 p.
- REIS, A. R.; et al. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v.65, n.1, p.163-171, 2006.
- RODELLA, A. A. Requisitos de qualidade dos fertilizantes minerais. **International Plant Nutrition Institute**, 2018. 226 p.
- SOUZA, T. R.; et al. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.6, p. 846-854, 2012.
- STEVENS, G.; et al. Measuring Soil and Tissue Potassium with a Portable Ion-Specific Electrode in Cotton. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 18, p. 2148-2155, 2016.
- TIAN, H.; et al. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. **Nature** v. 586, n., p.248-256, 2020.
- TIMILSENA, Y. P.; et al. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1131- 1142, 2014.
- TONG, X.; et al. Evaluation of Controlled Release Urea on the Dynamics of Nitrate, Ammonium, and Its Nitrogen Release in Black Soils of Northeast China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, p. 119-132, 2018.
- TRENKEL, M. E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 167 p.
- VOLF, M. R.; ROSOLEM, C. A. Soil P Diffusion and Availability Modified by Controlled-Release P Fertilizers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 162-172, 2020.
- YU, X.; LI. B. Release Mechanism of a novel slow-release nitrogen fertilizer. **Particuology**, v. 45, p. 124-130, 2019.

ZABINI, A.V. **Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar**. 2010, 78 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

ZHANG, L.; et al. Integrated assessment of agronomic, environmental and ecosystem economic benefits of blending use of controlled-release and common urea in wheat production. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, p. 559-565, 2021.

ZHANG, W.; et al. The effects of controlled release urea on maize productivity and reactive nitrogen losses: A meta-analysis. **Environmental Pollution**. v.246, p. 559-565, 2019.

ZHOU, S.; et al. Elemental assessment of vegetation via Portable X-ray Fluorescence: Sample preparation and methodological considerations. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 174, 2020.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 - DIAGNOSE FOLIAR DE N, K E Ca PARA *Coffea arabica* L., POR MEIO DE EQUIPAMENTOS PORTÁTEIS

RESUMO

A análise foliar no cafeeiro é uma ferramenta de diagnose do estado nutricional, complementar a análise de solo, fundamental para nortear e prever a eficiência do manejo nutricional realizado. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho determinar os teores de nutrientes no extrato foliar, com o aparelho LaquaTwin Horiba, correlacionando-os com os teores determinados na folha por método de digestão ácida, a fim de se obter uma metodologia eficaz e de rápida resposta. O trabalho foi realizado na região do Campo das Vertentes, Minas Gerais, em lavouras comerciais localizadas na cidade de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil. Foi adotado como referência para as coletas de folhas, lavouras em fase de produção, divididas entre cultivares de *Coffea arabica* L.: Catuaí-IAC99 e Acaiaí IAC 474-19. Realizado em dois ensaios, amostragem em lavouras comerciais no manejo padrão da fazenda e amostragem em lavoura comercial com variação de doses de nitrogênio: 0; 150; 275; 400; 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e duas fontes convencionais como fonte de N: ureia e nitrato de amônio. Foram coletadas 8 folhas por planta, em três repetições de parcelas com 10 plantas. Após cada coleta, foi obtido o extrato foliar por meio de maceração, para realizar a leitura nos aparelhos portáteis, para os nutrientes N, Ca e K, os quais também foram analisados via digestão ácida, para correlacionar os valores obtidos entre os dois métodos. Os resultados da correlação de Pearson, entre os diferentes métodos de análise foliar, para as cultivares Acaiaí IAC 474-19 e Catuaí IAC 99, apresentaram correlação significativa para os nutrientes Ca e K, não correlacionando significativamente para o nutriente N, entre os diferentes métodos de análise realizado. A interação entre fontes e doses não foi significativa para os teores de N foliar, somente o efeito isolado de doses, foi significativo. No ajuste da equação de regressão observado para o N total no tecido foliar, observou-se efeito linear em função das doses aplicadas. O comportamento dos teores de nitrato no extrato foliar, foi quadrático. A correlação direta entre as concentrações totais de nitrogênio e sua recuperação na forma de nitrato na folha, não representa bom parâmetro para a avaliação do diagnóstico nutricional. O coeficiente de correlação de 0.83 observado entre a correlação dos métodos de análise via equipamento portátil e digestão nitroperclórica significativa para o nutriente Ca, apresenta-se de forma positiva, demonstrando boa tendência para o uso da técnica, dando suporte a novos trabalhos para validação do método.

Palavras-chave: Extrato foliar. Equipamento portátil. *Coffea arabica*.

ABSTRACT

Leaf analysis in coffee is a diagnostic tool for the nutritional status, complementing soil analysis, essential to guide and predict the efficiency of the nutritional management performed. Therefore, the objective of this work was to determine the levels of nutrients in the leaf extract, with the LaquaTwin Horiba device, correlating them with the levels determined in the leaf by acid digestion method, in order to obtain an efficient and fast-response methodology. The work was carried out in the Campo das Vertentes region, Minas Gerais, in commercial crops located in the city of Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brazil. It was adopted as a reference for leaf collection, crops in production phase, divided between cultivars of *Coffea arabica* L.: Catuaí-IAC99 and Acaiá IAC 474-19. Conducted in two trials, sampling in commercial crops in the standard management of the farm and sampling in commercial crops with variation of nitrogen doses: 0; 150; 275; 400; 525 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ and two conventional sources as a source of N: urea and ammonium nitrate. Eight leaves per plant were collected in three replications of plots with 10 plants. After each collection, the leaf extract was obtained through maceration, to perform the reading in portable devices, for the nutrients N, Ca and K, which were also analyzed via acid digestion, to correlate the values obtained between the two methods. The results of Pearson's correlation, between the different methods of foliar analysis, for the cultivars Acaiá IAC 474-19 and Catuaí IAC 99, showed a significant correlation for the nutrients Ca and K, not significantly correlated for the nutrient N, between the different methods of analysis performed. The interaction between sources and doses was not significant for leaf N levels, only the isolated effect of doses was significant. In the adjustment of the regression equation observed for the total N in the leaf tissue, a linear effect was observed as a function of the applied doses. The behavior of nitrate levels in the leaf extract was quadratic. The direct correlation between total nitrogen concentrations and its recovery in the form of nitrate in the leaf does not represent a good parameter for the evaluation of nutritional diagnosis. The correlation coefficient of 0.83 observed between the correlation of the analysis methods via portable equipment and significant nitroperchloric digestion for the nutrient Ca, presents itself in a positive way, showing a good tendency for the use of the technique, supporting new works to validate the method.

Keywords: Leaf extract. Portable equipment. *Coffea arabica* L.

1 INTRODUÇÃO

Para o manejo nutricional eficiente é de fundamental importância a utilização de avaliações, tais como análise de solo e análise foliar. Sendo, a associação dessas duas análises as principais ferramentas utilizadas para tomada de decisão e representação do estado nutricional de plantas (Paye et al., 2018).

A análise foliar no cafeeiro é uma ferramenta de diagnóstico nutricional, complementar a análise de solo, pois, a partir da dinâmica de transporte e demais atributos químicos do solo, a eficiência de absorção e disponibilidade de nutrientes pode ser afetada. Portanto, a análise foliar, é um complemento para avaliar a efetividade da interação entre solo-planta e assim adequar as recomendações de adubação (Mesquita, 2016; Malavolta, 2006; Martinez et al., 2003).

Porém, esta metodologia, mesmo sendo eficaz, apresenta algumas desvantagens que inviabilizam a resposta rápida, devido aos processos envolvidos, como: levar o material para o laboratório, tempo de extração e execução das análises, necessidade de mão de obra qualificada e extenso o período entre a amostragem e apresentação do resultado final. Ademais, o processo de secagem e moagem do material pode ser demorado (Fontes, 2016).

Diante das características dos métodos padrões de análise foliar já estabelecidos, atribui-se ao uso de equipamentos portáteis para otimizar o tempo de resposta em relação a metodologia padrão de análise foliar. A principal característica positiva para o uso de equipamentos portáteis para diagnose foliar está na antecipação dos resultados obtidos, os quais podem ser realizados rapidamente em campo, ou processados no mesmo dia em que a coleta foi realizada, antecipando-se assim a tomada de decisão durante o ciclo produtivo da cultura, dando suporte a tomada de decisão rápida, para o adequado manejo nutricional. Ademais comparados aos métodos convencionais de análises, os equipamentos portáteis também devem apresentar as características de baixo custo, operacionalidade satisfatória e possibilitar índices para calibração (Borges et al., 2020; Fontes, 2016).

Em trabalho realizado por Zabini (2010), a correlação da extração do tecido foliar por meio do medidor portátil seletivo de íons K^+ para a cultivar de café arábica Catuaí vermelho IAC 144, utilizando como referência a metodologia padrão de análise foliar foi avaliado. O autor obteve resultados satisfatórios, comprovando para o nutriente K, a adequação do equipamento utilizado. Porém, o trabalho foi realizado com mudas em casa de vegetação, sendo que em condição de campo não se encontraram registros na literatura tendo a metodologia como

objetivo de estudo. Observa-se também a ausência de trabalhos avaliando no extrato foliar os nutrientes N e Ca para cafeeiro com o uso de equipamentos portáteis seletivos de íons.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar os teores de nutrientes no extrato foliar, com o aparelho LaquaTwin® Horiba, correlacionando-os com os teores determinados na folha por método de digestão ácida, visando otimizar o diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica para os nutrientes N, K e Ca. Tendo como hipótese, de que há alta correlação entre os níveis de nutrientes determinados instantaneamente no material foliar macerado de folhas de café com os teores dos nutrientes determinados via métodos-padrão (análise foliar tradicional).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região do Campo das Vertentes, em lavouras comerciais localizadas na cidade de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil. Foi adotado como referência para as coletas, lavouras em fase de produção, divididas entre cultivares de *Coffea arabica* L., Catuaí-IAC99 e Acaiaí IAC474-19. O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,6 °C com precipitação média anual de 1.493mm.

O experimento foi realizado em dois ensaios:

Grupo 1: Amostragem em lavouras comerciais no manejo padrão da fazenda.

Grupo 2: Amostragem em lavoura comercial com variação de doses de nitrogênio.

A amostragem foi realizada no estágio de grão chumbinho/início expansão rápida de frutos, retirando-se um par de folhas em cada ponto cardeal de cada planta, no 3º par do ramo plagiotrópico, no terço médio da copa, obtendo-se o total de 8 folhas por planta, tendo como parcela útil 10 plantas, obtendo-se total de 80 folhas por cada unidade experimental, conforme Martinez et al. (2003).

Para o grupo 1, as amostragens foram realizadas em lavouras comerciais, dos cultivares de *Coffea arabica* L., Catuaí-IAC99 e Acaiaí IAC 474-19.

A área experimental para a coleta de folhas relacionada a cultivar Acaiaí IAC 474-19, está localizada entre as coordenadas geográficas 20°58'19,9''S e 44°53'24,18''W e altitude média de 1.010 m, área de 30,25 hectares, implantada no ano 2000 com espaçamento de 3,6 metros entre linhas e 0,8 metros entre plantas na mesma linha, tendo recebido poda do tipo recepa no ano de 2015. Foram coletadas 30 amostras na área de acordo com malha amostral gerada por Faria (2019), entre os dias 07 e 08 de janeiro do ano de 2020. O solo foi classificado

como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura argilosa e relevo suave ondulado (Embrapa, 2018).

A área experimental para a coleta de folhas relacionada ao cultivar Catuaí-IAC99 tem 5 hectares, situada nas coordenadas geográficas: 20°53'26,04"S e 44°52'04,14"W e altitude média de 1.100 m, implantada no ano de 2014 no espaçamento de 3,50 entre linhas e 0,60 m entre plantas na mesma linha, onde foram coletadas 21 amostras, no dia 13 de janeiro do ano de 2020. O solo da unidade experimental é classificado como Latossolo Vermelho em relevo plano (Embrapa, 2018).

Para o grupo 2 foram realizadas amostragem em plantas tratadas com doses crescentes de nitrogênio 0; 150; 275; 400; 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e duas fontes convencionais como fonte de N: ureia e nitrato de amônio, adotando esquema fatorial do tipo 2x5. O experimento foi dividido em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 16 plantas, sendo avaliadas as 10 plantas centrais. A amostragem de folhas foi realizada no dia 20 de janeiro do ano de 2020.

Após a coleta, tanto as folhas do grupo 1 quanto as do grupo 2 foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas em caixas de isopor com bolsas térmicas congeladas, até o laboratório de interação solo-planta, Departamento de Ciências do Solo-UFLA. Sendo cuidadosamente lavadas em água de torneira, seguida de água destilada e posteriormente espalhadas sobre folhas de papel para secagem ao ar.

Após esse processo, no dia seguinte em que foram coletadas, as folhas foram empilhadas organizadamente, para permitir obtenção de corte transversal, na região mediana das folhas, obtendo-se amostra de 2 g contendo o limbo e vasos de todas as folhas (Figura 1).

Figura 1 - Detalhe do corte transversal realizado na região central das folhas e material utilizado para maceração.



Fonte: do autor (2021).

Após o corte da amostra, o material foi macerado com o uso de pistilo e gral, sendo adicionados 10 mL de água destilada para obter o extrato e para realizar a leitura nos aparelhos portáteis, segundo metodologia adaptada de Zabini (2010).

Anterior ao início da leitura nos aparelhos portáteis ambos foram calibrados, com solução padrão, específica para cada íon, nas concentrações de 150 ppm e 2000 ppm (N-NO_3^- , K^+ e Ca^{2+}), sendo a mesma calibração realizada após 20 leituras, de acordo com a manual de recomendações disponibilizado pelo fabricante.

Uma parte da solução macerada (Figura 2A) foi retirada com pipetador sendo três gotas adicionada ao leitor portátil, com o devido cuidado, para cobrir todo o sensor do aparelho. Para análise dos íons NO_3^- (Nitrato), K^+ (Potássio), Ca^{2+} (Cálcio) foram utilizados os medidores portáteis LaquaTwin – Horiba para esses íons (Figura 2B), respectivamente.

Devido a problemas operacionais com o medidor portátil de Ca^{2+} , as amostras para as cultivares Catuaí 99 do grupo 1 e 2 não foram realizadas, sendo somente a análise para o elemento realizada na cultivar Acaiá IAC 474-19 pertencente ao grupo 1.

Para o nutriente K^+ , as amostras foram diluídas em 17x (vezes), 1 ml da solução macerada + 16 ml de água destilada, com o intuito de melhorar a precisão de leitura entre as amostras, devido a gama de medição do aparelho, do qual possui variação mínima de 100 em 100 mg L^{-1} , para leituras entre 1000 a 9900 mg L^{-1} . Para os demais nutrientes não foram realizadas nenhum tipo de diluição.

Figura 2 – A) Detalhe do processo de maceração e B) leitura dos elementos com os equipamentos portáteis dos íons.



Fonte: Do autor (2021).

O restante do material foliar, após o corte para maceração, foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 65° C até atingir peso constante. A seguir o material foi moído em moinho do tipo Wiley de aço-inox. O mesmo material foi levado ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFLA, para análise de nutriente via digestão ácida.

A leitura das amostras foi dividida por nutrientes, por meio da digestão ácida: sulfúrica (N) e nitroperclórica (K, Ca).

Onde 0,5 g do material foliar foi acondicionado em tubos de digestão de 50 mL e utilizado como alíquota da solução nitroperclórica 6 mL na proporção de (HNO₃:HClO₄ 3:1 v/v). A determinação dos elementos foi realizada via espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) (Malavolta, 1997).

Para o nutriente N 0,2 g de amostra de folhas foram acondicionadas em tubos de 50 mL, adotando como alíquota 4 mL de ácido sulfúrico P.A para digestão. A quantificação do nutriente foi realizada por meio do método Kjeldahl (Embrapa, 2000).

Os dados obtidos foram processados na análise de variância (ANOVA) pelo programa RStudio (versão 4.0.1), sendo a análise de correlação de Pearson, utilizada para verificação da correlação entre os dados, seguida dos modelos de regressão descrita de acordo com modelo de melhor ajuste, acompanhado do coeficiente de determinação (R²). Os dados gráficos foram processados por meio do software Sigma Plot versão 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio para o primeiro grupo

Os resultados da correlação de Pearson (≥ 0.05) entre os diferentes métodos de análise foliar, para as cultivares Acaiá IAC 474-19 e Catuaí IAC 99, apresentaram correlação de Pearson significativa para os nutrientes Ca e K (Acaiá IAC 474-19) e K (Catuaí IAC 99), não correlacionando significativamente para o nutriente N, entre os diferentes métodos de análise realizado (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre os dois métodos de análise foliar, para os elementos Ca, K e N, para as cultivares de café arábica do grupo 1.

Cultivar - Acaiá IAC 474-19		
Nutriente	Correlação de Pearson (r)	p-value
Ca	0.83	1.074x10 ^{-8***}
N	-0.10	0.588 ^{ns}
K	0.53	0.002 ^{**}
Cultivar – Catuaí IAC 99		
Nutriente	Correlação de Pearson (r)	p-value
N	0.00	0.98 ^{ns}
K	0.43	0.04 [*]

*** (p≤0.001), ** (p≤0.01) e ^{ns}não significativo.

Embora não tenha se correlacionado significativamente, os teores de N-NO₃⁻ (Figura 3A), no tecido foliar via equipamento portátil, seguiu a mesma tendência da digestão ácida (N), para o cafeeiro arábica Acaiá IAC 474-19 (Figura 3). Para os íons K⁺ (Figura 3B) e Ca²⁺ (Figura 3C) houve diferença significativa. Houve aumento linear dos teores medidos via equipamento portátil conforme aumentou os teores via digestão ácida.

Figura 3 - Regressão linear entre teores de N-NO₃⁻ (A), K⁺ (B) e Ca²⁺ (C) no tecido foliar via equipamento portátil e digestão ácida (N, K e Ca), para o cafeeiro arábica Acaiá IAC 474-19(Continua).

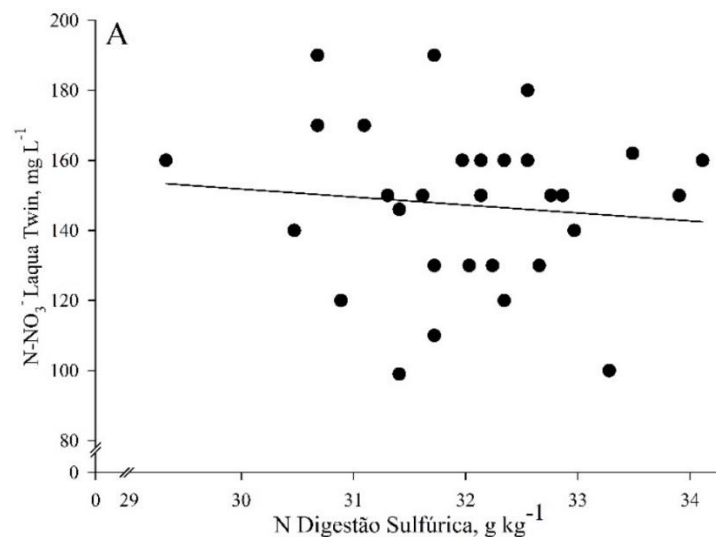
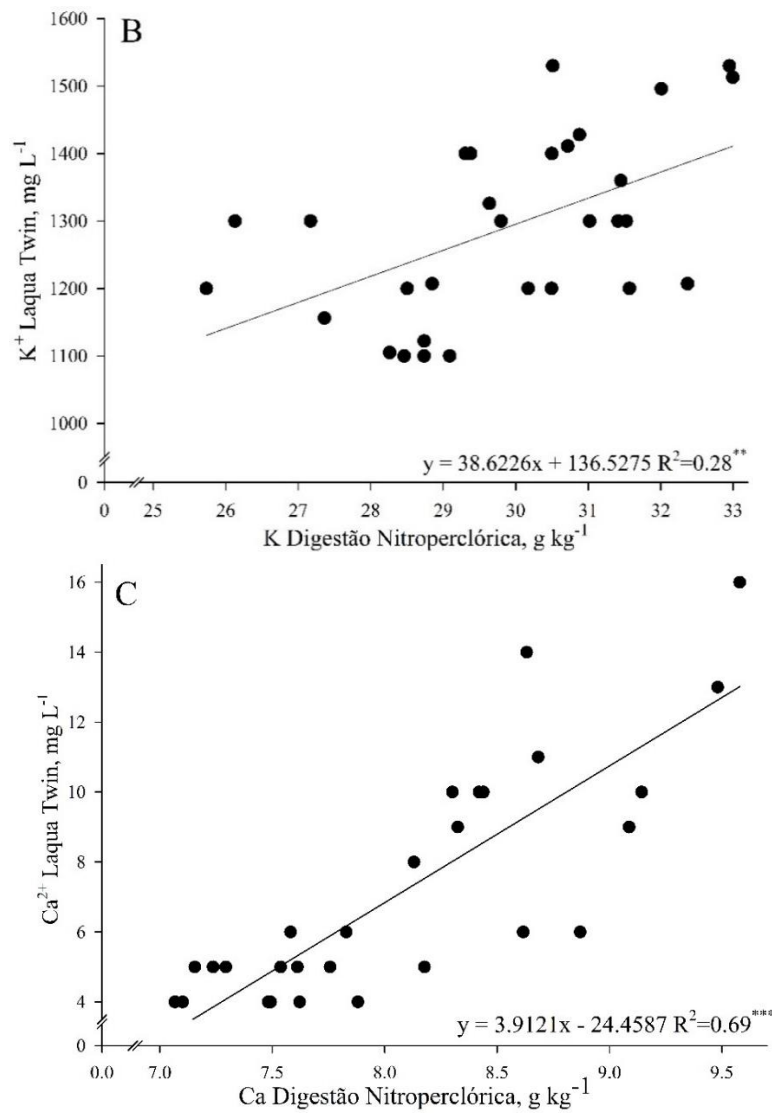


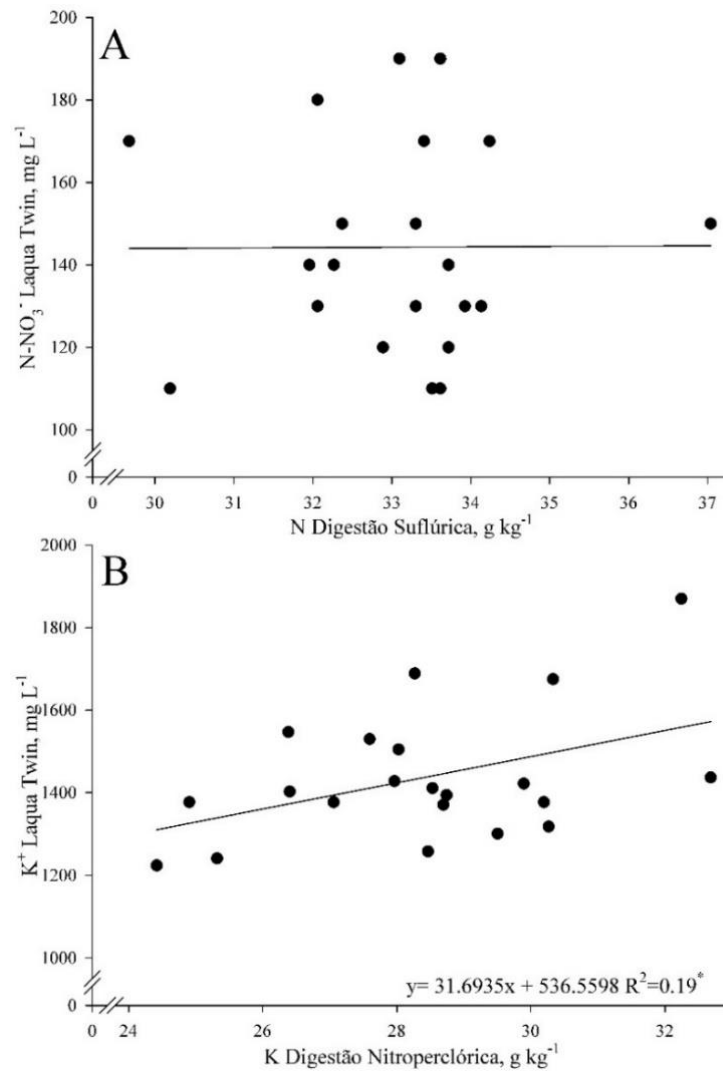
Figura 3 - Regressão linear entre teores de N-NO_3^- (A), K^+ (B) e Ca^{2+} (C) no tecido foliar via equipamento portátil e digestão ácida (N, K e Ca), para o cafeeiro arábica Acaia IAC 474-19 (Conclusão).



Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 4A pode-se observar a tendência do N-NO_3^- , no medidor portátil se correlacionar com o N da digestão sulfúrica para a Catuaí 99. E na Figura 4B pode-se observar a correlação positiva do K^+ via medidor portátil com o K da digestão nitroperclórica.

Figura 4 - Regressão linear entre teores de N-NO_3^- (A) e K^+ (B) no tecido foliar via equipamento portátil e digestão ácida (N, K), para o cafeeiro arábica Catuaí 99.



Fonte: Do autor (2021).

A correlação entre os métodos significativa para o elemento Ca^{2+} , para a cultivar Acaíá IAC 474-19, mesmo não sendo possível realizar a correlação para a cultivar Catuaí 99, apresenta uma boa tendência de que a metodologia de análise proposta possui boas perspectivas para prever o elemento em específico.

O cálcio é um macronutriente absorvido em sua forma catiônica, Ca^{2+} , o qual possui baixa mobilidade via floema, sendo sua absorção e transporte relacionada ao vaso condutor xilema. Uma vez absorvido e transportado para os tecidos foliares, as frações do cátion se tornam imóveis e assim são baixos ou quase nulos a remobilização do nutriente para outros tecidos drenos, sendo assim, a demanda necessária para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, de responsabilidade da absorção via sistema radicular (Tomas et al., 2003; Dechen & Nachtigall, 2007).

O nutriente está atrelado as funções de proteção e composição estrutural de tecidos celulares, como a lamela média da parede celular, em formas não-solúveis em água, pectato de cálcio e em sais de ácidos orgânicos e compostos como o oxalato de cálcio, presentes no vacúolo, onde parte do elemento encontra em formas solúveis (Martinez et al., 2014).

Devido as características de mobilidade reduzida e manutenção das concentrações foliares, a correlação significativa observada pode estar relacionada a este efeito da baixa mobilidade. Embora a concentração do nutriente no material fresco tenha sido menor do que a concentração recuperada no tecido seco, via digestão completa, a maceração realizada e parte da composição do Ca disponível no tecido foliar em sua forma livre (solúvel), foi eficaz para quebrar estruturas e promover a recuperação de concentrações do nutriente que corroboram com o conteúdo recuperado por digestão ácida.

Nas Tabelas (2 e 3), estão apresentados os resultados para a média, mediana e a dispersão dos valores para cada nutriente em ambos os métodos de análise. Por meio dos resultados apresentados nas Tabelas (2 e 3), observa-se para os nutrientes Ca, N e K, que a recuperação dos nutrientes para os dos dois métodos foi superior quando utilizada a digestão ácida. Este resultado está relacionado ao fato de que a digestão ácida é eficiente para recuperação das concentrações totais, compostos solúveis e não solúveis, dos nutrientes em comparação a leitura feita pelo equipamento portátil (Bernardi et al., 2010). Sendo que, a leitura em menores concentrações para $N-NO_3^-$, K^+ e Ca^{2+} , está relacionada a frações solúveis dos elementos no tecido foliar.

Tabela 2 - Estatística descritiva para as variáveis em estudo do grupo 1 (continua).

Cultivar - Acaiá IAC474-19						
Nutriente	Método	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Ca	Digestão Ácida ^{*(1)}	8.05	7.86	9.58	7.07	8.94
Ca ²⁺	LaquaTwin ^{**}	0.070	0.068	0.016	0.040	0.003
N	Digestão Ácida ^{*(2)}	32.12	32.14	34.11	29.33	1.14
N-NO ₃ ⁻	LaquaTwin ^{**}	0.150	0.150	0.190	0.100	0.024
K	Digestão Ácida ^{*(1)}	29.77	29.94	32.99	25.73	1.92
K ⁺	LaquaTwin ^{**}	1.273	1.300	1.530	1.000	0.135

Tabela 2 - Estatística descritiva para as variáveis em estudo do grupo 1 (conclusão).

Cultivar - Catuaí IAC99						
Nutriente	Método	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
N	Digestão Ácida ^{*(2)}	33.05	33.30	37.04	29.67	1.50
N-NO ₃ ⁻	LaquaTwin ^{**}	0.144	0.140	0.190	0.110	0.025
K	Digestão Ácida ^{*(1)}	28.38	28.47	32.68	24.42	2.19
K ⁺	LaquaTwin ^{**}	1.436	1.403	1.870	1.224	0.158

*Valores em g kg⁻¹; **Valores em g L⁻¹; (1) Digestão Nitro-perclórica; (2) Digestão Sulfúrica.

3. 2 Ensaio para o segundo grupo

Para o grupo 2, o ensaio foi realizado em área experimental na cidade de Santo Antônio do Amparo-MG, em experimento iniciado na safra 15/16. Em sua situação atual, apresenta-se com boa influência dos efeitos da adubação nitrogenada, a correlação foi realizada de acordo com as doses de adubação de N e duas fontes. Para o elemento K, a correlação foi realizada sem distinção entre tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Estatística descritiva para as variáveis do grupo 2.

Cultivar - Catuaí IAC99						
Nutriente	Método	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
N	Digestão Ácida ^{*(2)}	29.41	29.53	33.40	25.81	2.12
N-NO ₃ ⁻	LaquaTwin ^{**}	0.122	0.120	0.150	0.095	0.016
K	Digestão Ácida ^{*(1)}	20.46	21.70	27.33	11.59	4.89
K ⁺	LaquaTwin ^{**}	1.734	1.655	2.420	1.297	0.288

*Valores em g kg⁻¹; **Valores em g L⁻¹; (1) Digestão nitro-perclórica; (2) Digestão sulfúrica.

A correlação entre esses nutrientes e os dois métodos de análise foliar (Tabela 4) foi significativa e positiva para K e N ($p \leq 0.05$).

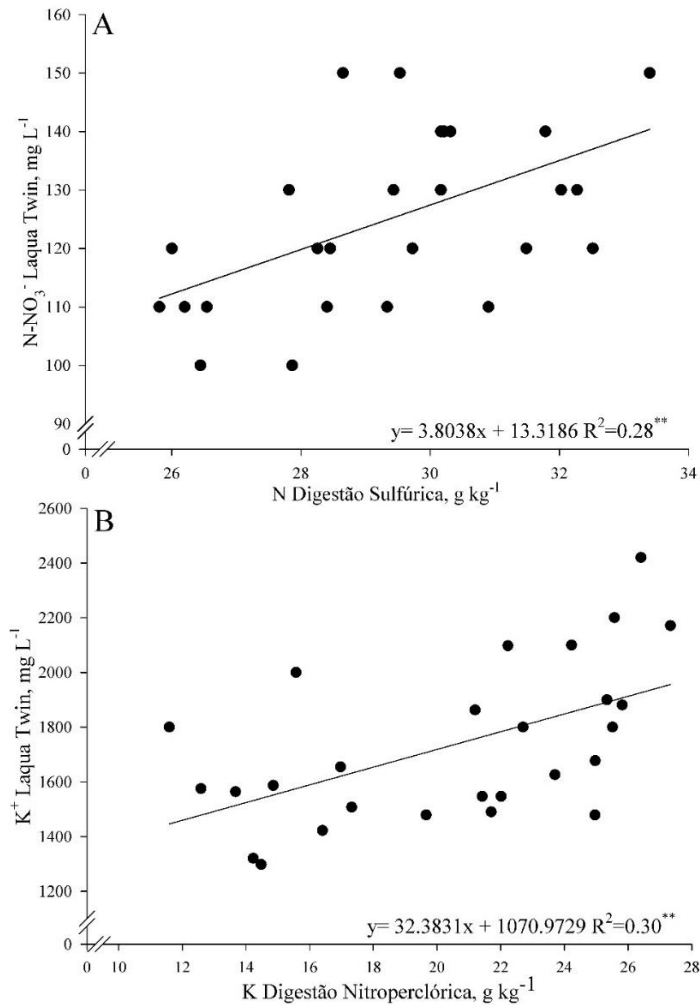
Tabela 4 - Coeficiente de correlação entre os dois métodos de análise foliar, para os elementos K e N, para a cultivar de café arábica do grupo 2.

Cultivar – Catuaí IAC 99		
Nutriente	Correlação de Pearson (r)	p-value
K	0.54	0.003 ^{**}
N	0.53	0.003 ^{**}

^{**}($p \leq 0.01$).

Por meio da figura 5A, pode-se observar a correlação significativa, onde o N apresentou efeito linear positivo, entre a comparação de N-NO_3^- via método portátil e N pela digestão sulfúrica. A figura 5B, apresenta a correlação significativa observada entre os teores de K^+ via método portátil e K pela digestão nitroperclórica, onde as concentrações do nutriente correlacionaram entre si de forma linear.

Figura 5 - Regressão linear para a análise de N-NO_3^- (A) e K^+ (B) no extrato foliar e digestão ácida.



Fonte: Do autor (2021).

Os valores dos níveis críticos para a região Sul de Minas, são de (28.8-32.2) g kg^{-1} para o N, (21.0-30.2) g kg^{-1} para o K e (8.8-12.6) g kg^{-1} para o Ca (Martinez et al., 1999). O resultado médio relacionado a digestão ácida (nitroperclórica), apresenta o nutriente Ca (8.05 g kg^{-1}) abaixo do seu nível crítico (Tabela 2). Para o K, os valores médios (29.77 e 28.38 g kg^{-1}) apresentam-se dentro da faixa de referência para a região para as áreas correspondentes ao grupo 1 (Tabela 2). Em pontos de coleta do grupo 2, foram observados valores abaixo do nível crítico (10.77 a 19.66 g kg^{-1}) para o K (Tabela 3). Para o N, somente em pontos amostrados na

área do grupo 2, observaram-se os valores (26.15 a 28.14 g kg⁻¹) abaixo da faixa crítica dos quais corresponde aos níveis sem adubação e dose de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (Tabela 3).

Níveis críticos adequados são de grande relevância para nutrição e manutenção da produtividade, sendo que, em boa parte das áreas amostradas apresentaram níveis adequados de nutrição para N e K. Na área em específica onde foi realizado a amostragem para leitura de Ca, o nutriente encontrava-se como fator limitante a produção (Martinez et al., 2003).

A correlação positiva observada para o K, independentemente do tipo de cultivar em estudo, demonstrou que as concentrações obtidas através do extrato foliar comparadas ao teor total do nutriente na folha extraído por ácido nitroperclórico, tendem a aumentar com o aumento da concentração do nutriente.

Estudo realizado por Zabini (2010), com o uso do mesmo equipamento portátil para a cultivar Catuaí IAC 144, para o elemento K apresentou resultados significativos para o nutriente, corroborando linearmente com o aumento de doses ($R^2=0.77$) e do K total no tecido foliar ($R^2=0.72$) via digestão ácida. Esses resultados corroboram com os valores observados da regressão significativa observada para as demais cultivares em relação aos dois grupos de estudo, embora o coeficiente de determinação tenha sido inferior (Figuras 3, 4 e 5). No entanto, esse trabalho foi realizado em mudas de cafeeiro, sendo os valores obtidos no extrato foliar de 240 a 410 mg L⁻¹, abaixo dos valores médios observados (Tabelas 2 e 3). Porém, os valores observados para os teores foliares totais de K, correspondem a variação observada para as cultivares deste estudo variando entre (29.3 a 33.0 g kg⁻¹) do qual corrobora com os valores apresentados nas Tabelas (2 e 3), para K via digestão nitroperclórica.

É importante ressaltar que o K possui funções fisiológicas diversas no cafeeiro, assim como o transporte de carboidratos, abertura e fechamento de estômatos, turgor celular, apresenta alta mobilidade na planta e é o nutriente mais exportado pelos grãos (Meurer et al., 2018; Clemente et al., 2015; Martinez et al., 2014).

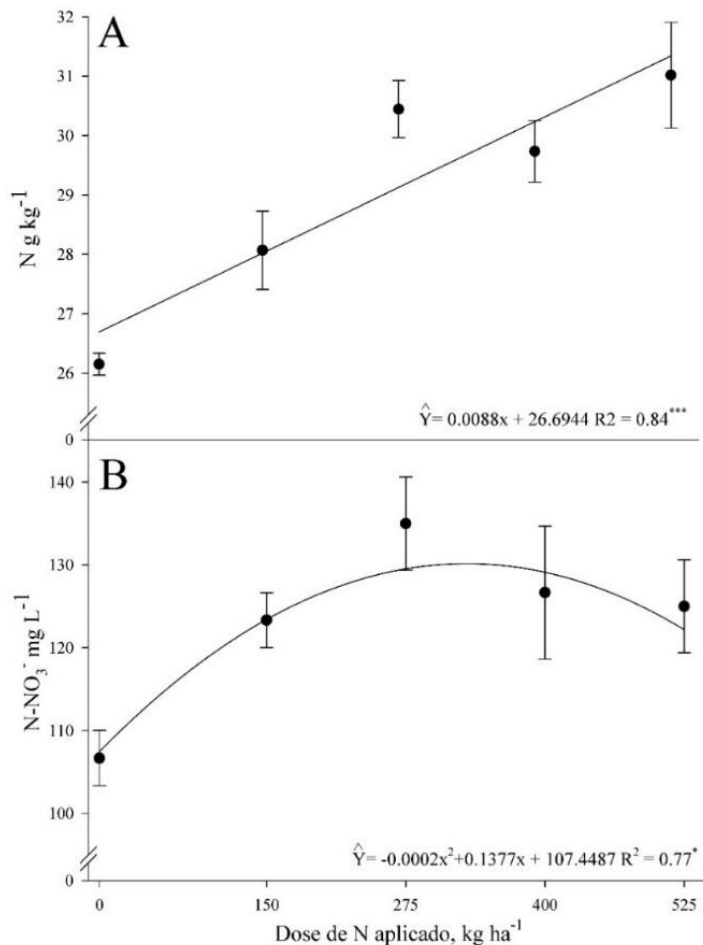
Sendo assim, a ausência de correlação mais forte entre os dois métodos, em condição de campo, pode estar relacionada a alta mobilidade do nutriente e a forte competição entre frutos e folha para o dreno do nutriente. Em plantas em produção, essa variação tende a ser mais expressiva comparadas a plantas em crescimento inicial, comparando o resultado deste estudo com o observado por Zabini (2010). Em mudas, a variação tende a ser menor, tornando a metodologia mais eficiente para predizer os teores foliares, comparada a cafeeiros na fase reprodutiva para o elemento K. Portanto, para validar de forma mais eficiente a metodologia, novas investigações são necessárias, assim como, estratégias para mensurar de forma mais eficiente a concentração no tecido foliar dos teores do íon K⁺ em lavouras em produção.

A interação entre fontes e doses não foi significativa para o N ($p \leq 0.05$). Somente o efeito isolado de doses, foi significativo ($p \leq 0.05$), tanto para a análise via digestão (N-total), assim como para análise do extrato foliar (N- NO_3^-) com o equipamento portátil.

No ajuste da equação de regressão observado para o N total no tecido foliar, observou-se efeito linear, em que as concentrações do nutriente na folha aumentaram com o incremento de doses (Figura 6A). O comportamento dos teores de nitrato no extrato foliar, foi quadrático, obtendo o ponto máximo da concentração do nutriente para a dose de $344.25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N (Figura 6B).

A concentração de nitrato e amônio no tecido foliar de cafeeiro, em função dos estádios reprodutivos de frutos foi estudada por Neto et al. (2015). Os autores não observaram correlação significativa entre a concentração de nitrato e doses de N. As concentrações do íon variaram em função dos estágios reprodutivos, sendo a fase de chumbinho, época em que ocorreram as maiores concentrações do nutriente, com valores médios (100 mg kg^{-1} de NO_3^-), próximos do observado neste estudo.

Figura 6 - Teores foliares de N e N- NO_3^- em função das doses de nitrogênio aplicados ao cafeeiro.



Fonte: do autor (2021).

O conteúdo de nitrato na seiva do xilema em mudas de cafeeiros, corresponde a 51.9% do total de compostos nitrogenados em transporte (Mazzafera & Gonçalves, 1999). Este comportamento se correlaciona com o observado nesse experimento, sendo que independentemente da fonte, a concentração do nutriente não variou no extrato foliar. Essa concentração também está relacionada ao processo de nitrificação, em que, as formas de N-amoniacais disponíveis via ureia, já tinham sido convertidas no solo a nitrato, sendo assim, a principal fonte de N absorvida (Costa et al., 2009).

Diante da demanda do nutriente para manutenção do crescimento vegetativo e formação de aminoácidos, parte da mobilização de nitrato na folha, tende a ser reduzida de forma mais rápida, característica que pode estar relacionada ao comportamento observado pelo estudo da regressão do N em função das maiores doses aplicadas (Figura 6). O N ao ser translocado para a folha pode sofrer rápida redução pela atividade da enzima nitrogenase redutase, da qual é agente ativador, levando a maior atividade enzimática para manutenção do processo metabólico, resultando em menor acúmulo (Neto, 2009).

A menor concentração do N na ausência de adubação nitrogenada, está atrelada a menor disponibilidade do nutriente no solo, o qual possui baixa capacidade de fornecimento do nutriente, tendo assim reduzido o seu aporte. Essa redução resulta em menor capacidade de armazenamento e redução de suas concentrações devido a remobilização de suas reservas para atender a demanda da planta (Souza & Fernandes, 2018).

Embora, tenha sido observada correlação significativa para $N-NO_3^-$ via extrato e seu conteúdo total via digestão sulfúrica, para a área do grupo 2, as demais áreas analisadas, apresentaram falta de correlação entre os métodos (Figuras 4 e 5). Demonstrando que, a correlação direta entre as concentrações totais do elemento e sua recuperação na forma de nitrato na folha, não representa bom parâmetro para a avaliação da diagnose nutricional.

4 CONCLUSÃO

A correlação entre os métodos de análise via equipamento portátil e digestão sulfúrica foi significativa para os nutrientes K e Ca, apresentando baixo coeficiente de correlação para K e alto para Ca, demonstrando que para o Ca o método apresenta boa tendência para se correlacionar com os teores totais do nutriente pelo método de digestão ácida. Porém, faz se necessário novas investigações e estratégias para extração dos nutrientes visando-se assim prever de forma mais eficiente o diagnóstico nutricional desses nutrientes pela metodologia proposta.

Para o N, a concentração de $N-NO_3^-$ no extrato foliar não foi eficiente para predizer o diagnóstico nutricional em comparação com o teor de N total extraído pela metodologia de digestão sulfúrica, demonstrando que, os teores foliares de NO_3^- no extrato foliar não apresenta como bom indicativo para predizer o teor de N-total foliar.

A concentração de $N-NO_3^-$ no extrato foliar de folhas de café arábica em produção, variaram em função das doses de nitrogênio, independentemente da fonte, ureia ou nitrato de amônio.

REFERÊNCIAS

- BERNADI, A. C. C.; OKA, S. H.; SOUZA, G. B. Comparação de técnicas analíticas para a extração de potássio de amostras de tecido vegetal com água e soluções ácidas concentrada e diluída. **Eclética Química**, v. 35, n.2, p. 45-49, 2010.
- BORGES, C. S.; et al. Foliar Elemental Analysis of Brazilian Crops via Portable X-ray Fluorescence Spectrometry. **Sensors**, v.20, n.9, p. 2491-2509, 2020.
- CARMO, C. A. F. S.; et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Embrapa Solos. Circular Técnica: 6. 2000. 41 p.
- CLEMENTE, J.M; et al. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 3, p. 297-305, 2015.
- COSTA, A. R.; et al. **Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N₂O)**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos a nutrição de plantas. in: NOVAIS, R. F.; et al. **Fertilidade do solo**, Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- FARIA, R. O. **Malha amostral para cafeicultura de precisão**. 2019. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- FONTES, P.C.R. **Nutrição Mineral de Plantas: anamnese e diagnóstico**. Ed. UFV., 2016. 315 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, 2006. 637 p.
- MALAVOLTA, E.; et al. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CSFSEMG/UFV, p. 143-168. 1999.
- MARTINEZ, H. E. P.; et al. 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.
- MARTINEZ, W. E. P.; et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-849, 2014.
- MAZZAFERA, P.; GONÇALVES, K. V. Nitrogen compounds in the xylem sap of coffee. **Phytochemistry**, v.50, p. 383-386, 1999.

MESQUITA, C. M.; et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72 p.

MEURER, E. J.; TIECHER, T.; MATTIELLO, L. POTÁSSIO. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 429-464.

NETO, A. P. **Metabolismo do nitrogênio e concentrações de nutrientes no cafeeiro fertirrigado em razão da dose de N**, 2009, 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009.

NETO, A. P.; et al. Nitrogen metabolism in coffee plants in response to nitrogen supply by fertigation. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.27, p. 41-50, 2015.

PAYE, H. S.; et al. Novas tecnologias para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. **Incaper em Revista**, v. 9, p. 42-50, 2018.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. 2. Ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020. 407 p.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. NITROGÊNIO. . In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p.309-376.

TOMAZ, M. A.; et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, v.5, p.885-892, 2003.

ZABINI, A.V. **Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar**. 2010, 78 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

ARTIGO 2 – BLENDS DE FERTILIZANTES CONVENCIONAIS, LIBERAÇÃO CONTROLADA E LENTA PARA LAVOURAS EM PRODUÇÃO ESPÉCIE *Coffea arabica* L.

RESUMO

Diante dos custos de produção e estratégias para aumento da eficiência de uso de nutrientes para o cafeeiro, atribui-se ao uso de fertilizantes que apresente sua eficiência aumentada, do qual tem por principal característica reduzir a perda de nutrientes e assim possibilitar ganhos em produtividade e sustentabilidade ao setor cafeeiro. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência de uso de “blends”, por meio da associação de fertilizantes convencionais, estabilizados, de liberação controlada e lenta, para o cafeeiro em produção. O experimento foi realizado em lavouras comerciais de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99, localizado no município de Santo Antônio do Amparo - MG. Seguiu-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas experimentais compostas por 16 plantas, sendo avaliadas as 10 plantas centrais. Foram utilizados cinco tratamentos com fertilizantes: Ureia e Nitrato de Amônio, parcelados em três aplicações e três formulações de “blends”, associando fontes convencionais de N e de eficiência aumentada :Blend 1 e 2, e o Blend 3 por meio da associação de fontes convencionais e de liberação controlada de N, P e K aplicados em uma única adubação, submetidos a variação de doses de N e K₂O: 0, 200, 280 e 400 e P₂O₅: 0, 50, 70 e 100 kg⁻¹ha⁻¹ano. Adotando como variáveis do trabalho: Curvas de liberação de N, P e K, em campo e laboratório; teores foliares de N, P e K; produtividade, renda e rendimento; dinâmica de N-mineral no solo. Entre os resultados observados, a liberação de N para os tratamentos blends, apresentou diferentes longevidades entre o uso de blends associados a fertilizantes de liberação controlada, em comparação a associação da fonte nitrogenada de liberação lenta. Sendo a liberação de nutrientes dos blends de liberação controlada inferiores a campo, comparado ao observado para as condições de laboratório. Os teores foliares de N e P foram influenciados somente pelo efeito isolado de doses. Entre os testes de liberação de nutrientes, a campo e em laboratório, o Blend 2 apresentou-se como a fonte de maior longevidade. A incorporação do blend 3, não influenciou a liberação dos nutrientes N, P e K comparada a sua aplicação em superfície. Diante dos resultados apresentados para a produtividade, rendimento e renda, observou-se que tanto as fontes como a variação de doses de N, P e K, não influenciaram o cafeeiro em seu primeiro ano de avaliação, indicando que o período relativo de um ano de avaliação não pode ser atribuído para validar a eficiência de uso das fontes e o efeito da variação de doses do elemento em solo com fertilidade construída.

Palavras-chave: Fertilizantes de eficiência aumentada. Fertilizante de liberação controlada. Liberação de nutrientes.

ABSTRACT

Given the production costs and strategies to increase the efficiency of nutrient use for coffee, it is attributed to the use of fertilizers that present their enhanced efficiency, whose main characteristic is to reduce the loss of nutrients and thus enable gains in productivity and sustainability to the coffee sector. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the efficiency of using blends, through the association of conventional, stabilized, controlled and slow-release fertilizers for coffee in production. The experiment was carried out in commercial crops of *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99, located in the municipality of Santo Antônio do Amparo - MG. A randomized block design was followed, with three replications and experimental plots composed of 16 plants, with the 10 central plants being evaluated. Five treatments with fertilizers were used: Urea and Ammonium Nitrate, divided into three applications and three formulations of "blends", associating conventional sources of N and enhanced efficiency fertilizers: Blend 1 and 2, and Blend 3 through the association of sources conventional and controlled release of N, P and K applied in a single fertilization, submitted to variation of doses of N and K₂O: 0, 200, 280 and 400 and P₂O₅: 0, 50, 70 and 100 kg⁻¹ha⁻¹year. Adopting as work variables: N, P and K release curves, in the field and laboratory; leaf contents of N, P and K; productivity, income and income; N-mineral dynamics in soil. Among the results observed, the release of N for the blends treatments showed different longevity between the use of blends associated with controlled-release fertilizers, compared to the association of the slow-release nitrogen source. The release of nutrients from the controlled release blends was lower in the field, compared to that observed under laboratory conditions. Leaf N and P contents were influenced only by the isolated effect of doses. Among the nutrient release tests, in the field and in the laboratory, Blend 2 presented itself as the source with the greatest longevity. The incorporation of blend 3 did not influence the release of nutrients N, P and K compared to its application in top dressing. In view of the results presented for productivity, income or hulling and income or yield, output it was observed that both the sources and the variation of doses of N, P and K did not influence the coffee tree in its first year of evaluation, indicating that the relative period of one year evaluation cannot be assigned to validate the efficiency of use of sources and the effect of varying doses of the element in highly fertile soil.

Keywords: Enhanced efficiency fertilizers. Controlled release fertilizer. Nutrient release.

1 INTRODUÇÃO

Cinquenta por cento da produção mundial de alimentos são dependentes do uso de fertilizantes. Diante da implicação direta para maiores produtividades, o uso de fertilizantes de forma racional e sustentável, torna-se imprescindível (Lopes, 2017; Casarin & Stipp, 2013).

Dentre as fontes convencionais de fertilizantes utilizadas na cafeicultura, destaca-se para fontes nitrogenadas o uso de ureia, sendo a fonte utilizada em maiores quantidades (Guimarães et al., 2021). Embora a fonte apresente-se em maior uso, atribui-se a ureia perdas por volatilização equivalentes a 30% do total de N aplicado (Bartelega, 2018; Dominghetti et al., 2016). Portanto, adotar estratégias que visem aumentar a eficiência de uso desta fonte faz-se necessária.

Entre as estratégias de fontes convencionais nitrogenadas dos quais apresentam-se de forma mais eficiente ao uso de ureia, destaca-se o nitrato de amônio e sulfato de amônio, fontes nitrogenadas que possuem reação ácida e assim baixas as perdas destinadas a volatilização comparada a perda com o uso de ureia (Freitas, 2017; Dominghetti et al., 2016).

Associado a boas práticas de uso de fertilizantes a tecnologia de uso de fertilizantes de eficiência aumentada é aliada ao uso eficiente de fontes convencionais. Dentre os tipos de tecnologias denominadas como de eficiência aumentada, apresenta-se as fontes nitrogenadas estabilizadas, do qual destaca-se o inibidor da atividade da enzima urease (N-(n-butil) tiofósforico triamida - NBPT), apresentando-se como estratégia para aumentar a eficiência de uso da ureia (Otto et al., 2021).

Dentre outras tecnologias para fertilizantes de eficiência aumentada apresenta-se os fertilizantes de liberação controlada ou lenta do qual objetiva-se o seu uso vinculado a liberação contínua de nutrientes, de acordo com o estágio da cultura de interesse e a sua demanda nutricional, fazendo com que a planta obtenha nutrientes na dose certa e momento certo de sua demanda (Fu et al., 2018). Assim, é possibilitada maior eficiência de uso e conseqüentemente, menores perdas por lixiviação, volatilização e redução de impactos ambientais gerados (Snyder, 2017).

Em conjunto ao uso de fontes de eficiência aumentada, atribui-se o uso de “blends” do qual é obtido por meio da mistura física entre diferentes tecnologias, associando-se assim redução de custos comparado ao uso isolado de fertilizantes de eficiência aumentada, em especial liberação controlada e lenta, aumento de eficiência de uso de fontes convencionais e ajuste da liberação de nutrientes, sendo que o blend pode ser adquirido com a mistura de diferentes fontes de liberação controlada que apresentam longevidades diferentes e de acordo

com sua longevidade e dinâmica de liberação dos nutrientes, a sua aplicação em uma única dose (Andrade et al., 2021; Lawrencina et al., 2021; Zhang et al., 2021).

A demanda dos nutrientes N, P e K, para o cafeeiro em produção varia em função da carga pendente e classe de fertilidade do solo, sendo estas doses variáveis a níveis de 200 kg de N, 10 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O ha⁻¹ ano para safras abaixo de 20 sacas de 60 kg de café beneficiado a 600 kg de N, 110 kg de P₂O₅ e 450 kg de K₂O para safras acima de 90 sacas (Sakiyama et al., 2015; CFSEMG, 1999). Percebe-se elevadas doses para os nutrientes em função de uma alta carga pendente, portanto adotar estratégias e fontes que apresentem maior eficiência de uso de nutrientes é necessária para que se possa garantir adequada nutrição e retorno econômico ao produtor.

O uso de blends entre fertilizantes convencionais e de eficiência aumentada, em especial nitrogenados, apresentam resultados positivos ao ganho em produtividade para o cafeeiro, assim como redução de perdas por volatilização e aumento da eficiência de uso de nutrientes (Chagas et al. 2019; Freitas, 2019; Guimarães et al., 2021). Assim como a eficiência de uso de fontes fosfatadas e potássicas revestidas com polímeros para mudas de café arábica (Chagas et al., 2016; Guelfi et al., 2018; Ha et al., 2019). Entretanto, são poucos relatos que apresentam o estudo da associação entre fontes convencionais e de liberação controlada para as fontes de potássio e fósforo a campo em lavouras em produção.

Podendo-se assim, atribuir-se ao uso da tecnologia de “blends” ao ganho em eficiência de fontes fosfatadas mediante as perdas por adsorção e para fontes de potássio dos quais possuem sua perda associada a lixiviação (Guelfi, 2021; Ha et al., 2019).

De acordo com o levantamento de dados do programa Educampo-MG, para o ano safra 2019/2020, o custo da adubação via solo, dentre as atividades que compõem o custo operacional efetivo de lavouras cafeeiras, para as regiões do Cerrado e Sul de Minas, representou 30% e 25% respectivamente, liderando o fator de impacto nos custos diretos relacionado a cadeia produtiva. Sendo assim, diante do grande aporte de recursos financeiros embutidos no uso dos insumos, estratégias para aumentar a sua eficiência de uso, são de grande valia para manutenção da sustentabilidade financeira do setor.

Portanto, atribuir-se ao uso de fertilizantes de eficiência aumentada e sua associação na forma de “blends”, apresenta-se como estratégia a cafeicultura, com o objetivo de redução de custos, devido a sua aplicação em uma única dose e aumento da eficiência de uso de nutrientes.

Diante do exposto, objetiva-se com o presente trabalho avaliar a eficiência do uso de “blends”, por meio da associação de fertilizantes convencionais, de liberação controlada ou lenta, assim como a caracterização da liberação de nutrientes, dinâmica da concentração de N-

mineral no solo e sua influência em relação ao teor foliar de nitrogênio, fósforo e potássio, e parâmetros de produção para o uso em lavouras de *Coffea arabica* L.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em lavoura comercial de *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99, situada nas coordenadas geográficas: 20°53'52,90"S e 44°52'52,30"W e altitude média de 1.100 m. Implantada no ano de 2014 no espaçamento de 3,50 m entre linhas e 0,60 m entre plantas na mesma linha. O histórico de produção da lavoura apresenta média geral de 2016 a 2020 de 42 sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, sendo o ano de 2020 a média de produção de 51 sacas, apresentando bienalidade positiva para o ano safra 2019/2020, anterior ao ano de implantação do experimento. Sendo o ano safra em avaliação de bienalidade negativa. O solo da área experimental é tido como Latossolo Vermelho em relevo plano (Embrapa, 2018). O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19.6 °C com precipitação média de 1.493mm, localizado no município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil, pertencente a região Campo das Vertentes-MG.

O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 16 plantas, sendo avaliadas as 10 plantas centrais. Os blocos foram dispostos em uma linha, deixando-se uma linha de bordadura entre blocos. Foram utilizados cinco tratamentos com fertilizantes, dos quais são duas fontes convencionais e três formulações de blends:

- 1) Ureia convencional (45% de N);
- 2) Nitrato de Amônio (32% de N);
- 3) Blend 1 (Ureia formaldeído + Ureia convencional + Sulfato de amônio + Carbonato de Cálcio);
- 4) Blend 2 (Ureia NBPT (N-(n-butil) tiofósforico triamida) + Ureia revestida com S^o + polímero orgânico);
- 5) Blend 3 (Tabela 2), do qual apresenta a mistura física entre fertilizantes convencionais e de liberação controlada, resultando em um blend de NPK, compondo uma formulação (19-04-19). Sendo a sua aplicação dividida em dois tratamentos: aplicação em cobertura e incorporado.

Cada tratamento foi submetido a variação de doses de nitrogênio (N) e potássio (K₂O), sendo elas: 0, 200, 280 e 400 kg⁻¹ha⁻¹ano, assim como variação de doses de fósforo (P₂O₅) sendo

elas: 0, 50, 70 e 100 kg⁻¹ha⁻¹ano. Sendo que cada tratamento foi composto por variações da relação de NPK, sendo assim, a relação de 0%, 50%, 70% e 100% da dose de referência para cafeeiro em produção (CFSEMG, 1999). O esquema adotado foi do tipo fatorial 6x3+1.

As doses dos fertilizantes foram aplicadas em cobertura, salvo o tratamento Blend 3 (incorporado) do qual sua aplicação foi incorporada ao solo, entre 5 a 10 cm, na mesma data em que os demais fertilizantes foram aplicados. Sendo que para os tratamentos blend 3, apenas uma aplicação de fertilizantes foi realizada assim como a adubação nitrogenada de Blend 1 e Blend 2. Para ureia, nitrato de amônio, Blend 1 e Blend 2, foi realizada a aplicação em dose única de P₂O₅ na forma de MAP (fosfato monoamônico) convencional (11-52-00) e para K₂O, a aplicação foi realizada em três parcelamentos, na forma de cloreto de potássio convencional (60 % K₂O), em conjunto e na mesma ocasião do parcelamento para as fontes convencionais nitrogenadas.

Tabela 1 - Data das 3 adubações realizadas para o período de condução do experimento.

Parcelamento da adubação		
1ª Adubação	2ª Adubação	3ª Adubação
06/11/2020	18/12/2020	08/02/2021

Foi realizada uma adubação padrão para todos os tratamentos com os fertilizantes, Omya Magprill® para fornecimento de Ca e Mg, 50 e 18 kg ha⁻¹, respectivamente; e para os micronutrientes, foi fornecido uma dose equivalente ao fornecimento de 1.8; 0.86; 2 e 9 kg ha⁻¹ de B, Cu, Mn e Zn, respectivamente, na forma de BR 12.

Tabela 2 - Caracterização da composição e proporção entre os fertilizantes que compõem o tratamento Blend 3.

Caracterização do Blend 3					
Fontes	Garantias	Dureza (kgf)		Tipo de revestimento	% convencional e FLC* Total
		Granulometria (mm)			
		4.00 - 3.35	3.35- 2.00		
Nitrato de Amônio	32-00-00	-	-	-	
MAP	11-52-00	14.88	11.29	-	44.1
Sulfato de Potássio	00-00-50	-	-	-	
Ureia 4m**	42-00-00	-	-	Poliuretano	
Ureia 6m**	42-00-00	-	-	Poliuretano	
Nitrato de Potássio 4m**	13-00-42	-	2.81	Poliuretano	55.9
MAP 4m**	10-48-00	12.88	9.50	Poliuretano	
MAP 8m**	10-48-00	6.97	6.64	Poliuretano	

*FLC: Fertilizante de Liberação Controlada. **Longevidade das fontes determinadas pelo fabricante.

Figura 1 – Característica física dos fertilizantes de liberação controlada utilizados no Blend 3.



A) Ureia longevidade de 4 e 6 meses; B) MAP longevidade 4 meses; C) MAP longevidade 8 meses; D) Nitrato de Potássio longevidade 4 meses.

Fonte: Do autor (2021).

O fertilizante Blend 1 foi composto de uma mistura de grânulos entre fertilizantes convencionais nitrogenados: ureia e sulfato de amônio e o fertilizante nitrogenado de liberação lenta, ureia formaldeído. Do qual apresenta, o blend, em sua composição final, 33% de N total e 8% $S-SO_4^-$. Uma fração do fertilizante foi composta por 4.5% de calcário granulado.

Figura 2 – Característica física dos grânulos de fertilizantes minerais que compõem o Blend 1.



Fonte: Do autor (2021).

O fertilizante Blend 2 foi composto de um blend entre fertilizantes nitrogenados, onde 70% do total é composto por ureia revestida com enxofre elementar + polímero e os outros 30% com ureia granular estabilizada com o inibidor de urease (NBPT) do qual possui em garantias 39% de N total e 12% de enxofre em sua forma elementar.

Figura 3 - Característica física do Fertilizante mineral Blend 2.



Fonte: Do autor (2021).

2.1 ANÁLISE DE SOLO

Anterior a instalação do experimento foi realizada análise de solo estratificada, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm, com utilização do trado holandês na linha de projeção de copa do cafeeiro. As variáveis analisadas e metodologia de avaliação seguiram a seguinte descrição: pH (KCL relação 1:25); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Extrator Mehlich 1); Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} (Extrator KCL (1 mol L^{-1})); S (Extrator fosfato monocalcico em ácido acético); H+Al (Extrator SMP); Matéria Orgânica (Walkley e Black); B (Extrator água quente); N-total (Kjedahl); análise granulométrica (Embrapa, 2017).

Tabela 3 - Análise de solo para caracterização inicial da área experimental.

Profundidade	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	N total	Argila	Silte	Areia
		mg dm ³			cmolc dm ³				%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹				mg dm ³			g kg ⁻¹	dag kg ⁻¹		
(0-5)	6.2	506.74	126.88	3.54	1.41	0.10	6.50	12.75	49.01	3.65	23.40	21.30	46.70	18.60	9.56	0.23	16.30	3.82	57	12	31
(5-10)	5.5	169.67	30.92	2.41	0.92	0.10	6.00	9.77	38.54	2.83	14.10	12.30	40.70	16.50	8.27	0.18	25.50	3.61	58	12	30
(10-20)	5.3	84.83	13.16	1.78	0.68	0.00	6.00	8.68	30.85	2.54	10.80	9.40	50.60	12.10	7.43	0.13	27.70	2.23	55	14	31
(20-40)	5.2	89.16	5.21	1.32	0.49	0.00	6.00	8.04	25.36	2.40	7.90	12.20	39.00	10.30	7.25	0.16	33.40	2.33	56	10	34
(40-60)	5.3	90.64	2.54	0.94	0.39	0.00	6.10	7.66	20.40	1.98	6.70	8.00	46.90	9.70	6.34	0.13	33.70	2.02	54	13	33

2.2 ANÁLISE FOLIAR

A amostragem foi realizada após o segundo parcelamento das adubações convencionais, retirando-se um par de folhas em cada ponto cardeal de cada planta, no 3º par de ramos plagiotrópicos produtivos, terço médio da copa, obtendo um total de 8 folhas por planta, 80 folhas por cada repetição conforme Martinez et al. (2003). As folhas amostradas foram levadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar por um

período de 72 horas, a temperatura de 65° C até atingir peso constante. A seguir, o material foi moído em moinho do tipo Wiley de aço-inox para leitura dos nutrientes.

Para o N A leitura das amostras foi realizada por meio de digestão sulfúrica (H₂SO₄ P.A.), seguida da quantificação do nutriente por meio do método Kjeldahl (Embrapa, 2000). Para o P e K, foi realizada a digestão nitroperclórica (HNO₃:HClO₄ 3:1 v/v). Seguido da determinação dos elementos via espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) (Malavolta, 1997).

2.3 PRODUTIVIDADE, RENDA E RENDIMENTO

A produtividade para safra 20/21 foi avaliada, coletando-se os frutos correspondentes as 10 plantas úteis de cada parcela, de forma manual sobre panos apropriados, quando a porcentagem de maturação apresentava em média, 90% dos frutos nos estádios cereja e passa. Sendo assim, retirado uma amostra de 5 litros do total de frutos de café colhidos, para posterior secagem em terreiro. Após, a secagem, quando os frutos beneficiados apresentavam entre 11 a 12% de umidade, os frutos em coco foram beneficiados, sendo utilizado o peso de referência para a umidade de 12%, calculado a produtividade, de acordo com a seguinte equação:

Produtividade em sacas ha⁻¹:

$$\frac{(\text{Peso de grãos beneficiados(kg)} \times \text{L de café colhido por parcela})/10}{5} \times \frac{(\text{N}^\circ \text{ de plantas por ha})}{60}$$

O rendimento foi realizado de acordo com relação entre a quantidade em litros de café colhido necessário para cada saca de 60 kg de café beneficiado, por meio da seguinte equação:

$$\text{Rendimento (L saca}^{-1}\text{): } \frac{(\text{Litros de café por parcela}/10) \times (\text{N}^\circ \text{ de plantas por ha})}{\text{N}^\circ \text{ de sacas produzidas}}$$

A renda foi realizada de acordo com a relação entre quilos de café em coco necessário para a produção de um quilo de café beneficiado:

$$\text{Renda (kg kg}^{-1}\text{): } \frac{\text{kg de café em coco}}{\text{kg de café beneficiado}}$$

2.4 CURVA DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES

2.4.1 Teste de liberação a campo

As curvas de liberação para os tratamentos: Blend 1 e Blend 2 e Blend 3 (cobertura) e Blend 3 (incorporado) foram realizadas em campo sob a projeção da copa do cafeeiro em condições edafoclimáticas naturais da cultura e em laboratório, sob condições controladas, adaptado de Freitas (2020).

Para o experimento em campo, os fertilizantes foram pesados em frações de 40 g e inseridos em sacos de nylon de 12,5x18 cm, feitos com rede de malha 1,8mm. Cada saco rede foi introduzido sob a linha de projeção da copa do cafeeiro, quando foi realizada a adubação de cada tratamento recobrimdo cada unidade com um pouco de folha e solo (figura 4). Cada parcela recebeu 11 sacos e cada coleta foi realizada nos dias 7, 14, 28, 42, 56, 77, 98, 126, 154, 196, 226 dias após a adubação, sendo a última realizada na ocasião da colheita.

As amostras de fertilizantes foram trituradas com o auxílio de gral e pistilo, adicionando a cada coleta (40 mL) de água destilada, para quebrar o polímero e liberar todo o fertilizante. Onde o Blend 1, por não apresentar revestimento, foi macerado sem o auxílio de água destilada. Em seguida, foi adicionado 3 mL de uma solução de H₂SO₄ a 10% (Blend 2 e Blend 3), para evitar possíveis perdas por volatilização. Uma alíquota de 0,2 mL da solução e 0.2 g do Blend 1 foi utilizada para a digestão sulfúrica em bloco digestor, seguida pela determinação pelo método Kjeldahl para cálculo do teor de N total quando somente a fonte de nitrogênio estava presente em formas amídicas (Blend 1 e Blend 2). Para o Blend 3 a determinação foi realizada pelo micrométodo da Liga de Raney (MAPA, 2017).

Para a determinação de P₂O₅ e K₂O, presentes nos blends 3 uma alíquota de 0,5 ml foi utilizada para digestão nitro-perclórica (HNO₃:HClO₄ 3:1 v/v). As determinações foram realizadas via espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Descontando o valor da quantidade inicial de N, P₂O₅ e K₂O total em cada amostra, foi obtido o valor do nutriente liberado pelo fertilizante em cada coleta, possibilitando traçar a curva de liberação dos mesmos.

Figura 4 – Aplicação dos sacos rede com fertilizantes para o teste de liberação em campo, sob a projeção da copa em superfície e incorporado.



Fonte: Do autor (2021).

Associada a coleta de fertilizantes foi realizada a amostragem de solo na camada de 0-0.05 m, abaixo do local onde foram inseridos os sacos de nylon, para a quantificação dos estoques de amônio (NH_4^+) e Nitrato (NO_3^-) para os tratamentos “blends”. Para as fontes convencionais e parcelas sem adubação, a coleta do solo foi realizada sob a projeção da copa do cafeeiro, região onde foram aplicados os fertilizantes. Uma massa de 10 g de solo foi retirada em 2 pontos de amostragem para cada parcela, sendo realizada 6 repetições por coleta do qual foram inseridas, assim que coletadas no campo, em potes de 250 ml, contendo 100 ml de solução de Cloreto de Potássio (KCl) a 1 mol L^{-1} . Após a coleta os materiais foram inseridos em mesa agitadora, por um período de 60 minutos e após 30 minutos em repouso, uma alíquota de 25 ml foi retirada de cada frasco, para destilação, de acordo com metodologia proposta por Embrapa (2017).

Foi realizado o monitoramento da temperatura média diária do solo, durante todo o período de amostragem, por meio do equipamento LogTag® UTRIX-16, assim como o monitoramento da umidade do solo (conteúdo volumétrico de água), por meio do Sensor MAS-1 (METER Group®), acoplado ao equipamento (ABS-IO DATALOGGER).

2.4.2 Teste de liberação em laboratório

Para o experimento em laboratório, os fertilizantes foram pesados em frações de 10 g e inseridos em sacos de tecido “microtule”, sendo-se assim, vedados para evitar a saída dos fertilizantes. Onde caso saco foi introduzido em potes de 500 ml, tendo como solução água destilada, com manutenção de temperatura a 25°C . O modelo utilizado foi em delineamento inteiramente casualizado com um total de 4 repetições por tratamento. Cada coleta foi avaliada nos dias 1, 7, 14, 28, 42, 56, 77 dias após a introdução dos sacos rede sob o meio com água

destilada, utilizando para avaliação 5 ml do material retirado da solução em contato com os fertilizantes, sendo que a cada coleta o volume de água destilada foi repostada de forma integral. A quantidade liberada de fertilizante na solução foi calculada pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica para Blend 1 e Blend 2, e para o Blend 3 foi utilizado o micrométodo da liga de Raney (MAPA, 2017).

Para a determinação de P_2O_5 e K_2O , presentes nos blends 3 uma alíquota de 50 ml foi utilizada para determinação, via espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Descontando o valor da quantidade inicial de N, P_2O_5 e K_2O , em cada amostra, foi obtido o valor do nutriente liberado pelo fertilizante em cada coleta, possibilitando traçar a curva de liberação dos mesmos.

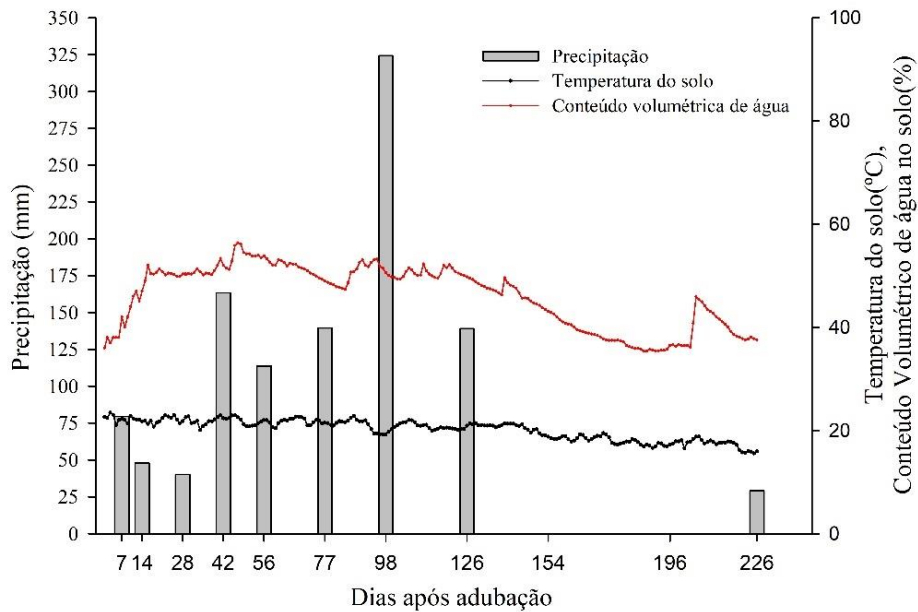
2.5 Estatística

Os dados obtidos foram processados através de análise de variância (ANOVA) pelo programa RStudio (versão 4.0.1) as variáveis qualitativas foram comparadas por médias pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade e para as variáveis quantitativas, as curvas de regressão foram descritas de acordo com modelo de melhor ajuste, acompanhado do coeficiente de determinação (R^2). Os dados gráficos foram processados através do software Sigma Plot (versão 11.0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da (Figura 5), apresenta-se os valores referentes a precipitação, temperatura e umidade volumétrica diária do solo. Os dados de precipitação, referem-se ao intervalo de coleta, em dias, aos períodos em que foram coletados os testes de liberação de nutrientes a campo. Para o intervalo de 226 dias (da adubação até a colheita), a precipitação acumulada foi de 1076.6 milímetros (mm). A temperatura média diária do solo observada, foi de 20.6 °C e o conteúdo volumétrico médio de água no solo foi de 46.16%.

Figura 5 – Precipitação, temperatura e conteúdo volumétrico de água no solo, do cafeeiro durante a condução do experimento.



Fonte: do autor (2021).

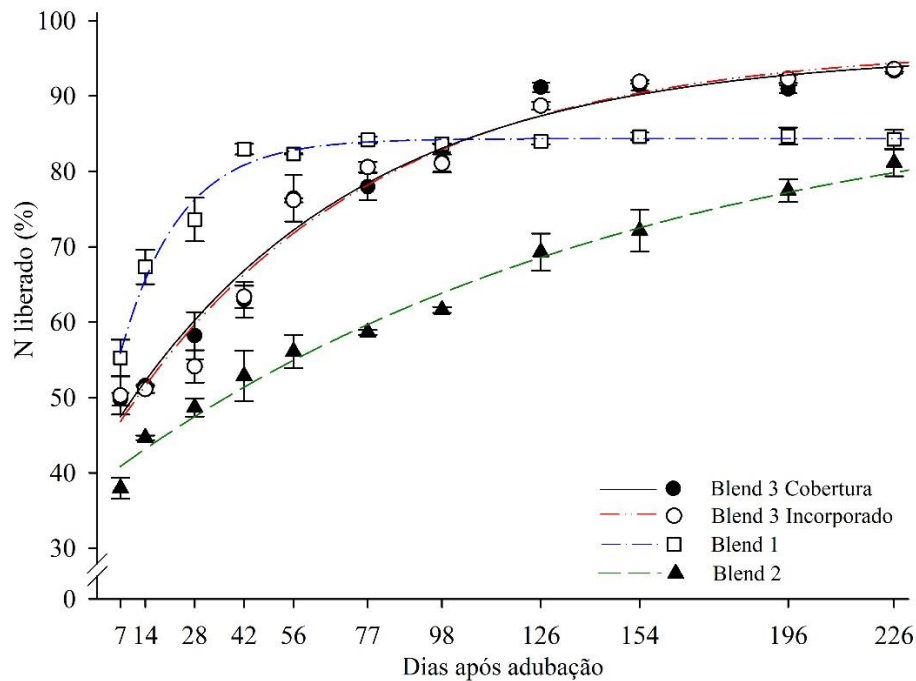
3.1 Curva de Liberação de N, P₂O₅ e K₂O pelos “Blends” em campo

A liberação de N para os tratamentos blends, apresentou diferença em relação a aplicação a campo sob a projeção da copa do cafeeiro. Pode-se perceber que há diferenças entre o uso de blends associados a fertilizantes de liberação controlada, em comparação a associação da fonte nitrogenada de liberação lenta (Figura 6).

O período referente a 226 dias, equivale a última coleta realizada no dia da colheita, sendo que o Blend 2, apresentou maior longevidade que os demais tratamentos, seguido do Blend 1, Blend 3 incorporado e Blend 3 cobertura (Figura 6).

A diferença observada mediante aos intervalos de coleta, revela que os primeiros 7 dias, foram suficientes para a liberação das frações de fontes solúveis, sendo pequena a influência das fontes de liberação controlada. Onde para os demais intervalos, mesmo em maiores espaçamentos de coleta, a liberação não ultrapassou os valores estimados para os 7 primeiros dias.

Figura 6 - Curva de Liberação de N a campo pelos Blends.



Fonte: Do autor (2021).

Na (Tabela 4), estão apresentadas as equações de liberação do N, para os blends, em teste de liberação a campo. Sendo que os demais fertilizantes, apresentaram ajuste ao modelo exponencial de liberação do nutriente, em função dos períodos de coleta. Resultado que corrobora com observado por Medina et al. (2008).

Tabela 4 - Equações estimadas para a liberação de nitrogênio a campo pelos Blends.

Fertilizantes	Equações	R ²
Blend 1	% N liberado = $43.2978^{**} \cdot (1 - 0.9419^{** \text{dias}}) + 41.0554^{**}$	0.98 ^{**}
Blend 2	% N liberado = $53.5214^{**} \cdot (1 - 0.9934^{** \text{dias}}) + 38.4562^{**}$	0.98 ^{**}
Blend 3 Cobertura	% N liberado = $53.5961^{**} \cdot (1 - 0.9855^{** \text{dias}}) + 42.2381^{**}$	0.97 ^{**}
Blend 3 Incorporado	% N liberado = $54.9881^{**} \cdot (1 - 0.9858^{** \text{dias}}) + 41.5662^{**}$	0.97 ^{**}

** (p < 0.01).

Após o período de 42 dias, percebe-se que a liberação de nutrientes pelo Blend 1, praticamente cessou (Figura 6). De acordo com a equação estimada (tabela 4), após o intervalo referente ao primeiro parcelamento (42 dias) até o momento da colheita, a liberação acumulada foi de 3,50%. Após o processo de síntese da ureia formaldeído, cadeias de diferentes composições entre combinações de C e N são formadas, fazendo com que o fertilizante, apresente variações de polímeros que possuem características diferenciadas da liberação do nutriente (Yamamoto et al., 2016). Esse comportamento é quantificado através do índice de atividade, sendo que cadeias mais longas apresentam menor solubilidade (Trenkel, 2010).

Parte da liberação apresentada no período entre 7 e 42 dias, estariam relacionadas as cadeias de menor grau de polimerização, sendo que após este período, as cadeias de maior longevidade, relacionadas ao comportamento observado na (Figura 6), onde, as condições edafoclimáticas e microbiológicas, responsáveis pela liberação do fertilizante, específicas a condição em que o experimento foi realizado, não foram suficientes para liberar a fração de maior polimerização (Guo et al., 2018). Em um trabalho, por meio da incubação via solo, Wu et al. (2021), realizaram a taxa de liberação de uma ureia formaldeído (18% N), onde foi observado, pico de liberação acima de 85% do nutriente aos 10 dias após incubação, sendo que no final de 120 dias, intervalo de 110 dias, pouco foram as taxas de liberação, valores finais próximos de 98%, resultado que não corrobora com o observado neste estudo.

A comparação isolada de blends com fertilizantes de liberação controlada, Blend 2 e Blend 3, e suas diferenças de longevidade, corrobora com o descrito por Azeem et al. (2014), sendo que o tipo de revestimento é um fator responsável pela liberação do fertilizante. Ainda atrelado ao resultado, a proporção de fertilizantes de liberação controlada apresenta-se como um fator responsável pela longevidade do blend, sendo que, o Blend 2 apresenta-se com (70%) em proporção, e para o Blend 3 (56%). Corroborando com o observado por Freitas (2020).

Por meio da (Tabela 5) estão apresentados os valores da liberação acumulada de N, para os tratamentos blends, de acordo com o intervalo de referência utilizado para a adubação das fontes convencionais e a liberação diária para os blends, de acordo com a liberação acumulada para cada intervalo de parcelamento.

Tabela 5 - Liberação acumulada e diária de N pelos Blends.

Fertilizante	Liberação acumulada (Kg de N)			Colheita	Total
	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento		
Blend 1	323.40	13.40	0.56	0.04	337.40
Blend 2	205.80	47.24	30.72	36.20	319.96
Blend 3 Cobertura	267.24	61.80	26.92	19.48	375.44
Blend 3 Incorporado	265.60	63.28	28.04	20.60	377.52
Fertilizante	Liberação diária (kg de N dia ⁻¹)				
Fertilizante	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento	Colheita	
Blend 1	7.7000	0.2577	0.0119	0.0005	
Blend 2	4.9000	0.9085	0.6536	0.426	
Blend 3 Cobertura	6.3629	1.1885	0.5728	0.229	
Blend 3 Incorporado	6.3238	1.2169	0.5966	0.242	

Dose de referência 400 kg de N ha⁻¹ Parcelamentos: 1º: intervalo entre a aplicação da 1ª e 2ª dose de fontes convencionais (42 dias), 2º: intervalo entre a aplicação 2ª e 3ª dose de fontes convencionais (52 dias), 3º: média entre os intervalos do 1º e 2º parcelamento (47 dias), Colheita: intervalo correspondendo ao final do 3º parcelamento até a colheita (85 dias).

Na (Figura 7), apresenta-se a liberação de K₂O e P₂O₅, para o Blend 3, em suas duas modalidades de aplicação sobre a projeção da copa do cafeeiro (cobertura e incorporado). Percebe-se que independentemente do tipo de aplicação, a liberação dos nutrientes não foi influenciada. A liberação dos nutrientes em campo ajustou-se ao modelo exponencial, para os dois tipos de aplicações e nutrientes (Tabela 6), seguindo o mesmo comportamento observado para o N (Figura 6).

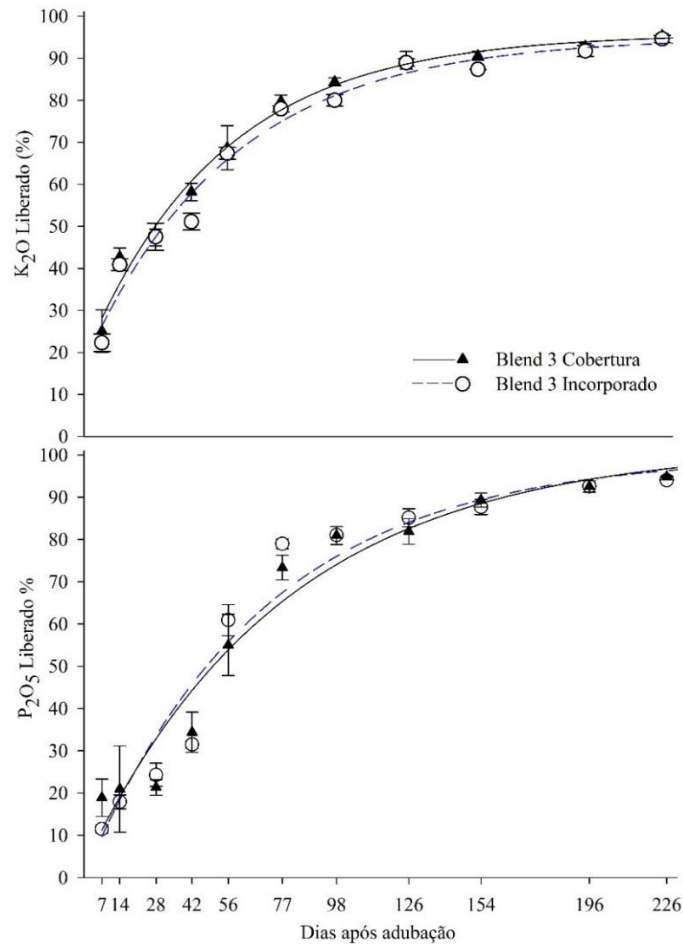
Tabela 6 - Equações de regressão para K₂O e P₂O₅ para o Blend 3 referente as duas modalidades de aplicação.

Fertilizantes	Equações	R ²
Blend 3 Cobertura	% K ₂ O liberado = $77.3371^{***}(1-0.9814^{**\text{dias}})+18.5348^{**}$	0.98 ^{**}
	% P ₂ O ₅ liberado = $99.4911^{***}(1-0.9872^{**\text{dias}})+2.6438^{**}$	0.95 ^{**}
Blend 3 Incorporado	% K ₂ O liberado = $77.7974^{***}(1-0.9826^{**\text{dias}})+17.1764^{**}$	0.97 ^{**}
	% P ₂ O ₅ liberado = $100.0684^{***}(1-0.9855^{**\text{dias}})$	0.95 ^{**}

** (p≤0.01).

Entre as diferentes estratégias adotadas para a aplicação do tratamento Blend 3 em cobertura ou incorporado, a liberação total aos 226 dias, foi de 93.86% e 94.38% para N (figura 6), 96.72% e 96.38% para P₂O₅, 94.76% e 93.50% K₂O (Figura 7), respectivamente. Este resultado demonstra que, para as condições específicas de cultivo ao cafeeiro arábica, não há diferença entre a interação do fertilizante aplicado sob a projeção da copa e sua aplicação incorporada para as camadas superficiais do solo, em relação a liberação de nutrientes. De acordo com DaMatta et al. (2007), o cafeeiro arábica apresenta maior atividade de suas raízes nos primeiros 0.30 m de solo, sendo que a incorporação do fertilizante, com o intuito de possibilitar maior contato com umidade e temperatura do solo, fatores que influenciam em sua liberação (Shaviv, 2000), pode se tornar uma atividade negativa, sendo que a operação poderá causar lesões de partes do sistema radicular.

Figura 7 - Liberação de K_2O e P_2O_5 pelo Blend 3, a campo, nas modalidades de aplicação em cobertura e incorporado.



Fonte: Do autor (2021).

Por meio da (Tabela 7), pode-se observar a quantidade acumulada de K_2O e P_2O_5 , liberados pelo Blend 3, de acordo com o período de referência utilizado para o parcelamento de fontes convencionais, até a ocasião da colheita. Assim como, a quantidade de nutrientes diária liberada em cada intervalo de parcelamento.

Tabela 7 - Liberação acumulada e diária para o Blend 3 para os elementos K_2O e P_2O_5 , referente as duas modalidades de aplicação (continua).

Liberação acumulada (Kg de K_2O)					
Fertilizante	1° parcelamento	2° parcelamento	3° parcelamento	Colheita	Total
Blend 3 Cobertura	242.88	87.64	31.04	17.48	379.04
Blend 3 Incorporado	231.00	89.12	33.60	20.28	374.00
Liberação acumulada (Kg de P_2O_5)					
Fertilizante	1° parcelamento	2° parcelamento	3° parcelamento	Colheita	Total
Blend 3 Cobertura	44.21	28.29	13.46	10.76	96.72
Blend 3 Incorporado	45.88	28.84	12.59	9.07	96.38

Tabela 7 - Liberação acumulada e diária para o Blend 3 para os elementos K_2O e P_2O_5 , referente as duas modalidades de aplicação (conclusão).

Liberação diária (kg de K_2O dia ⁻¹)				
Fertilizante	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento	Colheita
Blend 3 Cobertura	5.783	1.685	0.660	0.206
Blend 3 Incorporado	5.500	1.714	0.715	0.239
Liberação diária (kg de P_2O_5 dia ⁻¹)				
Fertilizante	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento	Colheita
Blend 3 Cobertura	1.053	0.544	0.286	0.127
Blend 3 Incorporado	1.092	0.555	0.268	0.107

Dose de referência 400 kg de K_2O ha⁻¹. Dose de referência 100 kg de P_2O_5 ha⁻¹; Parcelamentos: 1º: intervalo entre a aplicação da 1ª e 2ª dose de fontes convencionais (42 dias), 2º: intervalo entre a aplicação 2ª e 3ª dose de fontes convencionais (52 dias), 3º: média entre os intervalos do 1º e 2º parcelamento (47 dias), Colheita: intervalo entre o final do 3º parcelamento até a colheita (85 dias).

Os estádios reprodutivos em que ocorrem maiores taxas de acúmulo de N, P e K pelos frutos do cafeeiro, coincidem com os períodos de expansão rápida e granação/enchimento de frutos, período médio de 65 e 133 dias após a antese, respectivamente (Laviola et al., 2009). A liberação do nutriente em contraste com o intervalo de maior demanda do fruto é interessante, para que se possa atender ao maior dreno causado pelo fruto (Bruno et al., 2011).

Vale ressaltar que o cafeeiro exerce tanto o desenvolvimento reprodutivo como vegetativo, no período da estação de crescimento, sendo que uma disponibilidade de nutrientes, nos estádios que antecedem aos períodos de maior acúmulo em frutos, são interessantes para dar suporte ao crescimento vegetativo, do qual possui grande fator para contribuição do fornecimento de fotoassimilados e compostos relacionados a demanda e translocação de nutrientes para o desenvolvimento do grão (DaMatta et al., 2007). Bruno et al. (2011), observou que os picos de absorção de N pelas folhas acompanham os estádios de desenvolvimento correspondentes aos picos de demanda dos frutos. Pode-se assim, entender que os períodos anteriores aos de maiores demandas seriam os intervalos onde a maior disponibilidade de nutrientes, corresponde a maior faixa de necessidade de liberação do fertilizante.

Por meio da equação estimada, para os blends em avaliação, os períodos que antecedem ao início dos estágios de maior demanda, adotando como referência a florada principal para a lavoura em estudo, 27 de outubro de 2020, foram de 52 e 126 dias após a adubação.

A liberação total de nitrogênio referente ao período de 52 dias foi de: (82%) Blend 1, (54%) Blend 2, Blend 3 Cobertura (71%) e Incorporado (70%) e para o período de 126 dias, o total de: (84%) Blend 1, (69%) Blend 2, Blend 3 Cobertura e Incorporado (87%).

Portanto, em função da taxa de liberação apresentada pelos blends 1 e 3, a estratégia de uma única aplicação diante das taxas de liberação apresentadas, pode-se tornar um risco devido

à alta concentração de N liberado em um intervalo de tempo curto, 52 dias após a adubação, mesmo que o cafeeiro apresente uma demanda reprodutiva elevada para a fase seguinte de formação do fruto, podendo-se assim, por mais que essa liberação aconteça de forma gradual ao longo do tempo (Figuras 6 e 10), apresentar perdas que diminuem a eficiência de uso da fonte e também comprometer a planta para o final de seu ciclo reprodutivo, devido à baixa disponibilidade do nutriente (Otto et al., 2021; Guimarães et al., 2021).

Sendo assim, para as duas fontes a estratégia de dividir a adubação pelo menos em dois parcelamentos apresenta-se de forma interessante. Outra estratégia do qual pode ser utilizada para melhor sincronismo da liberação com a demanda do cafeeiro, seria o ajuste destes blends, aumentando a proporção da fonte de liberação controlada ou lenta associada a fonte convencional (Andrade et al., 2021; Freitas, 2020).

Entre a proporção de fontes e a sua liberação a campo, o blend 2 apresenta-se como a fonte em que a aplicação em dose única, apresentou o melhor ajuste para o cafeeiro, sendo que a taxa de liberação inicial, aos 54 dias, atende a demanda reprodutiva, em uma taxa de liberação inferior aos blends 1 e 3.

Para o período de 126 dias, antecedendo ao estágio reprodutivo de granação, a taxa de liberação apresentada para os 3 blends, corroboram com a demanda de N para o desenvolvimento do fruto. Sendo que, o blend 2 apresenta-se como a fonte de menor liberação acumulada (69%). Após este período a liberação do nutriente para os tratamentos blends 2 e 3 apresentam uma vantagem comparada a adubação de fontes convencionais, devido as taxas de liberação apresentadas até a ocasião da colheita, e a disponibilidade de N-mineral no solo (Figura 10), torna-se disponível concentrações do nutriente para atender ao crescimento vegetativo, onde, em áreas em que o cafeeiro apresente condição climática favorável ao seu desenvolvimento, devido a menor competição entre as fases reprodutiva e vegetativa neste período (DaMatta et al., 2007; Bruno et al., 2011).

Em relação a adubação fosfatada, a liberação total de nutrientes correspondente ao intervalo de 52 dias foi: (51%) Blend 3 Cobertura e (53%) Incorporado; para o intervalo de 126 dias: (83%) Blend 3 Cobertura e Incorporado (84%).

Para a adubação potássica, a liberação total de nutrientes referente ao intervalo de 52 dias foi de: (67%) Blend 3 Cobertura e Incorporado (64%); sendo o intervalo de 126 dias: (89%) Blend 3 Cobertura e Incorporado (86%).

Entre os elementos acumulados em maiores taxas pelos frutos, o K apresenta-se como o de maior demanda, sendo o P, o elemento de menor demanda pelo cafeeiro nesta fase em relação aos macronutrientes (Fagan et al., 2021). Sendo assim, diante da taxa de liberação

apresentada pelo Blend 3 aos 54 e 126 dias (Figura 7) e os períodos associados ao de maior demanda pelos frutos (Laviola et al., 2009), a liberação dos nutrientes apresentam-se ideais para adequada nutrição referente a estratégia de uma só aplicação do fertilizante.

3.2 Curva de Liberação de N, P₂O₅ e K₂O pelos “Blends” em laboratório

Na (Figura 8), apresenta-se as curvas de liberação de N dos blends em teste de laboratório. Percebe-se, diferença de liberação entre os tratamentos, onde o Blend 2 apresentou maior longevidade (67%) de liberação acumulada, seguido do Blend 1 (69%) e Blend 3 (96%), até o período de 77 dias. Comportamento que não corrobora com o observado para o teste realizado em campo, onde, o Blend 1 aos 77 dias após a aplicação dos tratamentos, apresentou menor longevidade para o N, tendo sua liberação acumulada em (84%), seguido do Blend 3 (78%) e Blend 2 (60%) (Figura 6). Percebe-se que em ambos os testes Figuras (6 e 8), o Blend 2 apresentou-se como a fonte de maior longevidade.

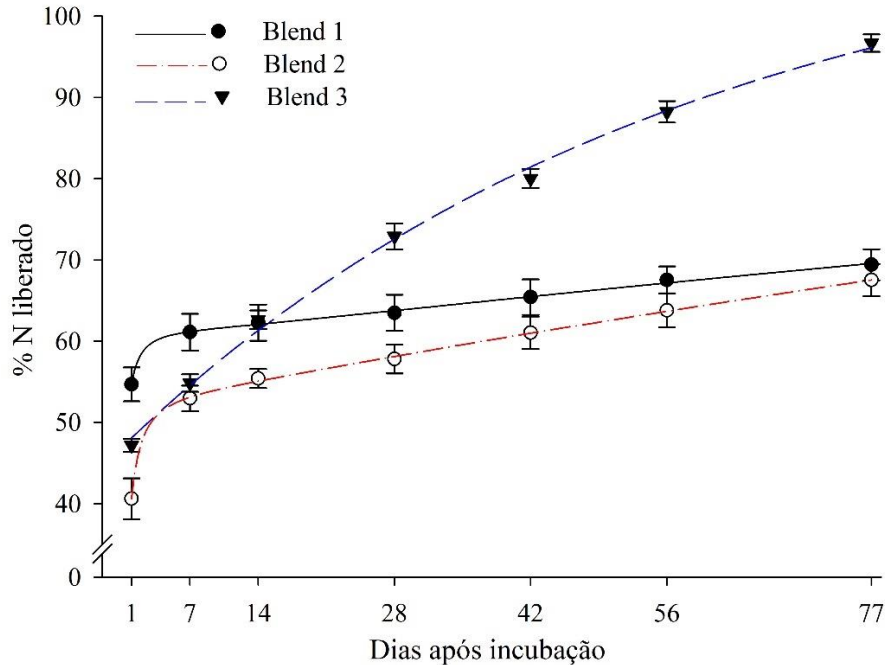
Comparando o comportamento entre os dois testes de liberação, campo e laboratório, percebe-se que para os tratamentos Blend 2 e Blend 3, a liberação acumulada no período de 77 dias foi superior no teste em laboratório Figuras (6 e 8). Resultado que está atrelado as condições em que os dois procedimentos se encontram, sendo que a campo, as condições de temperatura média (20.6°C, Figura 5), foi inferior aos 25° C estabelecidos para o teste em laboratório, seguido também das condições de precipitação que, podem ser de grande influência para maiores taxas de liberação. Sendo assim, para os blends em associação com fontes de liberação controlada de N, a liberação dos tratamentos em campo foi inferior ao observado para as condições de laboratório. Resultado que não corrobora com o observado por Chagas (2018), onde, a campo, a liberação acumulada, de blends entre fertilizantes nitrogenados, foi superior ao observado no teste de liberação em laboratório a 40°C, para o período de 77 dias.

Para o Blend 1, a liberação em laboratório foi inferior ao observado no campo, resultado que pode estar atrelado ao fato de que, as condições edafoclimáticas e características biológicas do solo, são fatores que atuam de forma mais expressiva na liberação da fração de ureia formaldeído, presente no blend. Sendo que, após 24 horas de incubação, a menor taxa de liberação do nutriente, está relacionada a baixa hidrólise das frações de UF a temperatura de 25°C (Liu et al., 2020; Giroto et al., 2018).

Na (Tabela 8) estão apresentadas as equações estimadas para cada blend, onde o Blend 1 e Blend 2, apresentaram ajuste logarítmico da liberação do nutriente em função dos dias de

incubação. O Blend 3 apresentou ajuste exponencial de liberação de N em função dos dias de incubação.

Figura 8 – Curva de liberação do N para os Blends em teste de laboratório a 25°C.



Fonte: do autor (2021).

Tabela 8 – Equações do N liberado pelos blends, teste de liberação em laboratório a 25 °C.

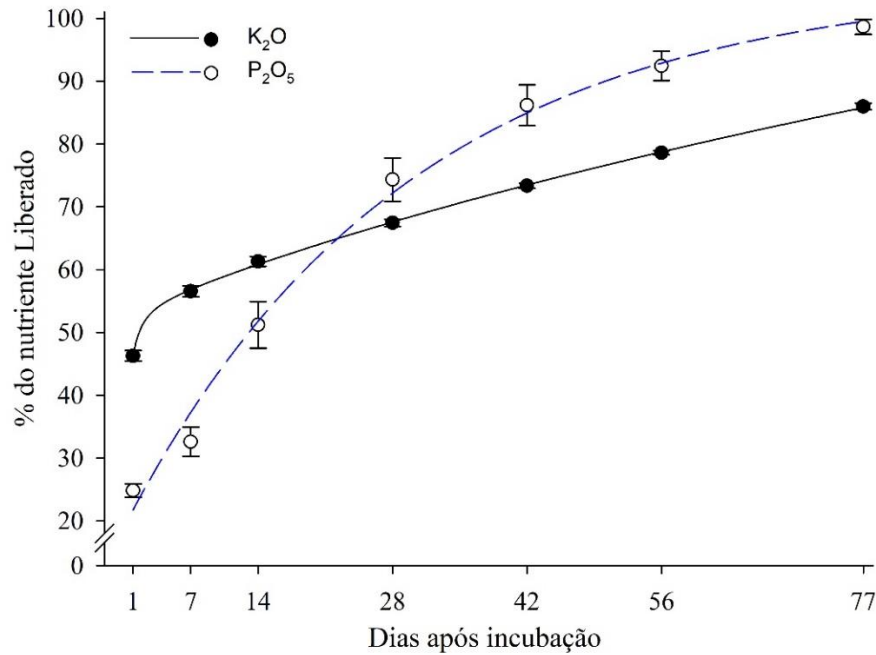
Fertilizantes	Equações	R ²
Blend 1	$\%N \text{ Liberado} = 54.6861^{**} + 7.2256^{***}(\ln(\text{dias})) - 2.9161^{***}(\ln(\text{dias}))^2 + 0.4701^{***}(\ln(\text{dias}))^3$	0.99 ^{***}
Blend 2	$\%N \text{ Liberado} = 40.6126^{**} + 12.8771^{***}(\ln(\text{dias})) - 4.7650^{**}(\ln(\text{dias}))^2 + 0.7432^{***}(\ln(\text{dias}))^3$	0.99 ^{***}
Blend 3	$\%N \text{ liberado} = 66.8461^{**}(1 - 0.9829^{**\text{dias}}) + 46.948^{**}$	0.99 ^{***}

***($p \leq 0.001$); **($p \leq 0.01$).

Por meio da (Figura 9), apresenta-se as curvas de liberação de K₂O e P₂O₅ para o blend 3. Aos 77 dias após a incubação dos fertilizantes, a liberação acumulada de K₂O foi de (87%) e para P₂O₅ (99%). Percebe-se que, em comparação a Figura (7), independentemente do tipo de aplicação a liberação em laboratório foi superior ao observado para teste em campo, sendo que, aos 77 dias após a aplicação dos tratamentos no campo, a liberação acumulada foi K₂O foi de (77%) em cobertura e (74%) incorporado e para P₂O₅ (65%) e (67%) respectivamente.

A liberação de K₂O pelo blend 3, em laboratório, ajustou-se de forma logarítmica em função dos dias de incubação. Para P₂O₅, a liberação ajustou-se ao modelo exponencial (Tabela 9).

Figura 9 – Curva de liberação K₂O e P₂O₅ pelo Blend 3 em teste de laboratório a 25°C.



Fonte: do autor (2021).

Tabela 9 – Equações de K₂O e P₂O₅ liberados pelo blend 3, teste de liberação em laboratório a 25 °C.

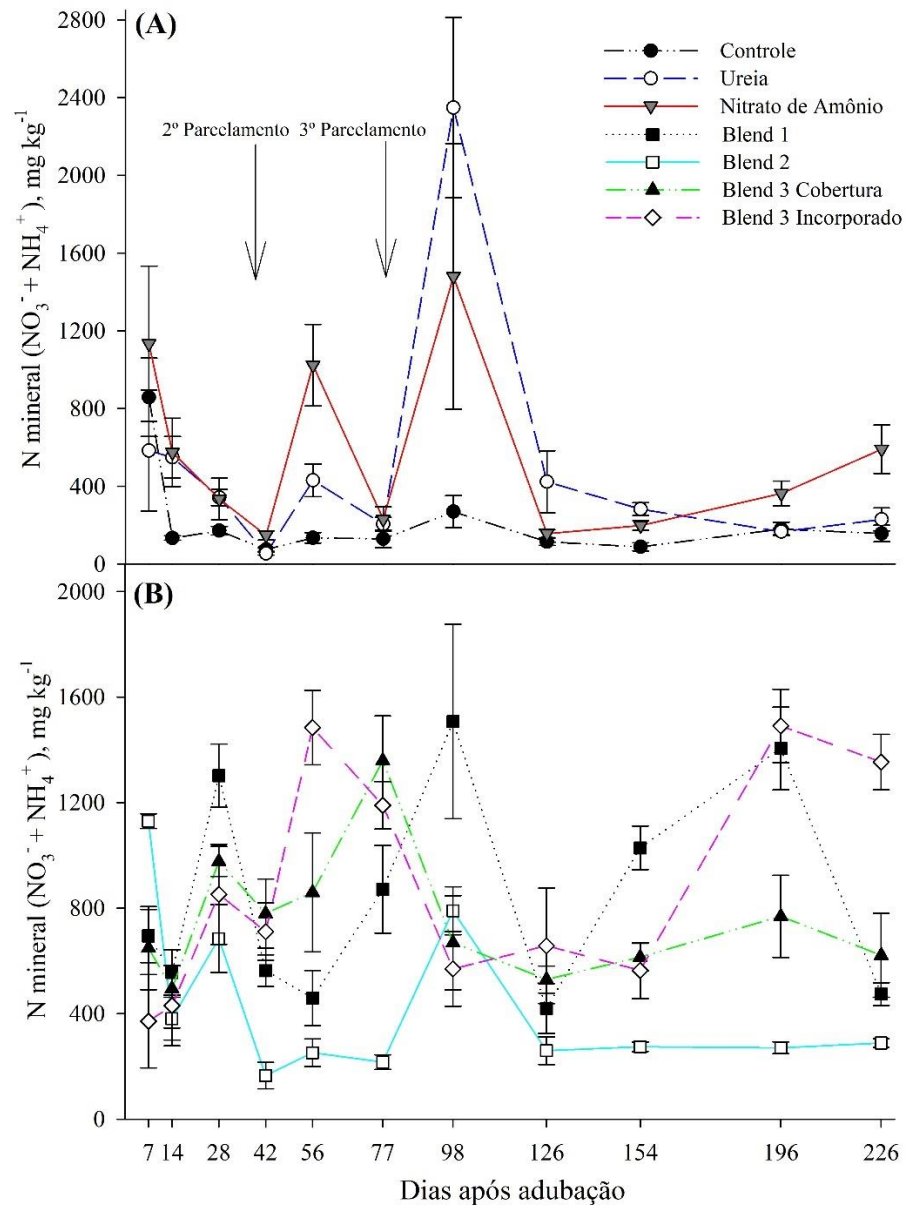
Fertilizante	Equações	R ²
	% P ₂ O ₅ liberado = 18.8562 ^{**} + 87.0809 ^{**} (1-exp(-0.0338 ^{**} *dias))	0.99 ^{***}
Blend 3	% K ₂ O liberado = 46.2357 ^{**} + 9.4051 ^{**} (ln(dias)) - 3.5421 ^{**} (ln(dias)) ² + 0.8225 ^{**} (ln(dias)) ³	0.99 ^{***}

***($p \leq 0.001$); **($p \leq 0.01$).

3.3 Dinâmica das concentrações de N-Mineral no solo

De acordo com a (Figura 10), percebe-se modificação na dinâmica de N-mineral para tratamentos Blends (A) e fontes convencionais (B). Sendo que, para as fontes convencionais, os picos apresentam-se em contraste com o parcelamento das doses, onde, as maiores concentração se destacam, 7 dias após a primeira adubação, 14 dias após a segunda adubação e 4 dias após a terceira adubação. Para a ureia, no entanto, o 7º dia após a primeira adubação, não foi observado aumento nos teores de nitrato no solo, do qual foi inferior ao tratamento controle. Resultado que pode estar atrelado, a composição da fonte, sendo que os 7 primeiros dias não foi suficiente para que as formas amoniacais da ureia, passassem a nitrato, pelo processo de nitrificação do qual justifica-se a maior concentração de amônio observado na (Figura 11) (Costa et al., 2009).

Figura 10 - Teores de N-mineral ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$), para os tratamentos convencionais e sem adubação nitrogenada (controle) (A) e para os tratamentos blends (B), amostrados na camada superficial 0-0.05m.



Fonte: Do autor (2021).

Para os tratamentos “blends”, a concentração inicial das fontes minerais de N, variou em função do tipo de tecnologia em uso, sendo que o fertilizante Ciclus[®], apresentou maior pico de suas concentrações no 7º dia após a adubação (Figura 10; Tabela 10), seguido de decréscimo de suas concentrações até a data de 42 dias, do qual se manteve constante até a colheita (226 dias após adubação), salvo para a 7º coleta onde houve um novo pico de concentração de N-mineral, do qual pode estar relacionado, com o intervalo entre coletas onde ocorreu o maior acúmulo de precipitação (Figura 5). A dinâmica das concentrações de N-

mineral no solo para o blend 1 corrobora com o observado no teste de liberação a campo (Figura 6).

Entre os blends de fertilizantes de liberação controlada, percebe-se inicialmente, menores concentrações das formas minerais, dos quais apresentam primeiro pico de sua concentração aos 28 dias após a adubação (Figura 10).

A aplicação em cobertura do Blend 3, apresentou comportamento diferenciado de sua aplicação incorporada. Sendo que, até a data de 77 dias após a adubação, percebe-se um aumento das concentrações das formas minerais de N no solo, sendo que após este período os valores mantem-se constantes, embora superiores ao tratamento sem adubação e com menor variação de suas concentrações comparado ao uso de fontes convencionais. Onde a aplicação incorporada do blend 3, apresentou uma dinâmica contrária à sua modalidade de aplicação em superfície (Figura 10). Após os mesmos 77 dias, a concentração de N-mineral elevou-se, para aplicação incorporada, sendo superior, aos demais, tendo como principal responsável, a forma de nitrato. Essa diferença pode estar relacionada, a maior superfície de contato com o solo, devido a incorporação do fertilizante, do qual favorece a uma condição de umidade e características edafoclimáticas, favoráveis ao processo de nitrificação (Tong et al., 2018).

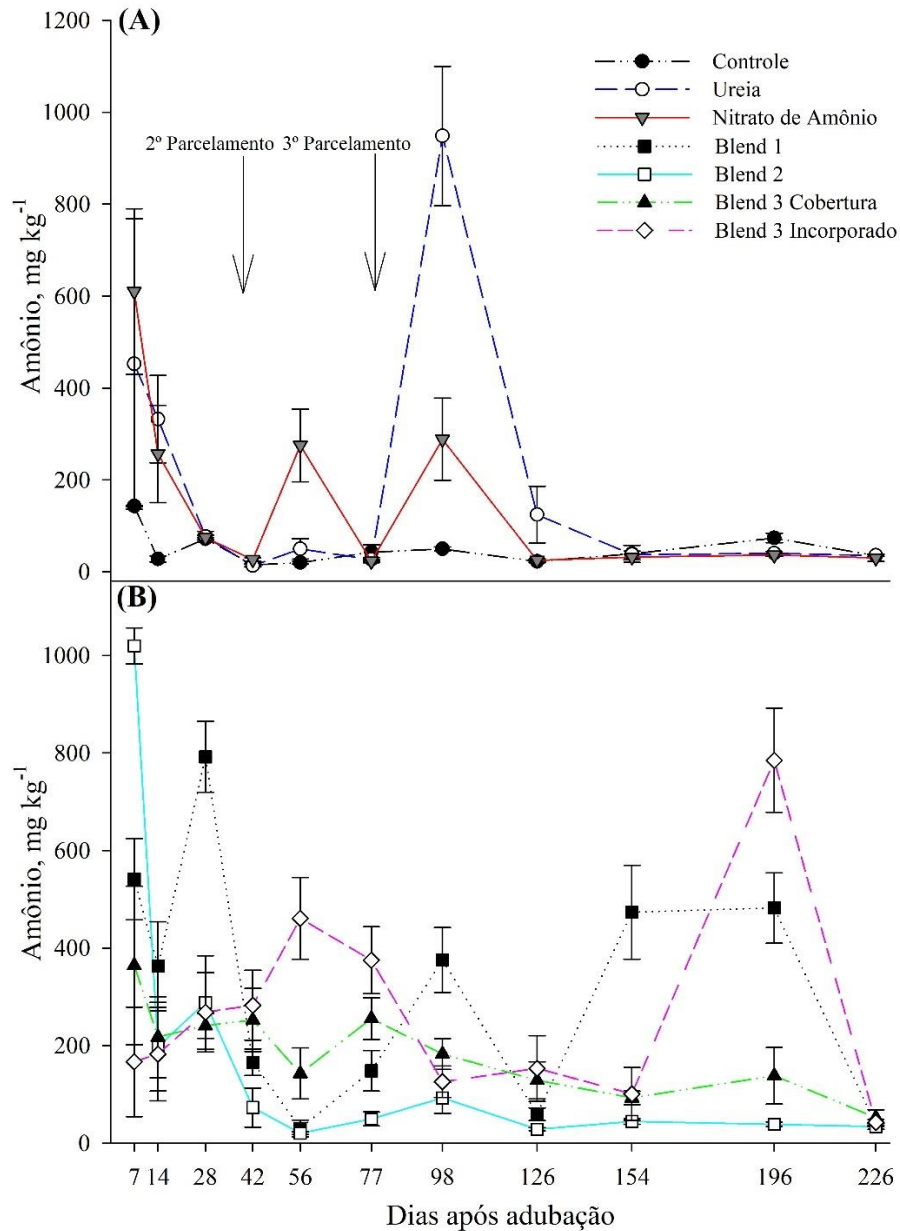
Portanto, mesmo não apresentando diferenças significativas para a liberação de N entre a sua aplicação em cobertura ou incorporada, a incorporação da fonte no solo, apresentou maiores concentrações de N-mineral na camada superficial do solo por um maior intervalo de tempo.

O comportamento do Blend 2 apresentou 3 picos de concentração de N-mineral, aos 28, 98 e 196 dias após a adubação (Figura 10). Aos 28 dias o comportamento assemelha-se aos demais blends com fontes de liberação controlada, sendo o primeiro pico de sua concentração e superior aos demais blends de liberação controlada (Tabela 10). Aos 98 dias, ocorre um atraso em relação as concentrações minerais em relação ao blend 3, do qual apresentou seu segundo pico de liberação aos 77 dias, que estão relacionadas a longevidade do fertilizante, onde, o blend 3 já tinha liberado 81% de sua concentração, independentemente da modalidade de aplicação, comparada a 61% do tratamento Blend 2 (Figura 6). O mesmo comportamento está atrelado ao terceiro pico de sua concentração aos 196 dias, onde por apresentar maior longevidade, possibilitou-se maiores concentrações aos períodos destinados as datas finais de coleta, sendo inferior somente ao tratamento blend 3 incorporado.

Para o tratamento controle, a concentração de N-mineral, inicialmente mostrou-se elevada (figura 10), com maior participação da forma nítrica (Figura 12), sendo baixa a concentração de amônio (Figura 11), do qual pode ter sido influenciado pelo estoque de N no

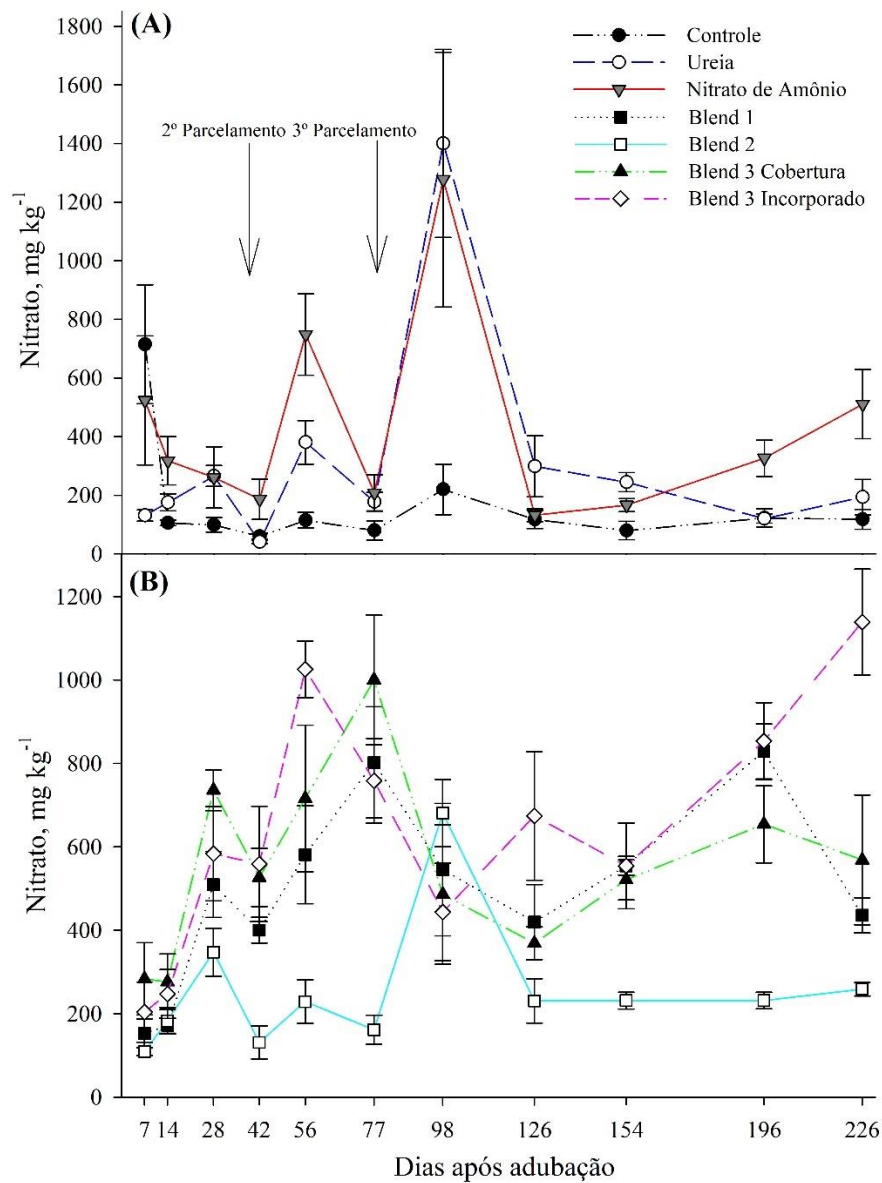
solo, devido as adubações anteriores a implantação do experimento, posteriormente, há um decréscimo na concentração de N-mineral, do qual se manteve constante até a colheita.

Figura 11 - Teores de amônio (N-NH_4^+) para tratamentos convencionais e controle (A) e para os tratamentos blends (B), amostrados na camada superficial 0-0.05 m.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 12 - Teores de Nitrato (N-NO_3^-) para tratamentos convencionais e controle (A) e para os tratamentos blends (B), amostrados na camada superficial 0-0.05 m.



Fonte: do Autor (2021).

3.4 Teores Foliare N, P e K

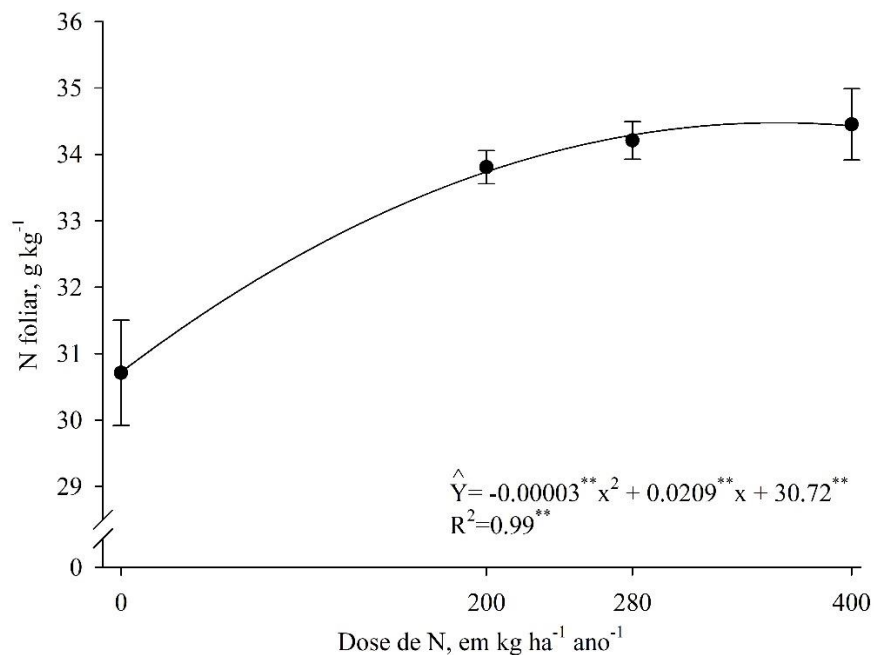
Os teores foliares de Nitrogênio, foram influenciados, somente para o fator isolado, dose ($p \leq 0.05$), o efeito isolado de fontes e a interação entre os dois fatores não foi significativa.

O ajuste da regressão para o efeito isolado de doses, foi quadrático (Figura 13). De acordo com a equação estimada para o teor de N foliar, a dose que corresponde ao maior incremento é de $348.22 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Percebe-se que, com o acréscimo de doses, efeito

significativo somente para ausência de aplicação de N, comparado com as demais doses, sendo que o efeito das doses, 200, 280 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹, não diferem entre si.

O nível crítico de N no tecido foliar para o cafeeiro arábica de alta produtividade (acima de 1.800 kg ha⁻¹ de café beneficiado), de acordo com Martinez et al. (2003), é de (27.8 a 31.10 g kg⁻¹). Mesmo com o aumento dos teores em função das doses de N aplicado, os teores foliares observados, apresentaram-se dentro da faixa crítica do nutriente.

Figura 13 - Teores de nitrogênio foliar em função das doses de N aplicadas ao cafeeiro.



Fonte: do autor (2021).

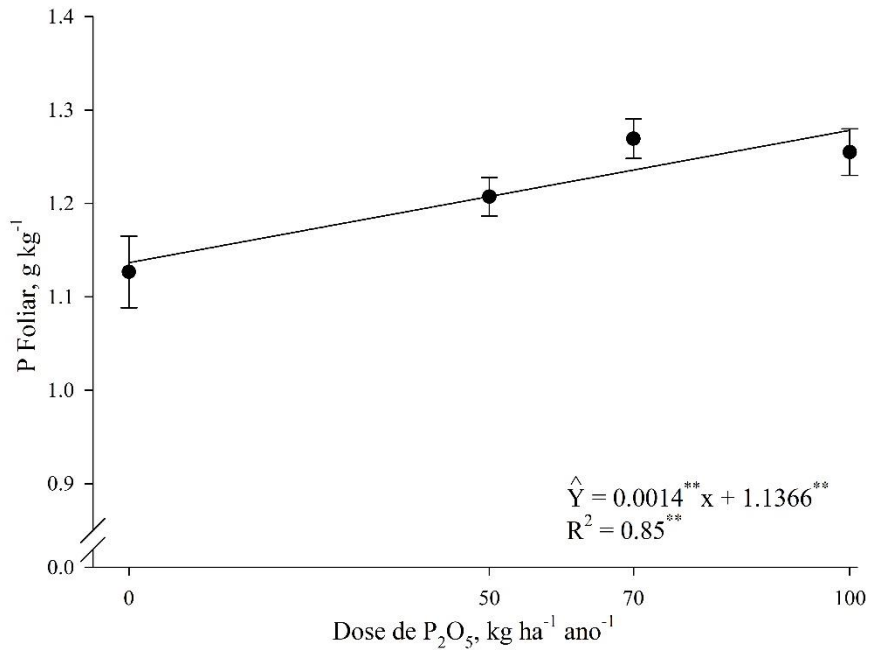
Chagas et al. (2019), em trabalho com cafeeiro irrigado observaram efeito significativo para os teores de N, com o uso dos tratamentos do blend de (ureia revestida com S^o + polímero e ureia estabilizada), Ureia e Nitrato de Amônio, na dose de 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, em seu primeiro ano de produção, na ocasião da colheita, em comparação ao tratamento sem aplicação de N, resultado que não corrobora com o observado para o tratamento Blend 2.

Os teores foliares de Fósforo foram influenciados somente pelo efeito isolado de doses ($p \leq 0.05$), a interação entre os fatores fontes e doses, e o efeito isolado de fontes, não foram significativas.

O comportamento observado para o efeito de doses, foi linear, aumentando-se os teores do nutriente, em função do aumento de doses (Figura 14). Sendo que, observa-se diferença significativa entre as médias apresentadas para os níveis de 0 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, onde as

doses de 70 e 100 kg ha⁻¹ não diferem entre si. Dados que corroboram com o observado por Reis et al. (2013).

Figura 14 - Teores de Fósforo foliar em função das doses de P₂O₅ aplicadas ao cafeeiro.



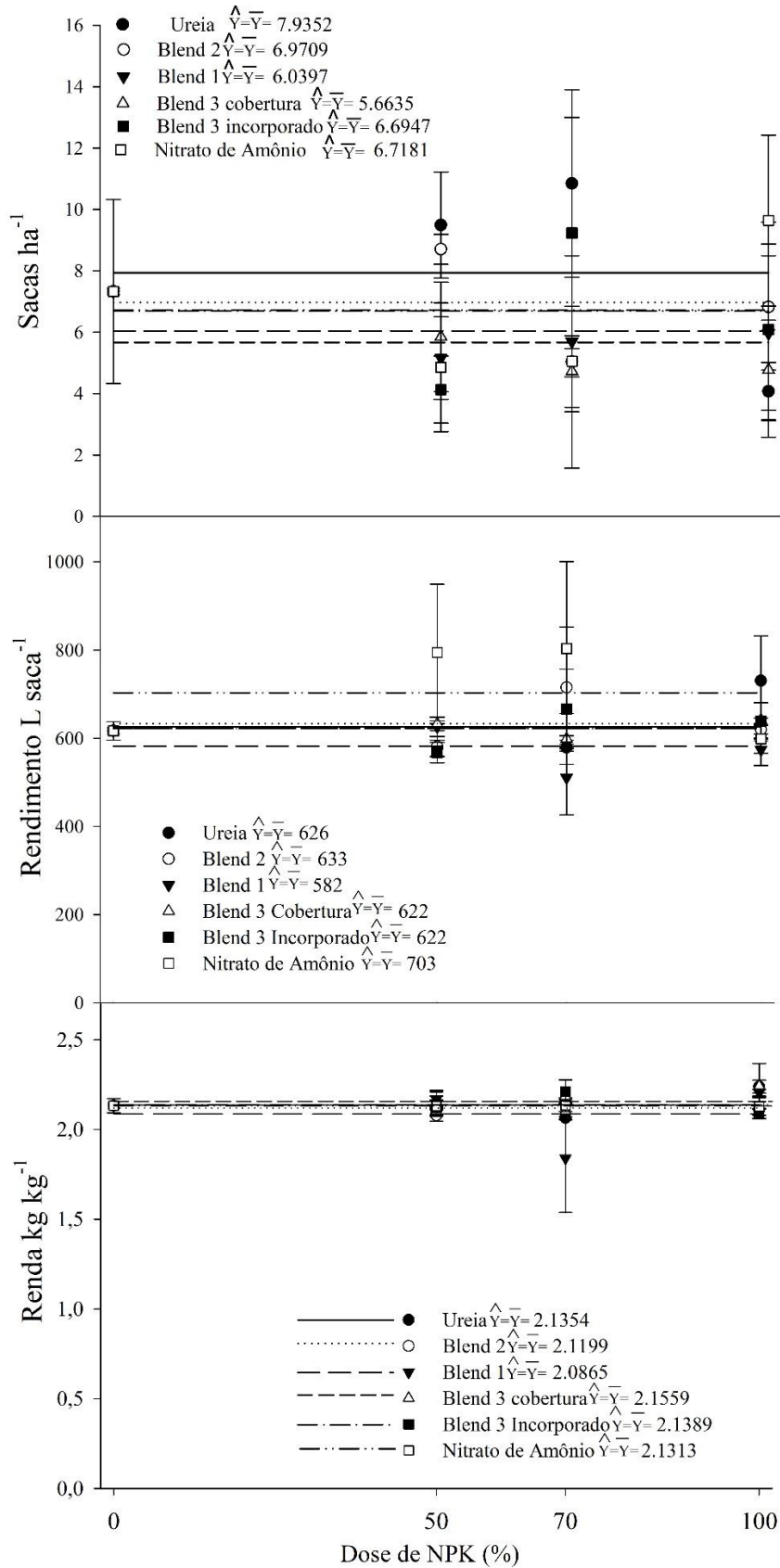
Fonte: Do autor (2021).

Os teores foliares de Potássio não foram influenciados pelo efeito isolado de fontes e doses, o mesmo comportamento também foi observado pela interação entre os fatores ($p \leq 0.05$).

3.5 Produtividade, renda e rendimento

A produtividade para a safra 20/21, não foi influenciada pela interação entre os fatores fonte e dose ($p \leq 0.05$), o fator isolado de fonte ou dose, também foi não significativo ($p \leq 0.05$). O mesmo comportamento para a produtividade foi observado para as variáveis renda e rendimento. Ou seja, os tipos de fertilizantes utilizados e os níveis de adubação NPK, não influenciaram nos parâmetros de produção no primeiro ano de estudo (Figura 15). O valor médio para a produtividade foi de 6.67 sacas de 60 kg de café beneficiado, o rendimento médio 632 litros de café da roça para uma saca de café beneficiado e a renda média de 2.3 litros de café em coco para um kg de café beneficiado.

Figura 15 – Produtividade, rendimento e renda do cafeeiro em função das fontes e doses para a safra 20/21.



Fonte: Do autor (2021).

O rendimento para o cafeeiro está relacionado a quantidade em litros necessária de café da “roça” para se produzir uma saca de café beneficiado. Numericamente, quanto menor essa relação, uma menor quantidade de café da roça é necessária para compor uma saca de 60 kg café beneficiado. O mesmo raciocínio é destinado para a renda, onde quando menor numericamente o valor, menor a quantidade em quilos de café em coco necessário para se produzir uma saca (Chalfon, 2008).

Chagas (2018) observou logo no primeiro ano em avaliação, que as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e o blend (ureia estabilizada + ureia revestida com S⁰ e polímero), foram mais eficientes em produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado, apresentaram menor rendimento, em comparação ao uso de ureia, ambos em doses equivalentes a 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O e 100 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, não corroborando com o observado neste estudo. Embora, para os dados de produtividade e renda, os tratamentos não diferiram entre si, resultado que corrobora com o observado para os tratamentos deste estudo.

Freitas (2017) observou maior produtividade para o cafeeiro, em seu primeiro ano de avaliação, com o uso de blends entre fertilizantes convencionais e (ureia revestida com S^o + polímero) e com uso de ureia formaldeído, em comparação as fontes convencionais de nitrogênio (ureia e nitrato de amônio), em uma dose de 300 Kg N ha⁻¹ ano⁻¹. Dados que não corroboram com a produtividade observada para a avaliação deste estudo.

Os valores médios de rendimento para o cafeeiro arábica tem por referência um volume entre 450-500 litros de café da roça para compor uma saca, na ocasião do início da colheita com uma menor porcentagem de grãos secos ou passa. Sendo assim, a média observada para os demais tratamentos, apresentam um valor bem acima da referência, sendo que, o ocorrido pode estar relacionado com a baixa precipitação observada (Figura 5), onde o déficit hídrico em pontos específicos do estádio de desenvolvimento do grão, poder ter sido de grande influência para menor acúmulo de matéria seca e granação de frutos (Matiello et al., 2015).

A relação de renda tida como referência para o cafeeiro arábica, é de 2:1, sendo necessário dois quilos de café em coco para um quilo de café beneficiado. Onde, para esta variável, os resultados médios observados estão em contrastes com a referência de renda para a cultura (Matiello et al., 2015; Reis et al., 2011).

Embora percebe-se em outros trabalhos diferenças significativas para as variáveis de produção apresentadas (produtividade e rendimento), essa relação se torna mais expressiva e dependente com o efeito de fontes e doses ao longo das safras, onde, em um período equivalente a uma safra para a avaliação, em uma lavoura em produção do qual foi o observado neste estudo, apresenta-se uma dependência do crescimento vegetativo do ano anterior, antes da implantação

do experimento, sendo a influência da adubação relativa somente ao intervalo referente aos estádios reprodutivos, do qual obteve o seu potencial produtivo anterior a safra de avaliação, demonstrando que faz se necessário avaliações em mais anos safras para se ter um dado mais robusto e assim avaliar o efeito das fontes e doses de forma mais eficiente para o cafeeiro.

3 CONCLUSÕES

Entre os testes de liberação de nutrientes, a campo e em laboratório, o Blend 2 apresenta-se como a fonte de maior longevidade e melhor ajuste da liberação de N para o cafeeiro em produção.

A estratégia de aplicação do blend 3, em cobertura ou incorporado, não influenciou a liberação dos nutrientes N, P e K.

Os níveis de adubação de N e P foram significativos para o aumento dos teores foliares dos nutrientes, embora não houve diferença entre as fontes em estudo.

As fontes, assim como a variação de doses de N, P e K, não influenciaram a produtividade, rendimento e renda, para o cafeeiro em seu primeiro ano de avaliação.

A ausência de diferença significativa para a produtividade indica que, para o cafeeiro são necessários trabalhos de médio a longo prazo para observar variações nos parâmetros de produção relacionados a doses e fontes de NPK em solos com fertilidade construída.

Blends entre fertilizantes convencionais e de liberação controlada apresentam concentrações de N-mineral na camada superficial do solo de forma mais homogênea ao longo do ciclo de produção do cafeeiro, sendo essa característica associada a liberação gradual de N.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. B.; et al. Fertilizing maize croppings with blends of slow/controlled-release and conventional nitrogen fertilizers. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 000, p. 1-11, 2021.
- AZEEM, B.; et al. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, p. 11-21, 2014.
- BARTELEGA, L. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta, controlada e blends para o cafeeiro**. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de lavras, lavras, 2018.
- BRUNO, I. P.; et al. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. **Field Crop Research**, v. 124, p. 369-377, 2011.
- CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Manejo 4C: Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes**. Internacional Plant Nutritivo Institute, Informações Agronômicas, Informações Agronômicas, v. 142, 2013.
- CHAGAS, W. F. T.; et al. 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.
- CHAGAS, W. F. T.; et al. Eficiência agronômica do superfosfato triplo revestido por polímero no crescimento inicial do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 427-435, 2016.
- CHAGAS, W. F. T.; et al. Nitrogen fertilizers technologies for coffee plants. **Coffee Science**, v. 14, n. 1, p. 55-66, 2019.
- CHAGAS, W. F. T. **Tecnologias de fertilizantes nitrogenados na cafeicultura**. 2018. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de lavras, lavras, 2018.
- CHALFON, S. M. **Glossário de termos técnicos utilizados na cafeicultura**. Lavras: EPAMIG-CTSM, 2008. 305 p.
- 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. 310 p.
- COSTA, A. R.; et al. **Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N₂O)**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p.
- DAMATTA, F. M.; et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.
- EDUCAMPO. **A tríade do café**. Disponível em:< <https://www.educampo.com.br/cafe/conteudo-tecnico/a-triade-do-cafe/>>. Acessado em 01 de março 2021.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

EMBRAPA. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Embrapa Solos. Circular Técnica: 6. 2000. 41 p.

FAGAN, E. B.; et al. Fisiologia de produção do cafeeiro. In: CARVALHO, G. R.; et al. **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021. p. 111-140.

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

FREITAS, T. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos**. 2017. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FU, J.; et al. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used - a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 17, p. 2219-2230. 2018.

GIROTO, A. S., et al. A Novel, Simple Route to Produce Urea:Urea-Formaldehyde Composites for Controlled Release of Fertilizers. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, p. 2448-2458, 2018.

GUIMARÃES, P.T.G.; et al. Correção e adubação de solo em cafeeiros em produção – cultivo de sequeiro. In: CARVALHO, G. R.; et al. **Cafeicultura do Cerrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021. p. 141-172.

GUELFY, D. R.; et al. Monoammonium phosphate coated with polymers and magnesium for coffee plants. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 3, p. 261-270, 2018.

GUELFY, D. R. Tecnologias e inovações para fertilizantes fosfatados. **Informações Agrônomicas (NPCT)**, n. 10, p. 1-20, 2021.

GUO, Y.; et al. Modeling and Optimizing the Synthesis of Urea-formaldehyde Fertilizers and Analyses of Factors Affecting these Processes. **Scientific Reports**, v 8, p. 4504, 2018.

HA, N. M. C.; et al. Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in green house. **Research on Chemical Intermediates**, v. 45, p. 51-63, 2019.

LAVIOLA, B. G.; et al. Macronutrient Accumulation in Coffee Fruits at Brazilian Zona Da Mata Conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 980-995, 2009.

LAWRENCIA, D. Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release. **Plants**, v. 10, n. 238, 2021.

LIU, Y.; et al. Determination of Residual Formaldehyde in Urea–Formaldehyde Fertilizer and Formaldehyde Release from Urea–Formaldehyde Fertilizer During Decomposition. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, p. 2191-2198, 2020.

LOPES, A. S. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. ANDA, 2017. 178 p.

MALAVOLTA, E.; et al. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARTINEZ, H. E. P.; et al. 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.

MATIELLO, J. B.; et al. **Cultura de café no Brasil: Manual de Recomendações: ed. 2015**. São Paulo: Futurama Editora, 2015. 585 p.

MEDINA, L. C.; et al. Nitrogen Release Patterns of a Mixed Controlled-release Fertilizer and Its Components. **HortTechnology**, v. 18, n.3, p. 475-480.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2017. 240 p.

OTTO, R.; et al. Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Informações Agronômicas (NPCT)**, v. 9, 2021.

PAVINATO, S. P.; et al. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n.1, p. 1-11, 2020.

REIS, P. R.; et al. **Café arábica da pós-colheita ao consumo**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2011. 734 p.

REIS, T. H. P.; et al. Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 765-773, 2013.

SAKIYAMA, N. S.; et al. **Café arábica: do Plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. 316 p.

SHAVIV, A. Advances in Controlled Release of Fertilizers. **Advances in Agronomy**, v.71, p. 1-49, 2000.

SNYDER, C. S.; BRUULESMA, T. W.; JENSEN, T. L. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management: a literature review. **Soil Research**, v. 55, n. 6, p 463-472, 2017.

TONG, X.; et al. Evaluation of Controlled Release Urea on the Dynamics of Nitrate, Ammonium, and Its Nitrogen Release in Black Soils of Northeast China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, p. 119-132, 2018.

WU, Q.; et al. Effects of different types of slow-and controlled-release fertilizers on rice yield. **Journal of Integrative Agriculture**, v.20, n.6, p. 1503–1514, 2021.

YAMAMOTO, C. F.; et al. Slow release fertilizers based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 390-397, 2016.

ZHANG, L.; et al. Integrated assessment of agronomic, environmental and ecosystem economic benefits of blending use of controlled-release and common urea in wheat production. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, p. 559-565, 2021.