



**LORENA MARTINS BRANDÃO**

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E ECONÔMICA DA LAVOURA  
DE *Coffea arabica* L. EM DIFERENTES NÍVEIS DE  
ADUBAÇÃO NAS FASES DE IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO**

**LAVRAS – MG  
2022**

**LORENA MARTINS BRANDÃO**

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E ECONÔMICA DA LAVOURA DE *Coffea arabica* L.  
EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NAS FASES DE IMPLANTAÇÃO E  
CONDUÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

Prof. Dr. Renato Elias Fontes  
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).

Brandão, Lorena Martins.

Avaliação agrônômica e econômica da lavoura de *Coffea arabica* L. em diferentes níveis de adubação nas fases de implantação e condução. / Lorena Martins Brandão. - 2022.  
92 p. : il.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Coorientador(a): Renato Elias Fontes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Produtividade. 2. Níveis de adubação. 3. Análise econômica.  
I. Guimarães, Rubens José. II. Fontes, Renato Elias. III. Título.

**LORENA MARTINS BRANDÃO**

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E ECONÔMICA DA LAVOURA DE *Coffea arabica* L.  
EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NAS FASES DE IMPLANTAÇÃO E  
CONDUÇÃO**

**AGRONOMIC AND ECONOMIC EVALUATION OF *Coffea arabica* L. CROPPING  
AT DIFFERENT FERTILIZATION LEVELS IN THE IMPLEMENTATION AND  
CONDUCTION PHASES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 08 de agosto de 2022

Dr. Iran Dias Borges (UFSJ)  
Dra. Dalyse Toledo Castanheira (UFLA)  
Dr. Virgílio Anastácio da Silva (UFLA)  
Dr. Bruno Montoani Silva (UFLA)

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

Prof. Dr. Renato Elias Fontes  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

*Dedico o presente trabalho a Deus, que é o Senhor de tudo; aos meus pais e irmãos por todo amor e carinho e a Tayane pelo companheirismo, compreensão e ajuda, em todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo cuidado e proteção diária, por me conceder muita saúde e por sempre ouvir minhas preces, caminhar ao meu lado e me amparar nos momentos que mais precisei. Pelas inúmeras bênçãos e por ter permitido que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Cátia e Nélio, por todo amor, carinho, proteção, cuidado, paciência. Eles que, desde criança, me incentivaram a estudar e não mediram esforços para que eu alcançasse os meus sonhos.

Aos meus irmãos, Laila e Vinícius, e aos demais familiares que sempre estiveram presentes nos meus dias e me deram força, durante essa caminhada.

A Tayane que nunca mediu esforços para me ajudar, sempre que necessário, em todas as situações nas quais precisei de alguém.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia por todo apoio técnico, científico e estrutural para que eu realizasse este trabalho, da melhor maneira possível.

Ao meu primeiro orientador Élberis Pereira Botrel por todo ensinamento enquanto trabalhamos juntos.

Ao meu orientador Rubens José Guimarães e coorientador Renato Elias Fontes por sempre estarem à disposição e por terem contribuído na construção deste trabalho.

Ao setor de cafeicultura, aos colegas do NECAF, à Elisângela, ao Victor, a Marina e ao Pedro por toda ajuda na coleta de dados e manutenção do experimento.

Ao Setor de Cafeicultura DAG/ESAL/UFLA por todo apoio na condução deste projeto.

Ao laboratório 3RLAB pela parceria nas análises foliares, durante todo o período de avaliações.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para conclusão deste projeto.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Muito obrigada!

## RESUMO GERAL

O alto custo dos fertilizantes atualmente reflete em maiores custos de produção e pressiona o produtor rural a ser cada vez mais eficiente no uso deste insumo indispensável para a produção vegetal, este que tem participação em cerca de 18% nos custos operacionais. Assim, os cafeicultores têm reduzido a adubação como estratégia de sobrevivência a curto e médio prazos afetando, portanto, a nutrição das lavouras e consequentemente a produtividade. Pode acontecer também, em épocas em que o preço do café é alto e as condições financeiras favoráveis, que os cafeicultores excedam nas quantidades de fertilizantes utilizadas, o que pode desequilibrar e provocar perdas de produtividade. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar o impacto de diferentes níveis de adubação na produtividade determinando o melhor nível e as doses de fertilizantes (N, P e K) adequadas agronomicamente e economicamente. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras-MG de novembro de 2018 a maio de 2021 utilizando-se mudas da Cultivar Mundo Novo IAC 379/19. O delineamento foi em blocos casualizados, com seis tratamentos, quatro repetições e subdivisão das parcelas, no tempo. Os níveis de adubação utilizados foram 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160%, onde a adubação padrão é 100%. A máxima produtividade de café beneficiado ( $sc\ ha^{-1}$ ) foi alcançada com 119,06% do nível de adubação recomendado, ou seja, 19,06% maior em relação a adubação padrão, porém, alcançando um pequeno aumento na produtividade, ou seja, de apenas 1,80% a mais em produtividade em relação a obtida com a adubação padrão (100%), cujas doses foram  $239,48\ kg\ ha^{-1}$  de N e  $177,8\ kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ . A adubação mínima necessária para lavouras de café em sequeiro no segundo ano de formação após o transplantio, sem prejuízos superiores a 10% de produtividade é de:  $149,7\ kg\ ha^{-1}$  de N e  $111,15\ kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ , e a faixa crítica dos teores foliares de nitrogênio foi encontrada entre  $30,30\ g.kg^{-1}$  e  $32,43\ g.kg^{-1}$ . Em relação a análise econômica concluiu-se que o cafeeiro com níveis de adubação entre 10% e 40% da adubação padrão têm sua produtividade comprometida; o nível de 74,43% é satisfatório do ponto de vista econômico sem que haja prejuízos de produtividade superiores a 10%; lavouras implantadas com 130% e 160% da adubação padrão não tem bons resultados econômicos em relação ao nível de 70%; diante de um cenário de menores custos com fertilizantes e melhores preços da saca de café, pode ser interessante aumentar o nível de adubação no intervalo entre 70% e 119%.

**Palavras-chave:** Condução. Mundo Novo IAC 379/19. Doses de Fertilizantes.

## GENERAL ABSTRACT

The high cost of fertilizers currently leads to higher production costs and pressures the rural producer to be increasingly efficient in the use of this essential input for vegetable production, which has a participation of about 18.45% in operating costs. Such factors lead coffee growers to reduce fertilization as a survival strategy in the short and medium term, thus affecting crop nutrition. The opposite also happens, when the price of coffee is high and the financial conditions are favorable, the coffee growers can exceed the fertilization beyond what is necessary. Therefore, the objective of the present work was to estimate the losses in productivity caused by low or high levels of fertilization, determining the best doses of fertilizers (N, P and K) that do not compromise productivity, also making an economic analysis in the period of implantation, and driving the coffee crop to the first production under rainfed conditions. The experiment was conducted in the Coffee Culture Sector of the Federal University of Lavras-MG from November 2018 to May 2021 using seedlings of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. The design was in randomized blocks, with six treatments, four replications and subdivision of plots in time. Fertilization levels were 10%, 40%, 70%, 100%, 130% and 160%, where the standard fertilization is 100%. The productivity of processed coffee (sc ha<sup>-1</sup>) was significant under the effect of fertilization levels and the best fertilization level with NPK where the maximum productivity was obtained was 119.06% in relation to standard fertilization, that is, 180% more than the indicated fertilization, whose doses were 239.48 kg ha<sup>-1</sup> of N and 177.8 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The minimum fertilization required for rainfed coffee plantations in the second year of formation after transplanting, without loss of more than 10% of productivity, is: 149.7 kg ha<sup>-1</sup> of N and 111.15 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, and the critical nitrogen ranges were: 30.30 g.kg<sup>-1</sup> and 32.43 g.kg<sup>-1</sup>. Regarding the economic analysis, it was concluded that coffee plants with fertilization levels between 10% and 40% of the standard fertilization have their productivity compromised; the level of 74.43% is satisfactory from an economic point of view, with no losses in productivity greater than 10%; crops implanted with 130% and 160% of the standard fertilization do not have good economic results in relation to the level of 70%; given a scenario of lower costs with fertilizers and better prices for a bag of coffee, it may be interesting to increase the level of fertilization in the range between 70% and 119%.

**Keywords:** Driving. Mundo Novo IAC 379/19. Fertilizer Doses.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....  | 11 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 11 |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | 13 |
| <b>2.1 Importância do período de implantação e formação de lavouras de café: aspectos nutricionais</b><br>15  |    |
| <b>2.2 Nutrição e adubação do cafeeiro</b> .....  | 16 |
| <b>2.3 Aspectos nutricionais do café arábica e os macronutrientes</b> .....   | 18 |
| <b>2.4 Diagnose nutricional com base na análise foliar</b> .....  | 20 |
| <b>2.5 Faixas Críticas de teores foliares como monitoramento da nutrição</b> .....  | 22 |
| <b>2.6 Custo de implantação do cafeeiro: Fertilizantes</b> .....  | 25 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 30 |
| <b>CAPÍTULO 2 - LAVOURAS DE CAFÉ IMPLANTADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO: EFEITOS NA PRIMEIRA PRODUÇÃO E TEORES FOLIARES DE N, P e K</b><br>..... | 38 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 40 |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 42 |
| <b>2.1 Caracterização da área experimental</b> .....  | 42 |
| <b>2.2 Caracterização e manejo do experimento</b> .....   | 43 |
| <b>2.3 Avaliações</b> .....   | 45 |
| <b>2.4 Determinação de faixas/níveis críticos</b> .....   | 46 |
| <b>2.5 Análises estatísticas</b> .....  | 46 |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 47 |
| <b>3.1 Determinação de faixa crítica e níveis críticos de macronutrientes</b> .....   | 49 |
| <b>3.1.1 Determinação de faixa crítica e/ou níveis críticos de Nitrogênio</b> .....   | 50 |
| <b>3.1.2 Avaliação dos teores foliares de fósforo em função do nível de adubação de nitrogênio e de potássio</b> 53                                     |    |
| <b>3.1.3 Avaliação dos teores foliares de potássio à medida que se aumentava o nível de adubação</b><br>55  |    |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 59 |
| <b>CAPÍTULO 3 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E FORMAÇÃO DE LAVOURA CAFEIEIRA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO</b> .....  | 62 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 64 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 67 |
| <b>2.1</b> | <b>Caracterização da área experimental</b> .....                            | 67 |
| <b>2.2</b> | <b>Caracterização e manejo do experimento</b> .....                         | 68 |
| <b>2.3</b> | <b>Avaliações</b> .....   | 70 |
| <b>2.4</b> | <b>Tratamentos, delineamento experimental e análises estatísticas</b> ..... | 71 |
| <b>2.5</b> | <b>Determinação dos custos</b> .....  | 71 |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 74 |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÕES</b> .....   | 84 |
| <b>5</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES</b> .....  | 85 |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 86 |

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa importante posição na cafeicultura mundial, como maior produtor e exportador, além de ser o segundo maior consumidor, evidenciando a importância econômica da atividade no país e no exterior (CONAB, 2022). Destaca-se também a importância social justificada por cerca de 8,4 milhões de empregos gerados anualmente, sendo mais de 4 milhões de postos de trabalho em Minas Gerais (MALISZEWSKI, 2020).

A produção total brasileira estimada para safra 2022, é de 55,7 milhões de sacas de café arábica e canéfora beneficiados, em área de 1.820,21 mil hectares, ou seja, um aumento de 16,8% em relação a 2021. Porém, espera-se um decréscimo de 7,34 milhões de sacas quando comparado ao ano de 2020 que também foi de safra alta, justificado pelas adversidades climáticas que ocorreram em importantes regiões cafeeiras em 2021 (CONAB, 2022). Do total produzido, 69,66% diz respeito ao café arábica, que ocupa 78,6% da área em produção. Contudo, espera-se um crescimento de 6,4% de áreas em formação em relação a 2021, com 416,70 mil novos hectares (CONAB, 2022).

O consumo mundial de café deve ultrapassar 166 milhões de sacas de 60kg em 2020/2021, volume que corresponde a um aumento de 1,3% em relação ao último ano, segundo a International Coffee Organization – OIC (2021). Nesse contexto, o Brasil é visto com grande potencial para atender grande parte da demanda mundial. No entanto, os empresários rurais precisam ser cada vez mais eficientes para superar as dificuldades financeiras e as adversidades climáticas, especialmente na fase de implantação e condução inicial das lavouras.

A oscilação do real frente ao dólar e as questões mundiais de produção e transporte de fertilizantes encarece cada vez mais esses insumos, que são importantes itens no cálculo do custo de produção. Em 2017, se previa a participação de fertilizantes consumindo 18,45% nos custos operacionais (CONAB, 2017), porém atualmente esses insumos devem onerar ainda mais o custo de produção, pois o Brasil importa cerca de 75% dos fertilizantes consumidos. Somente no período de novembro de 2016 a dezembro de 2018 os preços aumentaram 19,4 % (AZEVEDO JUNIOR et al., 2019; OIC, 2019) e diante do conflito no leste europeu, os preços estão cada vez mais altos e com possibilidade de escassez mundial.

Neste cenário, a nutrição das lavouras de café tem ficado cada vez mais comprometida, fato agravado pelas constantes crises de ordem econômica, aspectos ambientais e variações climáticas que o setor cafeeiro tem enfrentado. Tais fatos têm levado os cafeicultores a

reduzirem a adubação como forma de sobrevivência na atividade a curto e médio prazos, uma vez que os custos de produção têm sido cada vez maiores (OIC, 2019; OIC, 2020; SOUSA et al., 2018). Por outro lado, em condições de bons preços da saca de café e baixos custos com fertilizantes, os cafeicultores tendem a adubar suas lavouras de forma excessiva, o que nem sempre pode apresentar vantagem econômica.

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar o impacto de diferentes níveis de adubação na produtividade determinando o melhor nível e as doses de fertilizantes (N, P e K) adequadas (Capítulo 2), além de uma análise econômica no período da implantação e condução da lavoura cafeeira até a primeira produção (Capítulo 3), em condições de sequeiro, no sul de Minas Gerais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O café é um importante “commodity” para o Brasil, sendo que as exportações bateram recorde histórico em 2020, totalizando 43,9 milhões de sacas, com crescimento de 2,4 milhões de sacas, ou seja, um aumento de 5,8% em relação a 2019, justificado pela maior produção, já registrada no Brasil (CONAB, 2022). Porém, houve um recuo nas exportações em 2021 de 3,3% em relação à 2020, tendo o Brasil exportado cerca de 42,4 milhões de sacas de 60 kg de café verde, ainda assim, a exportação em 2021 foi 14,3% maior que a exportação média dos últimos 5 anos. Dentre os seis principais estados produtores de café, no Brasil, Minas Gerais é o maior produtor, com participação de cerca de 46,40% da produção nacional, seguido por Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná (CONAB, 2022).

Entretanto, o comprometimento da adubação limita o desenvolvimento e produtividade da lavoura cafeeira com sintomas/sinais nem sempre aparentes (“fome oculta”), especialmente em lavouras na fase de implantação (LIMA, 2014; PINTO et al, 2013).

Resende (2019) trabalhando com produção acumulada de café fertirrigado, em quatro safras, avaliou 6 níveis de adubação (10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160%) e encontrou o nível de 130,16% para máxima produção, onde abaixo e acima desse nível ocorria perda de produtividade. Esses resultados ilustram a “lei dos Incrementos Decrescentes” ou “Lei de Mitscherlich (1909)” enunciando que a partir de uma dose mínima e à medida que se eleva os níveis de fertilizantes, os incrementos na produtividade são cada vez menor até que, a partir da máxima produtividade, esta começa a cair, resultando em diminuição de produtividade. Com as maiores doses de fertilizantes causando incrementos de produtividade cada vez menores, a partir do ponto máximo, tem-se custos cada vez maiores. Portanto, dentre os fatores de produção, a adubação necessita de atenção especial, desde a implantação da lavoura, e pode ser manejada de forma a alcançar melhores resultados em crescimento, produtividade e rendimento econômico. Assim, o adequado manejo da adubação visa fornecer os nutrientes na fonte, época, local de aplicação e dose corretos, sem excessos e/ou deficiências, visando adequada formação da lavoura, o aumento de produtividade e redução dos custos de produção (GUARÇONI et al., 2019).

Sabe-se que o café arábica (*Coffea arabica* L.) é uma planta perene e leva dois anos para completar seu ciclo fenológico, desde a formação dos ramos vegetativos ortotrópicos e plagiotrópicos com gemas axilares no primeiro ano, até a fase reprodutiva no segundo ano (CAMARGO & CAMARGO, 2001). Assim, os erros cometidos durante a implantação, especialmente quanto a nutrição das plantas pode comprometê-la à longo prazo com redução

de produtividade e diminuição da longevidade. A falta de critérios com a redução ou excesso da adubação recomendada durante a formação da lavoura pode causar problemas fisiológicos e fenológicos levando a futuras perdas em produtividade como consequência a má formação, resultando, mais tarde, em dificuldades econômicas ainda maiores e até no abandono da atividade cafeeira.

Considerando que, na implantação da cultura do café os gastos iniciais com adubação já são normalmente altos, é imprescindível que se faça o uso adequado deste insumo (ARAÚJO et al., 2020). Portanto, o conhecimento dos níveis adequados de adubação em função da necessidade da cultura e dos preços de mercado dos fertilizantes é fundamental na decisão da estratégia de adubação. Uma das tecnologias disponíveis para se conhecer as necessidades nutricionais das plantas é a determinação de faixas críticas de teores foliares de nutrientes que possibilita o monitoramento nutricional por meio de análises químicas foliares para a aplicação de fertilizantes de forma mais equilibrada e economicamente adequada, garantindo boa formação da lavoura (BATAGLIA et al., 2004).

A análise foliar, comumente utilizada na cultura do café, é uma tecnologia capaz de avaliar o estado nutricional das plantas num dado momento, possibilitando detectar deficiências e/ou excessos de nutrientes a fim de ajustar o programa de adubação (DEUS et al., 2018; NOWAKI et al., 2017; RAGOZO et al., 2014). O uso desta análise para diagnosticar as plantas é baseado nas premissas de que, dentro de limites, existe relação direta entre a dose de adubo e a produtividade; a dose de adubo e o teor foliar; e o teor foliar e a produtividade (BATAGLIA & SANTOS, 2001; FAQUIN, 2002). Além disto, o uso da folha para análises é justificado por ser o órgão principal para onde são transportados os nutrientes absorvidos pelas plantas, uma vez que são responsáveis pela produção de carboidratos por meio da fotossíntese, e respondem rapidamente às variações do suprimento de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

Dentre os métodos para interpretação dos resultados das análises foliares em cafeeiro, destacam-se as faixas críticas ou faixas de suficiência, comumente utilizadas para cultura dada a facilidade de processamento, uso e interpretação dos dados (PARTELLI et al., 2007; PARTELLI et al., 2016). Segundo FONTES, (2001), faixas críticas são definidas como a faixa de concentração de determinado nutriente acima do qual a cultura está adequadamente suprida e abaixo do qual a cultura está deficiente afetando negativamente a produtividade. A eficiência do uso deste método no que diz respeito a interpretação dos dados, está atrelada a respeitar um padrão previamente estabelecido, que deve ser regionalizado considerando o genótipo, a época de amostragem, a posição na planta, o número de plantas, de folhas, seu estágio fenológico,

dentre outros fatores (MENEZES, 2001; MARTINEZ et al., 2003; PARTELLI et al., 2007; DIAS et al., 2013; PARTELLI et al., 2014).

Tendo em vista a escassez de trabalhos na literatura que determinem faixas críticas para cafeeiros no segundo ano de formação em condição de sequeiro, este documento visa contribuir com informações a respeito da implantação e condução da lavoura de *Coffea arabica* L. até a primeira produção em diferentes níveis de adubação com análise dos custos dos fertilizantes.

## **2.1 Importância do período de implantação e formação de lavouras de café: aspectos nutricionais**

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea* cujas espécies mais cultivadas e importantes economicamente são a arábica (*Coffea arabica* L.) e Robusta ou Conilon (*Coffea canephora* Pierre) (MOHAMMED & JAMBO, 2015).

O cafeeiro leva dois anos para completar o seu ciclo fenológico, ou seja: no primeiro ano formam-se os ramos ortotrópicos (únicos no arábica e múltiplos no canéfora) e os plagiotrópicos (produtivos - transversais) com gemas axilares nos nós; já no segundo ano, ocorre a reprodução iniciando-se com a florada (CAMARGO & CAMARGO, 2001).

Alguns fatores são considerados importantes para o sucesso da cafeicultura, dentre eles destacam-se a escolha e preparo da área para o transplântio; escolha de um bom e adequado material genético; produção de mudas sadias e de bom padrão; e adequada condução das plantas na fase de formação por meio de adubação equilibrada, manejo fitossanitário e de plantas daninhas (PINTO et al., 2013). Por se tratar de cultura perene, os erros cometidos durante a formação da lavoura trará irreparáveis problemas fenológicos e fisiológicos que poderão afetar toda vida útil da cultura, especialmente os erros quanto a nutrição (CLEMENTE et al., 2008).

Também quanto às estratégias de defesa das plantas contra os patógenos, os nutrientes possuem papel importante como componentes integrais, ativadores, inibidores e reguladores da síntese ou do metabolismo (CATARINO et al., 2016). Portanto, desequilíbrios nutricionais aumentam a predisposição das plantas a vários patógenos e pragas, uma vez que elas ficam menos tolerantes (POZZA et al., 2001; FANCELLI, 2008). Um exemplo do efeito de nutrientes no controle de doenças foi observado por Lima et al. (2010) que notou redução da intensidade de mancha de Phoma (*Phoma tarda*) com aumento das doses de potássio (K), mostrando que este nutriente confere maior resistência aos tecidos das plantas, por aumentar a espessura da parede celular e da cutícula (SILVA et al., 2020). Também Pozza et al. (2001), trabalhando

com nitrogênio, (N) observou que o aumento das doses de N pode promover redução de 20,7% das lesões de Cercóspora (*C. coffeicola*).

A nutrição desequilibrada causada por deficiência e/ou excesso de nutrientes, também influencia no metabolismo e crescimento das plantas podendo levar a redução do crescimento e futura redução de produtividade, mesmo não havendo manifestações visuais dos sintomas (ZABINI 2010; EPSTEIN & BLOOM, 2006). Assim sendo, não há possibilidade de se alcançar elevada produtividade futura sem garantir a formação de uma lavoura nutricionalmente equilibrada (VIECELLI, 2017).

Para o manejo nutricional adequado na formação da cultura, é preciso considerar os resultados da análise de solo nas recomendações técnicas para adubação, de forma a garantir que haja nutrientes em quantidade satisfatória para absorção das plantas. Contudo, sabendo-se que muitas variáveis influenciam na absorção dos nutrientes, para garantir que as plantas estejam satisfatoriamente nutridas, o monitoramento nutricional por meio da análise foliar, é uma valiosa ferramenta, uma vez que a planta é a própria extratora dos nutrientes do solo (BEAUFILS, 1973; BATAGLIA E SANTOS, 2001).

Além dos trabalhos citados, vários outros mostram a relação dos nutrientes com doenças de plantas (SANTOS et al., 2008; MOHAMED et al., 2014; MANCHING et al., 2014; SHARF et al., 2014; CATARINO et al., 2016; JUNIOR et al., 2017; CHAVES et al., 2018; SILVA et al., 2019; SILVA et al., 2020).

## **2.2 Nutrição e adubação do cafeeiro**

O cafeeiro é uma planta perene que apresenta grandes exigências nutricionais, cujas quantidades de nutrientes diferem de acordo com as fases de seu ciclo fenológico. Portanto, deve-se atentar para um programa de adubação adequado que atenda, com eficácia, a situação nutricional das plantas desde a implantação da lavoura, de maneira que as mesmas sempre estejam nutricionalmente equilibradas (MENDONÇA, 2016).

Visando construir o programa de adubação adequado para a lavoura, deve-se primeiramente conhecer a marcha de absorção dos nutrientes do cafeeiro, a exigência nutricional da cultura durante todo ciclo fenológico, a fertilidade natural do solo por meio de análise de solo para se fazer as recomendações necessárias de correção e adubação. Diante dos resultados da análise do solo, deve-se aplicar a melhor fonte, na dose certa, na época correta e no lugar certo, monitorando o estado nutricional da cultura por meio da análise foliar, que possibilita diagnosticar os problemas nutricionais e corrigi-los, no mesmo ano, e considerar a

produtividade esperada na safra seguinte (GUIMARÃES et al., 1999; MENEZES, 2001; MARTINEZ et al., 2003; GUARÇONI et al., 2019; SILVA et al., 2020).

N e K são destaques dentre os nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro, sendo que a ordem de preferência da cultura segue a seguinte sequência: N>K> Ca>Mg>S>P>B>Zn>Cu (MARTINEZ; NEVES, 2015). Segundo MENDONÇA et al, (2016), na fase reprodutiva a exigência de K tem aumento, em detrimento ao N, uma vez que os frutos exigem esse nutriente. Além das adubações influenciarem na formação da lavoura e na produtividade, também possuem grande influência na qualidade da bebida (MARTINEZ et al., 2014; CLEMENTE et al., 2015).

A instabilidade da cotação do café, durante o ano, influencia o estado nutricional da lavoura, pois preços mais baixos aliados a custos de produção mais elevados interferem no uso dos insumos, uma vez que limita a capacidade financeira dos produtores para comprá-los. Nesse contexto, muitos produtores preferem fertilizar as lavouras em melhor estado produtivo, e isso traz problemas de desequilíbrio nutricional nas lavouras menos produtivas, acarretando problemas posteriores (MENDONÇA, 2016; GUIDO et al., 2020).

Considerando este problema, é preciso estudar de que forma a redução da adubação pode influenciar a lavoura e até que ponto pode haver a redução de determinados nutrientes sem que ocorra grandes prejuízos futuros na produtividade e na qualidade da bebida. Estes estudos podem otimizar o uso de fertilizantes aplicando doses mais precisas que atendam às reais necessidades da planta, resultando em adequado desenvolvimento da cultura, redução de custos e de impactos ambientais (DALACORT & STEVAN, 2018).

De acordo com o trabalho de CLEMENTE et al (2008), as avaliações de crescimento realizadas são indicativas das produtividades futuras, sendo que, lavouras em formação no primeiro ano, após o transplante, com os teores nutricionais fora das faixas críticas para os macro nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), levam a sérios prejuízos. Portanto, o programa de adubação deve possibilitar obter máxima produtividade com qualidade, de maneira econômica e ambientalmente correta (MENDONÇA, 2016).

Ao implantar e conduzir a formação de uma lavoura, deve-se atentar para maior eficiência da adubação evitando falta ou excesso de nutrientes. Para isso, além da análise de solo, deve-se também realizar a análise foliar; esta última, comumente mais usada para cafeeiros em produção, porém, é também, importante no monitoramento do estado nutricional das plantas de café recém-plantadas e em sua condução, otimizando o manejo da adubação e contribuindo na redução de custos de produção e dos impactos ambientais.

### 2.3 Aspectos nutricionais do café arábica e os macronutrientes

Dentre vários elementos químicos absorvidos pelas plantas, apenas alguns foram determinados como sendo essenciais, ou seja, aqueles que são componentes intrínsecos fazendo parte da estrutura ou metabolismo das plantas ou cuja ausência traz severas anormalidades no crescimento, desenvolvimento ou na reprodução dos vegetais, ou até mesmo, interrompem o ciclo de vida das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2017).

De acordo com Mesquita et al., (2016), os nutrientes minerais essenciais para o cafeeiro são classificados em macronutrientes como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), estes que são demandados em maior quantidade pelas plantas, e micronutrientes: Boro (B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Ferro, (Fe), Manganês (Mn), Cloro (Cl) e Molibdênio (Mo). Além desses, carbono (C) e oxigênio (O<sub>2</sub>) são elementos supridos pela atmosfera, enquanto o hidrogênio (H) é fornecido pela água (LIMA, 2014).

As exigências nutricionais de uma lavoura recém-implantada de café são inicialmente baixas, porém, a partir de 1,5 a 2,5 anos de idade, elas crescem rapidamente, justificada pela condição de ter que suprir as necessidades vegetativas e reprodutivas (CLEMENTE, 2005), fato este evidenciado por Catani et al., (1965) que quantificou os macronutrientes absorvidos pela parte aérea (tronco, ramos e folhas) em função da idade das plantas. Catani et al. (1965) sugere que os nutrientes necessários exigidos na formação da lavoura cafeeira possuam a seguinte ordem: N, K, Ca, Mg, P e S e mais tarde, Clemente, (2005) citando (Matiello et al., 2002) em trabalho realizado com os grupos de cultivares Mundo Novo e Catuaí da fase de muda até a idade de 18 meses (1,5 anos), confirma a ordem de exigência dos macronutrientes e acrescenta que para os micronutrientes, a ordem é: Fe, Mn, B, Cu e Zn.

O nitrogênio é o nutriente mais exigido no crescimento vegetativo do cafeeiro. Sua absorção na solução do solo ocorre na forma de íons nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou íons amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Além disso, possui papel estrutural fazendo parte de aminoácidos, ácidos nucleicos, nucleotídeos e clorofila, além de estar envolvido em processos enzimáticos, pois todas as enzimas e coenzimas contêm N (RAVEN, 2016; TAIZ e ZEIGER, 2017; VIECELLI, 2017). Por ser altamente móvel na planta, os sintomas da deficiência deste nutriente iniciam-se nas folhas mais velhas, com clorose uniforme que, em condições mais agravadas, culminam na necrose e queda das folhas, além de prejudicar a florada e, em grau elevado, provocar secamento dos ramos da ponta para a base em caso de alta carga pendente (MESQUITA et al., 2016). Por outro lado, o excesso também traz problemas, principalmente na fase de produção, pois estimula alto crescimento vegetativo em detrimento da produção, acarreta atraso no amadurecimento dos

frutos, perda da qualidade de bebida e expõe a planta a maior susceptibilidade ao ataque de patógenos (*Phoma* e *Pseudomonas*), além de causar deficiência de Zinco, Cobre, Ferro e Boro (MESQUITA et al., 2016).

A recomendação de N para cafeeiros pode ser feita com base nos resultados da análise foliar e produtividade esperada a partir do momento que a lavoura apresenta perspectivas de produção, sendo que, quanto menor os valores do teor foliar, maiores as doses de N recomendadas (GUIMARÃES et al., 1999).

O fósforo (P) é um dos macronutrientes mais importantes para o cafeeiro, principalmente por estar diretamente envolvido no desenvolvimento das raízes, portanto, é extremamente necessário na adubação de plantio para formação da lavoura. Porém, na fase adulta do cafeeiro, é menos exigido que N e K (MESQUITA et al., 2016). É absorvido na forma dos íons  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , dominantes em solos alcalinos e ácidos, respectivamente (VIECELLI, 2017). Possui função estrutural sendo componente integral de compostos como açúcares, fosfato, intermediários dos processos de respiração e da fotossíntese, assim como os fosfolipídios que compõem a membrana celular. É também componente de nucleotídeos usados no metabolismo energético como ATP e no DNA e RNA. Dentre suas funções, destacam-se a manutenção da integridade da membrana e no armazenamento e transferência de energia (KERBAUY, 2012; VIECELLI, 2017; TAIZ & ZEIGER, 2017). É altamente móvel na planta, portanto, em caso de deficiência os sintomas aparecem nas folhas mais velhas que perdem o brilho e mudam de cor na ponta e no meio até ficarem marrom-arroxeadas. A necrose em “v” invertido é característica marcante de sua deficiência, em cafeeiro (MESQUITA et al., 2016).

A dose deste nutriente é recomendada com base nas classes de fertilidade em função do teor de argila (%) ou do fósforo remanescente (P-rem) e deve ser aplicado no momento do plantio para a implantação de lavouras (GUIMARÃES et al., 1999). Entretanto, a aplicação em excesso pode interferir indiretamente na absorção ou transporte para a parte aérea de micronutrientes como cobre, ferro, manganês e zinco (MESQUITA et al., 2016).

O potássio (K) é o segundo nutriente mais exigido pelo cafeeiro. Sua absorção se dá na forma do cátion  $\text{K}^+$  sendo a fonte mais utilizada na fertilização o cloreto de potássio (KCl) (MALAVOLTA, 2006; ERNANI et al., 2007; MESQUITA et al., 2016). Durante o crescimento dos frutos, o potássio é translocado para os mesmos, pelas folhas adjacentes fazendo com que ocorra diminuição nos teores foliares deste nutriente (VALARINI et al., 2005). Além disso, é reconhecido como “elemento de qualidade” visto que possui influência na composição dos grãos e, portanto, na qualidade de bebida (CLEMENTE, 2010; GUIMARÃES et al., 2011; MARTINEZ et al., 2014 CLEMENTE et al., 2015). Atua como ativador enzimático, na

fotossíntese, na sintetização proteica, na metabolização do nitrogênio, é transportador de fotoassimilados, controla a abertura e fechamento estomático, e é importante para resistência a patógenos e para o crescimento meristemático (VIECELLI, 2017).

Vários trabalhos relacionam o potássio à resistência a doenças no cafeeiro (CATARINO et al., 2016; SILVA et al., 2019; SILVA et al., 2020), dada a importância deste nutriente na resistência do vegetal, este que é responsável também pela recuperação de tecidos danificados aumentando a espessura da parede celular e da cutícula, diminuindo o estresse hídrico promovendo menor acúmulo de açúcares e aminoácidos (KERBAUY, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013; RAVEN et al., 2016; SILVA et al., 2020). SILVA et al (2020) estudando a relação de doses de N e K<sub>2</sub>O com a incidência de ferrugem e cercosporiose em cafeeiro fertirrigado, observaram que o nível de apenas 30% da adubação padrão recomendada para cafeeiro em sequeiro favoreceu a incidência de cercosporiose nos frutos causada pela deficiência potássica. Além disto, sua importância se estende também à resistência maior ao frio, pois confere maior concentração de solutos na planta (MESQUITA et al., 2016).

Assim como nitrogênio e fósforo, o potássio também é um nutriente móvel na planta. Em casos de deficiência, os sintomas aparecerão nas folhas mais velhas com amarelecimento nas pontas e margens que secam e ficam marrons ou pretas com um contorno amarelado. Os ramos com frutos podem secar e os frutos podem ficar chochos (MESQUITA et al., 2016). Em caso de excesso, pode ocorrer deficiência induzida de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em função da interação negativa entre estes elementos (MESQUITA et al., 2016).

## **2.4 Diagnose nutricional com base na análise foliar**

Para que as plantas absorvam os nutrientes da solução do solo, estes devem estar disponíveis e em quantidade adequada. A análise química do solo é uma prática bastante utilizada na agricultura para avaliar a disponibilidade dos nutrientes e servir de base para recomendação de corretivos e fertilizantes, de modo a garantir que os nutrientes estejam em quantidades adequadas de acordo com as demandas nutricionais das plantas.

Porém, existem fatores que interferem na disponibilidade e no processo de absorção das plantas, ou seja, o fato dos elementos estarem devidamente presentes no solo não significa que serão devidamente absorvidos. Deste modo, considerando que a planta é a própria extratora dos nutrientes, os teores foliares da mesma correspondem ao valor integral de todos os fatores que interagiram para afetá-los (BATAGLIA & SANTOS, 2001; MENDONÇA, 2016).

As folhas recém-maduras são responsáveis pela fotossíntese e considerando que é para onde os nutrientes absorvidos são transportados e que respondem rapidamente às variações nutricionais das plantas, são elas comumente utilizadas na análise de tecido vegetal (MALAVOLTA et al., 1997; TAIZ & ZEIGER, 2004; JEYALAKSHMI & RADHA, 2017). Alguns estudos foram realizados de modo a sugerir a diagnose nutricional do cafeeiro também em flores (MARTINEZ et al., 2003; ZABINI, 2010).

A análise foliar, proposta inicialmente por LAGATU e MAUME em 1934 como citado por SOUSA (2016), é uma ferramenta bastante usada na cultura do cafeeiro, principalmente na fase reprodutiva e é capaz de avaliar o estado nutricional das plantas detectando possíveis excessos e/ou falta de determinados nutrientes em um dado momento. Portanto, serve como apoio no monitoramento nutricional da lavoura e no manejo de adubação, de modo que seja possível obter teores foliares dos nutrientes em épocas que ainda permitam ajustes na adubação caso seja necessário (DEUS et al., 2018; NOWAKI et al., 2017; RAGOZO et al., 2014).

Essa ferramenta é baseada no pressuposto de que, dentro de limites, exista uma relação bem definida entre o crescimento e a produtividade das culturas, e o teor foliar dos nutrientes em seus tecidos, de modo que teores altos e baixos de nutrientes nas folhas, correspondam a rendimentos maiores e menores, respectivamente (MALAVOLTA et al., 1997; MARTINEZ et al., 1999; BATAGLIA & SANTOS, 2001).

Para interpretar os resultados provenientes da análise foliar, é preciso inicialmente estabelecer padrões e valores de referência dos teores foliares em populações de plantas adequadamente nutridas que tenham altas produtividades que servirão de base para comparação (MALAVOLTA et al., 1997; MENDONÇA, 2016).

Os teores nutricionais do tecido vegetal podem ser influenciados por vários fatores como espécie, variedade, idade, estágio vegetativo, produtividade pendente, temperatura, radiação solar, disponibilidade de água, condições físicas, químicas e biológicas do solo, além das práticas de manejo adotadas (MARTINEZ et al., 2003; MALAVOLTA, 2006; FERREIRA et al., 2010). Diante disto, valores de referência estabelecidos para diferentes cultivares, locais, épocas do ano e estágio vegetativo contribuem para aumentar a eficácia da interpretação da análise foliar tornando a ferramenta mais assertiva e segura (MARTINEZ et al., 2004; PARTELLI et al., 2007).

Em relação a amostragem das folhas, para cafeeiros em produção, Malavolta et al. (1997) e MARTINEZ et al. (1999) recomendam coletar o terceiro ou quarto par de folhas, a partir da extremidade dos ramos produtivos, no terço médio das plantas, no período em que os

frutos se encontram na fase conhecida como “chumbinho” antes da expansão rápida dos mesmos.

A amostragem das folhas, para análise, deve ser rigorosamente seguida conforme métodos estabelecidos para o cafeeiro encontrados na literatura (FAQUIN, 2002), do contrário, os resultados não serão confiáveis e a análise, assim como a interpretação e ações podem ser comprometidas. A interpretação adequada dos resultados das análises foliares favorece o uso racional de fertilizantes, diminui os custos de produção, melhora o equilíbrio nutricional das plantas, proporciona aumento da produtividade, permite monitorar a condição nutricional das plantas e reduz impactos ambientais (BATAGLIA et al., 2004; PARTELLI et al., 2016).

Há carência de trabalhos com recomendações de adubação por meio de análises foliares para lavouras sem irrigação, em época de implantação. No entanto, são encontrados resultados de pesquisas realizadas em lavouras fertirrigadas. Clemente et al., (2008) trabalhando com experimento em vaso, relata melhores doses de NPK para o cafeeiro em seu primeiro ano de formação, entre 71% e 112% da adubação padrão recomendada por Guimarães et al., (1999); Sobreira et al (2011), encontraram melhores doses para cafeeiro no primeiro e segundo anos de formação, abaixo de 100% da adubação padrão de N e K; Pinto et al., (2013), recomendaram a dose ideal para adubação de primeiro ano com N, P e K de 118,13% da adubação padrão para lavouras em sequeiro, resultado próximo ao encontrado em trabalho realizado por Villela et al., (2015), cuja melhor foi 122,61% da adubação padrão utilizada de N, P e K para cafeeiros, no segundo ano de formação.

Villela (2020) relata que devido a constante evolução das tecnologias utilizadas, onde se tem cultivares de café cada vez mais produtivos, torna-se imprescindível reajustar a adubação do cafeeiro em função do aumento da demanda nutricional da cultura. Só então, de posse dessas informações, será possível conduzir a formação da lavoura sem irrigação de maneira equilibrada e eficiente.

## **2.5 Faixas Críticas de teores foliares como monitoramento da nutrição**

Dentre os vários métodos para realizar o diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise química de tecidos, a faixa crítica ou faixa de suficiência é o mais utilizado devido a simplicidade e facilidade de interpretação (PARTELLI et al., 2016), principalmente em cafeeiros em produção com resultados de pesquisa encontrados na literatura, dados estes, escassos para lavouras em formação. Contudo, este método impossibilita identificar qual

nutriente é mais limitante quando existe mais de um fora da faixa crítica adequada conforme Baldock & Schulte, (1966), citado por Menezes, (2001).

Outros autores definem a faixa de suficiência como a faixa da concentração de um determinado nutriente na folha onde, abaixo ou acima da faixa, a produtividade é afetada, sendo que acima, pode aumentar ainda mais o custo de produção (MALAVOLTA et al., 1997; BATAGLIA & SANTOS, 2001). A importância desta tecnologia aplicada à nutrição mineral das plantas se dá pela antecipação na correção de deficiências, pois há detecção dos problemas nutricionais antes do aparecimento dos sintomas visuais e consequentes alterações internas, que comprometem a vida útil e a produtividade da lavoura cafeeira (PINTO et al., 2013).

O estabelecimento das faixas críticas deve ser padronizado quanto ao genótipo (espécie e variedade), época de amostragem, posição da coleta das folhas na planta, estágio fenológico, dentre outros (MARTINEZ et al., 2003; PARTELLI et al., 2007; DIAS et al., 2013). Da mesma maneira, é importante regionalizar os valores de referência dos teores nutricionais (PARTELLI et al., 2014), uma vez que as características e da flocimáticas também podem interferir na concentração dos teores de nutrientes nas folhas. Com esse cuidado a interpretação dos resultados será mais segura e eficiente.

Como metodologia de pesquisa das faixas críticas estabelecidas em vários trabalhos, têm-se baseado em níveis que correspondem a 90% da produtividade ou crescimento máximo da cultura, para que as recomendações de adubação estejam mais próximas da “máxima eficiência econômica” (CLEMENTE, MARTINEZ et al., 2015; BRINATE et al., 2015). Faquin et al. (2002), comentando diversos trabalhos, também justifica a recomendação de se estimar os níveis críticos a 90% da produtividade máxima.

A interpretação dos resultados é feita por meio da comparação dos teores foliares dos nutrientes nas amostras colhidas com os valores dos teores de referência previamente estabelecidos encontrados na literatura para cada cultura. Segundo Bell, et al., 1995, citado por Menezes (2001), estes valores de referência são classificados como deficientes, adequados ou excessivos se as folhas amostradas apresentarem teores inferiores, dentro da faixa crítica estabelecida, ou superiores, respectivamente. No caso de deficiência ou excesso, as plantas poderão apresentar problemas nutricionais que refletirão na produtividade.

Em 2008, ainda não se encontrava na literatura, recomendações de faixas críticas de teores foliares estabelecidas para a cultura do cafeeiro em formação durante o primeiro e, ou segundo anos (CLEMENTE et al., 2008), porém resultados eram encontrados para cafezais em produção. No entanto, estabelecer faixas críticas de teores foliares para lavouras em formação pode ajudar a evitar problemas futuros na lavoura cafeeira.

Pode-se verificar pela Tabela 1 diversos trabalhos de determinação de faixas críticas de teores foliares de micro e macronutrientes na cultura do café em produção, em sistema de sequeiro, em diferentes regiões e anos de publicação. Observa-se algumas variações das faixas críticas entre os trabalhos, o que ocorre em função dos trabalhos terem sido realizados em diferentes regiões com diferentes valores de pH, diferentes características físicas do solo e quantidades de matéria orgânica, além de diferenças de clima e de cultivares utilizadas.

Tabela 1 – Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes e micronutrientes em cafeeiros, em fase de produção, conduzidos em sistema de sequeiro. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Nutriente | Ano de publicação <sup>(1)</sup>            |           |           |            |           |               |           |
|-----------|---|-----------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
|           | 1998  | 1993      | 1996      | 1997a      | 1997b     | 2003          | 2004      |
|           | <b>Macronutrientes, dag kg<sup>-1</sup></b> |           |           |            |           |               |           |
| N         | 2,50-3,00                                   | 2,70-3,20 | 2,30-3,00 | 2,90-3,20  | 3,00-3,50 | 2,58-2,88     | 2,51-2,85 |
| P         | 0,15-0,20                                   | 0,15-0,20 | 0,12-0,20 | 0,16-0,19  | 0,12-0,20 | 0,12-0,17     | 0,10-0,15 |
| K         | 2,10-2,60                                   | 1,90-2,40 | 2,00-2,50 | 2,20-2,50  | 1,80-2,50 | 1,80-2,66     | 2,24-3,10 |
| Ca        | 0,75-1,50                                   | 1,00-1,40 | 1,00-2,50 | 1,30-1,50  | 1,00-1,50 | 0,89-1,12     | 1,00-1,34 |
| Mg        | 0,25-0,40                                   | 0,31-0,36 | 0,25-0,40 | 0,40-0,45  | 0,35-0,50 | 0,31-0,41     | 0,36-0,52 |
| S         | 0,02-0,10                                   | 0,15-0,20 | 0,10-0,20 | 0,15-0,20  | 0,15-0,20 | 0,19-0,25     | 0,13-0,18 |
|           | <b>Micronutrientes, mg kg<sup>-1</sup></b>  |           |           |            |           |               |           |
| B         | 40-100                                      | 59-80     | 40-75     | 50-60      | 40-80     | 38-56         | 44-64     |
| Cu        | 16-20                                       | 8-16      | 10-25     | 11-14      | 10-50     | 14-20         | 26-72     |
| Fe        | 70-200                                      | 90-180    | 70-125    | 100-130    | 100-200   | 48-125        | 94-159    |
| Zn        | 15-30                                       | 8-16      | 12-30     | 15-20      | 10-20     | 7-11          | 13-30     |
| Mn        | 50-100                                      | 120-210   | 50-200    | 80-100     | 50-100    | 71-177        | 77-141    |
| Nutriente | Ano de publicação <sup>(1)</sup>            |           |           |            |           |               |           |
|           | 2001  | 2007      | 2018      | 2009       | 2018      | 2016          |           |
|           | <b>Macronutrientes, dag kg<sup>-1</sup></b> |           |           |            |           |               |           |
| N         | 2,6-3,2                                     | 3,02-3,38 | 3,34-3,58 | 2,25-2,79  | 3,0-3,5   | 2,85-3,24     |           |
| P         | 0,12-0,20                                   | 0,12-0,19 | 0,14-0,16 | 0,18-0,22  | 0,12-0,15 | 0,10-0,14     |           |
| K         | 1,8-2,5                                     | 1,58-2,26 | 2,44-2,70 | 1,72-2,10  | 1,8-2,3   | 2,08-2,62     |           |
| Ca        | 1,0-1,5                                     | 1,03-1,47 | 1,19-1,36 | 1,26-1,51  | 1,0-1,5   | 0,98-1,21     |           |
| Mg        | 0,3-0,5                                     | 0,23-0,35 | 0,38-0,45 | 0,29-0,35  | 0,35-0,5  | 0,38-0,51     |           |
| S         | 0,15-0,20                                   | 0,12-0,20 | 0,14-0,18 | 0,13-0,32  | 0,15-0,20 | 0,10-0,15     |           |
|           | <b>Micronutrientes, mg kg<sup>-1</sup></b>  |           |           |            |           |               |           |
| B         | 50-80                                       | 40,6-83   | -         | 83,8-96,3  | 40-80     | 38,10-59,40   |           |
| Cu        | 10-20                                       | 7,6-32    | -         | 5,7-9,3    | 10-50     | 10,60-17,70   |           |
| Fe        | 50-200                                      | 45-155    | -         | 67,5-116,2 | 70-200    | 30,80-44,70   |           |
| Zn        | 10-20                                       | 8,51-17,7 | -         | 17,4-30,0  | 10-20     | 12,00-20,40   |           |
| Mn        | 50-200                                      | 22,8-191  | -         | 219-422    | 50-200    | 113,30-229,90 |           |

<sup>(1)</sup> Reuter e Robison (1988); Malavolta (1993); Mills e Jones Junior (1996); Malavolta et al. (1997); Matiello (1997); Martinez et al. (2003); Martinez et al. (2004); Bataglia e Santos (2001); Partelli et al. (2007); Sousa et al. (2018); Farnezi et al. (2009); Fundação PROCAFÉ (2018); Mendonça (2016).

Fonte: Adaptado de (Farnezi, Silva et al. 2009).

É possível encontrar trabalhos, mais recentes na literatura, disponíveis sobre determinação de faixas críticas de teores foliares para cafeeiros no estágio de muda e formação em campo, tanto em sistemas irrigados quanto em fertirrigados (Tabela 2). Estes estádios fenológicos de culturas perenes, como o café, precisam ser considerados as necessidades

específicas para crescimento e desenvolvimento das plantas, visto que, uma vez implantados e formados, não há como fazer correções e improvisações ao longo da vida útil da lavoura. Contudo, ainda são raros os trabalhos de determinação de faixas críticas de teores foliares para cafeeiros em formação, especialmente em lavouras sem irrigação.

Tabela 2 – Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes e micronutrientes para mudas de cafeeiro (MC), cafeeiro em formação irrigado (CFI) e cafeeiro em formação fertirrigado (CFF). UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Nutrientes                                 | MC                               |               | CFI       |           | CFF     |
|--|----------------------------------|---------------|-----------|-----------|---------|
|  | Ano de publicação <sup>(1)</sup> |               |           |           |         |
|  | 2009                             | 2007          | 2008      | 2015      | 2013    |
| <b>Macronutrientes dag kg<sup>-1</sup></b> |                                  |               |           |           |         |
| N  | 2,26-2,62                        | -             | 1,92-2,32 | 2,61-3,1  | 2,8-3,1 |
| P  | 0,22-0,25                        | -             | 0,11-0,12 | 0,16-0,17 | 0,18    |
| K  | 2,59-2,92                        | -             | 1,73-1,90 | 1,89-1,92 | 2,55    |
| Ca   | 0,69-0,76                        | -             | 1,27-1,41 | -         | -       |
| Mg   | 0,11-0,12                        | -             | 0,82-0,89 | -         | -       |
| S  | 0,15-0,24                        | -             | 0,14-0,17 | -         | -       |
| <b>Micronutrientes mg kg<sup>-1</sup></b>  |                                  |               |           |           |         |
| B  | -                                | 39,74-39,94   | -         | -         | -       |
| Cu   | -                                | 6,94-9,29     | -         | -         | -       |
| Fe   | -                                | 209,01-213,88 | -         | -         | -       |
| Zn   | -                                | 3,68-4,08     | -         | -         | -       |
| Mn   | -                                | 33,05-37,21   | -         | -         | -       |

(1) Gonçalves et al. (2009); Gontijo et al. (2007); Clemente et al. (2008), Villela et al. (2015); Pinto et al. (2013).

Fonte: Da autora (2022)

## 2.6 Custo de implantação do cafeeiro: Fertilizantes

Dentre os diversos fatores que compõem os custos de produção para implantação e condução da lavoura cafeeira (inclusive na fase de produção), os fertilizantes estão entre os mais importantes.

O nível de adubação utilizado influencia diretamente no crescimento e produtividade do café (REUTER e ROBISON, 1988); MALAVOLTA, 1993); MILLS e JONES JUNIOR, 1996); MALAVOLTA et al. (1997); MATIELLO (1997); MARTINEZ et al. (2003); MARTINEZ et al. (2004); BATAGLIA e SANTOS (2001); PARTELLI et al. (2007); SOUSA et al. (2018); FARNEZI et al. (2009); PROCAFÉ (2018); MENDONÇA (2016); GONÇALVES et al. (2009); GONTIJO et al. (2007); CLEMENTE et al. (2008), VILLELA et al. (2015); PINTO et al. (2013); entre outros). No entanto, os cafeicultores têm a sensação de forte impacto econômico

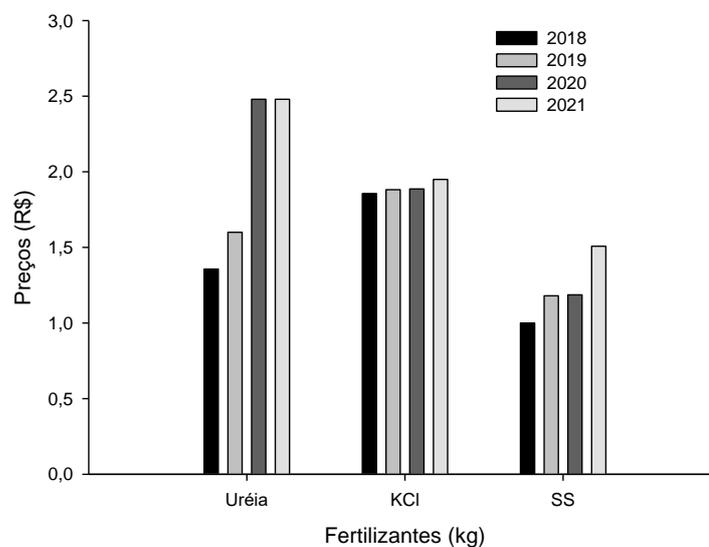
no momento da aquisição desses insumos, pois o desembolso é normalmente feito de uma só vez, ao longo do ano agrícola.

A interferência direta do nível de adubação das lavouras no crescimento e produtividade nem sempre é percebido pelos cafeicultores, que após a opção por adubações em menores quantidades (em função dos preços elevados), não têm um tratamento testemunha (ou tratamento controle) que lhes dê melhor noção do prejuízo. Da mesma forma, em outras condições, a adubação em excesso (ou mesmo desequilibrada) leva a perdas expressivas em crescimento e produtividade.

Assim, deve-se avaliar os efeitos dos níveis de adubação no crescimento e produtividade das lavouras de café, considerando o custo dos fertilizantes, de modo a buscar o crescimento/produtividade máximo econômico, que é objeto deste trabalho.

A média da participação dos custos com fertilizantes nas despesas totais das lavouras de café em três regiões cafeeiras (Manhuaçu-MG; Guaxupé-MG e Pinheiros-ES) aumentou de 2016 a 2021 (CONAB, 2021). Assim, segundo a CONAB (2021), houve crescimento médio da participação dos adubos nos custos totais de cerca de 17% em 2016 para cerca de 22% em 2021, com aumento acentuado a partir de 2020, principalmente, em Pinheiros (ES) e Guaxupé (Sul de Minas). Segundo Rossetti (2021), essa participação não se deve a maior aplicação de adubos nas lavouras, mas a preços mais elevados, conforme mostram a Figura 1 e a Tabela 3.

Figura 1 - Preços médios (R\$) por quilo (kg), de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples em 2018, 2019, 2020 e julho de 2021 em Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de CONAB (2021)

Nota-se pela Figura 1, que a ureia é o adubo mais caro, seguido do cloreto de potássio e do superfosfato simples. Quando se analisa os preços médios da ureia nos últimos quatro anos, percebe-se aumento significativo dos valores entre os anos de 2019 e 2020, que se manteve até janeiro de 2021. A partir daí, houve sucessivos aumentos, onde o preço do quilo deste fertilizante chegou a R\$3,38, em setembro de 2021 (CONAB, 2021).

Quando se avalia os preços médios do cloreto de potássio não se percebe significativas variações nos últimos quatro anos, sendo que o quilo do cloreto de potássio em setembro de 2021, teve alta significativa, chegando a R\$2,54 (CONAB, 2021). Contudo, há risco de escassez desse produto em 2022 devido ao conflito no Leste Europeu e às sanções à Bielorrússia (CANAL RURAL, 2021), o que pode elevar ainda mais o preço do cloreto de potássio. Em relação ao superfosfato simples observa-se ligeiro aumento no preço, com destaque (maior elevação) entre os anos 2020 e 2021 (Figura 1).

Na Tabela 3 pode-se notar a estimativa de preços dos fertilizantes desde 2015 até 2021 em Minas Gerais. Percebe-se que os preços se mantiveram com pouca variação entre 2015 e 2017 para ureia e para o superfosfato simples, e para o cloreto de potássio até 2018. A partir de 2019 até 2021, houve crescimento significativo no preço da ureia e do superfosfato simples, com variações de 53% e 28%, respectivamente. No caso do cloreto de potássio houve diminuição do preço em 11,36% de 2019 a 2020, permanecendo o preço em 2021, porém, com perspectiva de aumento em função do conflito no Leste Europeu.

Tabela 3 – Preços de fertilizantes nos diferentes anos, correspondente ao mês de agosto em Minas Gerais. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Adubos<br>(Toneladas)           | Anos     |                       |          |          |          |                       |                       |
|---------------------------------|----------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
|                                 | 2015     | 2016                  | 2017     | 2018     | 2019     | 2020                  | 2021 <sup>1</sup>     |
| <b>Ureia</b>                    | 1.450,00 | 1.585,00 <sup>2</sup> | 1.322,00 | -        | 1.861,00 | 1.850,00              | 2.843,00 <sup>3</sup> |
| <b>Superfosfato<br/>Simples</b> | 860,25   | 980,00                | 846,00   | -        | 1.180,00 | 1.186,74 <sup>4</sup> | 1507,83 <sup>5</sup>  |
| <b>Cloreto de<br/>Potássio</b>  | 1.500,00 | 1.500,00              | 1.402,00 | 1.400,00 | 2.200,00 | 1.950,00              | 1.950,00 <sup>3</sup> |

<sup>1</sup>Correspondente à julho <sup>2</sup>Correspondente à setembro <sup>3</sup>Correspondente à julho <sup>4</sup>Correspondente à novembro <sup>5</sup>Correspondente à março.

Fonte: CONAB

O Brasil importa cerca de 75% dos fertilizantes (AZEVEDO JUNIOR et al., 2019), sendo que no caso específico do KCl, a importação chega a 95% do total consumido (SAMORA, 2022). Além disto, a desvalorização do real frente ao dólar e a escassez motivada

pelos conflitos nas áreas produtoras, aumentam mais ainda os preços destes insumos, com elevação de mais de 25% em nível internacional, entre 2016 e 2018 (OIC, 2019).

Em relação aos preços de fertilizantes, nas principais regiões cafeeiras do Brasil, observa-se grandes variações entre agosto de 2020 e agosto de 2021, principalmente para MAP e cloreto de potássio (Tabela 4), refletindo o cenário de preços internacionais crescentes e a desvalorização cambial registrada nos últimos meses de 2021 (ROSSETTI, 2021).

Tabela 4 - Variações (%) dos preços (R\$/tonelada) de fertilizantes (Ureia, MAP e KCl) entre 2020 e 2021 em diferentes regiões cafeeiras do Brasil (Cerrado-MG; Alta Mogiana-SP; Sul de MG; Zona da Mata-MG; Espírito Santo-ES). UFLA, Lavras/MG, 2022.

| R\$/t        | Cer.-MG ** |       | A. Mog-SP** |       | Sul de MG** |       | Z.M.- MG*** |       | E.S.*** |       |
|--------------|------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|---------|-------|
|              | 2020       | 2021  | 2020        | 2021  | 2020        | 2021  | 2020        | 2021  | 2020    | 2021  |
| <b>Ureia</b> | 1.628      | 2.863 | 1.577       | 2.838 | 1.592       | 2.843 | 1.587       | 2.838 | 1.577   | 2.828 |
| <b>Var.%</b> | 76         |       | 80          |       | 79          |       | 79          |       | 79      |       |
| <b>MAP</b>   | 1.996      | 4.213 | 1.945       | 4.188 | 1.960       | 4.193 | 1.955       | 4.188 | 1.945   | 4.178 |
| <b>Var.%</b> | 111        |       | 115         |       | 114         |       | 114         |       | 115     |       |
| <b>KCl</b>   | 1.471      | 3.785 | 1.420       | 3.760 | 1.435       | 3.765 | 1.430       | 3.760 | 1.420   | 3.750 |
| <b>Var.%</b> | 157        |       | 165         |       | 162         |       | 163         |       | 164     |       |

\*\* Origem Santos. \*\*\* Origem Vitória.

Fonte: adaptado de StoneX

Também em relação ao aumento de preços dos fertilizantes, no período de janeiro a julho, o preço da tonelada de ureia, MAP e KCl subiram 58,4%, 90,3% e 52,4%, respectivamente em 2021 em relação ao mesmo período de 2020 (OSAKI, 2021). Dentre as causas desses aumentos citam-se a alta do dólar frente ao real acompanhado do aumento nos custos internacionais de matérias-primas e transporte, contribuindo para a elevação dos preços dos insumos no Brasil (GOTTEMS, 2021).

Além destes fatores, outro grande desafio foi imposto pela pandemia da COVID-19 afetando o mercado internacional de fertilizantes, especialmente para o Brasil. De acordo com Bezzon (2021), um exemplo da interferência da COVID-19 nos preços dos fertilizantes foi o fechamento temporário do porto chinês de Ningbo-Zhoushan, em agosto de 2021, devido ao surgimento de novos casos de corona vírus. O fechamento desse porto motivou o fechamento de outros portos afetando, desta maneira, as exportações e desembarques de fertilizantes na China, cujos reflexos são sentidos na elevação de tarifas de fretes marítimos, elevando, ainda mais, os preços.

Se por um lado a crise econômica da COVID-19, refletiu negativamente no que diz respeito aos preços dos fertilizantes para o Brasil aumentando os custos de produção, por outro lado, houve pouco efeito em relação às exportações brasileiras, justificado pela forte

desvalorização do real perante o dólar. Portanto, a alta taxa de câmbio teve um papel importante na potencialização das exportações a partir da safra 2019/2020. (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020; SCHNEIDER et al., 2020). Um fato que evidencia essa questão se dá pelo recorde de exportação de café no Brasil em 2020, que alcançou 43,9 milhões de sacas de 60 quilos de café verde favorecida também pela maior produção já registrada no Brasil (CONAB, 2022). Nos sete primeiros meses de 2021, o Brasil importou 78% de sulfato de amônio e 43,5% de NP, além de 6% do MAP (BEZZON, 2021).

Considerando que os cafeeiros exigem grandes investimentos iniciais e que os gastos com adubação para implantar a cultura são altos, o uso racional deste insumo torna-se necessário um planejamento eficaz (ARAÚJO et al., 2020), a fim de garantir o estabelecimento da cultura nutricionalmente adequada e economicamente eficiente.

Com relação aos custos de implantação da lavoura cafeeira, estes variam em relação à região, ao tipo de lavoura, ao grau de mecanização, a quantidade de insumos utilizados, ao espaçamento etc. (BRIOSCHI et al., 2019). Dentre os itens considerados na determinação destes custos, os fertilizantes, que possuem participação de cerca de 18,45% nos custos operacionais, enquadram-se nos custos variáveis uma vez que, por definição, são os que variam de acordo com o volume de produto produzido (FEHR et al., 2012; CONAB 2017).

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. H. V., CRUZ, R. de S., PORTO, D. W. B., MACHADO, C. M. M., FRANÇA, A. C. Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 50, 2020, e-ISSN 1983-4063, Doi: 10.1590/1983-40632020v5058646.
- AZEVEDO JUNIOR, R. R., SANTOS, J. B. dos., BARETTA, D., RAMOS, A. C., OTTO, R., FAÇANHA, A. R., CARDOSO, E. J. B. N. Discriminating Organic and Conventional Coffee Production Systems Through Soil and Foliar Analysis Using Multivariate Approach. *Communications in soil Science and plant analysis*, 2019, ISSN: 0010-3624. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1581795>.
- BATAGLIA, O. C., QUAGGIO, J. A., SANTOS, W. R. dos., ABREU, M. F. de. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. *Bragantia*, v. 63, n. 2, p. 253-263, 2004.
- BATAGLIA, O. C., SANTOS, W. R. dos. Diagnose Foliar - Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. *Informações Agronômicas*, 8p, Nº 96, 2001.
- BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, **University of Natal**, South Africa, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, I).
- BEZZON, L. Paralisação de porto na China acende um alerta no mercado internacional de fertilizantes, **StoneX**. Disponível em <https://www.mercadosagricolas.com.br/fertilizantes/paralisacao-de-porto-na-china-acende-um-alerta-no-mercado-internacional-de-fertilizantes/>, 2021. Acessado em 15/09/2021.
- BRINATE, S. V. B., MARTINS, L. D., ROSA, G. N. G. P., CUNHA, V. V., SOTERO, A. de. J. AMARAL, J. F. T. do., JESUS JUNIOR, W. C. de., TOMAZ, M. A. Copeer can influences growth control and production in arabica coffee trees. *Australian Journal of Crop Science*, v. 9, n. 7, p. 678-683, 2015. [http://www.cropj.com/brinate\\_9\\_7\\_2015\\_678\\_683.pdf](http://www.cropj.com/brinate_9_7_2015_678_683.pdf).
- BRIOSCHI, P. F., COSTA, A. F. da., GALEANO, E. A. V., BÁRBARA, W. P. de. F. (2019). Análise de custo e viabilidade econômica do café arábica em Venda Nova do Imigrante, ES. **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia**, (20), 127-136. Recuperado de <https://periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia/article/view/491>.
- CAMARGO, A. P. de., CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, p. 65-68, 2001.
- CANAL RURAL – Sanções contra a Bielorrússia devem afetar mercado brasileiro de fertilizantes, 2021. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/rural-noticias/sancoes-contra-a-bielorrussia-devem-afetar-mercado-brasileiro-de-fertilizantes/>. Acessado em 10/12/2021.

CATANI, R. A., PELEGRINO, D., BERGAMIN FILHO, H., GLÓRIA, N. A. DA., GRANER, C. A. F. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelo cafeeiro *Coffea arabica* variedade mundo novo (B. Rodr) Choussy aos dez anos de idade. **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, 14p, 1965.

CATARINO, A. de. M., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., SANTOS, L. S. D., VASCO, G. B., SOUZA, P. E. de. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 486-491, 2016.

CHAVES, E., POZZA, E. A., NETO, H. S., VASCO, G. B., DORNELAS, G. A., POZZA, A. A. A., SCALCO, M. S. Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. **Journal of Phytopathology**, 166:613-622, 2018. Doi: 10.1111/jph.12723.

CLEMENTE, F. M. V. T. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio: primeiro ano. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47- 57, 2008.

CLEMENTE, F. M. V. T. Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura. 2005, 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras.

CLEMENTE, J. M., MARTINEZ, H. E. P., ALVES, L. C., FINGER, F. L., CECON, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 297-305, 2015.

CLEMENTE, J. M., Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida de *Coffea arabica* L. 2010, 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do café: Análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2008 a 2017 – Compêndio de estudos CONAB, p. 1-57, v. 12, 2017, ISSN: 2448-3710.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Café – Primeiro levantamento safra 2022, v. 9. n. 1, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Preços Agropecuários. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta>, 2021.

DALACORT, R., STEVAN, S. L. Mobile helical capacitive sensor for the dynamic identification of obstructions in the distribution of solid mineral fertilizers. **Sensors**, 2018.

DEUS, J. A. L. de., NEVES, J. C. L., CORRÊA, M. C. de. M., PARENT, S. E., NATALE, W., PARENT, L. E. Balance design for robust foliar nutrient diagnosis of “Prata” banana (*Musa* spp.). **Scientific Reports**, 2018, 8:15040, Doi:10.1038/s41598-018-32328-y.

DIAS, J. R. M., TUCCI, C. A. F., WADT, P. G. S., PARTELLI, F. L., PEREZ, D. V., ESPINDULA, M. C., TOMIO, D. B. Antecipação do período de diagnose foliar em laranja

‘Pêra’ no Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 7, p. 757-764, 2013. Doi: 10.1590/S0100-204X2013000700008.

EPSTEIN, E., BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas. Princípios e perspectivas*. **2. Ed. Londrina: Editora Planta**, 2006. 403 p.

FANCELLI, A. L. (2008) Influência da nutrição na ocorrência de doenças de plantas. *Informações Agronômicas*, 122:23-24.

FAQUIN, V. *Diagnose do estado nutricional das plantas*. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEP, 2002.

FARNEZI, M. M. d. M., Silva, E. d. B., Tácito, P., Guimarães, G. *Diagnose nutricional de cafeeiros da região do alto Jequitinhonha (MG): Normas DRIS e faixas críticas de nutrientes*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 969-978, 2009.

FEHR, L. C. F. de A., DUARTE, S. L., TAVARES, M., DOS REIS, E. A. (2012). Análise das variáveis de custos do café arábica nas principais regiões produtoras do Brasil. *Reuna*, 17(2), 97-115. Recuperado de <https://revistas.una.br/reuna/article/view/447>.

FERREIRA, A. D. et al. Absorção, translocação e eficiência no uso dos macronutrientes em cafeeiros (*Coffea arabica*) enxertados em Aboatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). **Interciencia**, Caracas, v. 35, p. 1-5, 2010.

FONTES, P. C. R. *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa, MG: UFV, 2001. 122p.

FUNDAÇÃO PROCAFÉ, Padrões referenciais. Disponível em: <<http://www.fundacaoprocafe.com.br/laboratorio/solos-e-folhas/padroes-referenciais>>. Acesso em: 15 out. 2018.

GONÇALVES, S. M., GUIMARÃES, R. J., CARVALHO, J. G. de., BOTREL, E. P. Faixas críticas de teores de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 3, p. 743-752. 2009.

GONTIJO, R. A. N., Carvalho, J. G. de., Guimarães, R. J., Mendes, A. N. G., Andrade, W. E. d. B. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, p. 135-141, 2007.

GOTTEMS, L. Brasil apresenta aumento de preço dos insumos agrícolas. **Global Crop Protection. Agropages**, 2021. Disponível em: <https://globalcropprotection.com/noticias/mercado/brasil-apresenta-aumento-de-preco-nos-insumos-agricolas/>.

GUARÇONI, A., FAVARATO, L. F., STIPP, S. R., CASARIN, V. Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável. *Incaper em Revista*, Vitória, v. 10, p. 22-42, ISSN 2179-5304, 2019.

GUIDO, Z., KNUDSON, C., RHINEY, K. Will COVID-19 be one shock too many for smallholder coffee livelihoods? **Elsevier**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.worddev.2020.105172>.

GUIMARÃES, P. T. G., GARCIA, A. W. R., ALVAREZ, V. H., PREZOTTI, L. C., VIANA, A. S., MIGUEL, A. E., MALAVOLTA, E., CORRÊA, J. B., LOPES, A. S., NOGUEIRA, F. D., MONTEIRO, A. V. C., OLIVEIRA, J. A. de. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação: cafeeiro**, 359p, 1999.

GUIMARÃES, P. T. G., NOGUEIRA, F. D., MALTA, M. T., DIAS, K. G. de L., REIS, T. H. P. Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, v.32, p.39-51, 2011.

JEYALAKSHMI, S., RADHA, R. A review on diagnosis of nutriente deficiency symptoms in plant leaf image using digital image processing. **Ictact Journal on Image and vídeo processing**, v. 7, 2017. Doi:10.21917/ijivp.2017.0216.

JUNIOR, M. P. B., POZZA, E. A., SOUZA, P. E. de., SILVA, M. de. L. O., POZZA, A. A. A., GUIMARÃES, R. J. Irrigação por gotejamento e manejo do fósforo no progresso da ferrugem do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 187-196, 2017.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 431p. 2012.

LIMA, L. M. de., POZZA, E. A., TORRES, H. N., POZZA, A. A. A., SALGADO, M., PFENNING, L. H. Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, 2010, 35, 4, 223-228.

LIMA, O. F. de. Guia de Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais em Sorgo-Sacarino. Circular Técnica 31, 14 p, 2014.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, **Editora Agronômica Ceres**, 2006. 638 p.

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

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 201 p.

MALISZEWSKI, E. AGROLINK - Café gera 8,4 milhões de empregos. Disponível em [https://www.agrolink.com.br/noticias/cafe-gera-8-4-milhoes\\_deempregos\\_437875.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/cafe-gera-8-4-milhoes_deempregos_437875.html). Acessado em 26/04/2021, 2020.

MANCHING, H. C., BALINT-KURTI, P. J & STAPLETON, A. E (2014) Southern leaf blight disease severity is correlated with decreased maize leaf epiphytic bacterial species richness and the phyllosphere bacterial diversity decline is enhanced by nitrogen fertilization. **Frontiers in Plant Science**, 5:1-8.

MARTINEZ, H. E. P., CARVALHO, J. G., SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-168.

MARTINEZ, H. E. P., CLEMENTE, J. M., LACERDA, J. S. de., NEVES, Y. P., PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-848, 2014.

MARTINEZ, H. E. P., NEVES, Y. P., ZABINI, A. V. Produção integrada do cafeeiro: diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). *Produção Integrada de Café*. Viçosa: UFV/DFP, 2003, p. 397-441.

MARTINEZ, H. E. P., SOUZA, R. B. de., ALVAREZ, V. H., MENEZES, J. F., NEVES, Y. P., OLIVEIRA, J. A. de., ALVARENGA, A. P., GUIMARÃES, P. T. G. Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé. Viçosa, 2004. 60p. (**Boletim Técnico, 72**).

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Eds.). *Café Arábica do Plantio a Colheita*, Viçosa, MG: **Universidade Federal de Viçosa**, 2015.p.64-103.

MATIELLO, J. B. Gosto do meu cafezal. Rio de Janeiro, **Globo**, 1997. 139p.

MENDONÇA, L. P. Curvas de resposta potencial e faixas de suficiência nutricional para café arábica em Minas Gerais. Dissertação (mestrado). **Universidade Federal de Viçosa**, 67 p, 2016.

MENEZES, J. F. S. Avaliação do estado nutricional de cafeeiros de Minas Gerais. Tese (doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2001, 199p.

MESQUITA, C. M. de., REZENDE, J. E. de., CARVALHO, J. S., JÚNIOR, M. A. F., MORAES, N. C., DIAS, P. T., CARVALHO, R. M. de., ARAÚJO, W. G. de. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. EMATER-MG, 72 p, 2016.

MILLS, H. A., JONES JUNIOR, J. B. Plant analysis handbook II. **2. ed. Athens: Micro-Macro-Publishers**, 1996. 422 p.

MOHAMED, M. H., GADO, E. A. M., EL-DEEB, S. H., MOSTAFA, M. H. (2014) Effect of nitrate levels as a fertilizer or as a fungal nutrition on the aggressiveness of *Rhizoctonia solani* on faba bean. **European Journal of Advanced Research in Biological and Life Sciences**, 2:1-13.

MOHAMMED, A & JAMBO, A. Importance and Characterization of Coffee Berry Disease (Colletotrichum kahawae) in Borena and Guji Zones, Southern Ethiopia. **Journal of Plant Pathology & Microbiology**, 6:1-6, 2015.

NOWAKI, R. H. D., PARENT, S. E., FILHO, A. B. C., ROZANE, D. E., MENESES, N. B., SILVA, J. A. dos. S. da., NATALE, W., PARENT, L. E. Phosphorus over-fertilization and

nutrient imbalance of irrigated tomato crops in Brazil. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1-11, 2017. Doi: 10.3389/fpls.2017.00825.

OIC – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. ICO Coffee Development Report 2019 - Growing for Prosperity economic viability as the catalyst for a sustainable coffee sector, 15p, 2019.

OIC – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. Impact of COVID-19 on the global coffee sector: Survey of ICO exporting members. *Coffee Break Series* Nº 3, 13p, 2020.

OIC – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. Relatório sobre o mercado de Café, 8p, 2021.

OIC – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. Survey on the impact of low coffee prices on exporting countries, 21p, 2019.

OSAKI, M. Alto preço de fertilizante desafia o produtor. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA)**. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniaoc-ep-cao/alto-preco-de-fertilizante-desafia-produtor.aspx>, 2021. Acessado em 15/09/2021.

PARTELLI, F. L., DIAS, J. R. M., VIEIRA, H. D., WADT, P. G. S., JÚNIOR, D. P. Avaliação nutricional do feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:858-866, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300017>.

PARTELLI, F. L., GOMES, W. R., OLIVEIRA, M. G. de., DIAS, J. R. M., ESPINDULA, M. C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. *Coffee Science*, v. 11, n. 4, p. 544-554, 2016.

PARTELLI, F. L., VIEIRA, H. D., CARVALHO, V. B. de., MOURÃO FILHO, F. de. A. A. Diagnosis and Recommendation Integrated System Norms, Sufficiency Range, and Nutritional Evaluation of Arabian Coffee in Two Sampling Periods. *Journal of Plant Nutrition*, 30:10, p. 1651-1667, 2007

PINTO, C. G., GUIMARÃES, R. J., VILLELA, G. M., SCALCO, M. S. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano após o plantio. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 530-538, 2013.

POZZA, A. A. A., PRIETO MARTINEZ, H. E., CAIXETA, S. L., CARDOSO, A. A., ZAMBOLIM, L., POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2001, 36, 1, 53-60.

RAGOZO, C. R. A., LEONEL, S., TECCHIO, M. A. Nutritional balance and yield for green manure orange trees. *Ciência Rural*, v. 44, n. 4, p. 616-621, 2014. ISSN 0103-8478.

RAVEN, PETER H.; EICHHORN, SUSAN E.; EVERT, RAY F. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 8a edição. 2016.

RESENDE, T. B. Crescimento e produtividade de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de N, P e K. 2019. 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

REUTER, D. J., ROBINSON, J. B. Plant analysis: an interpretation manual. 2. ed. Melbourne: **Inkata Press**, 1988. 218 p.

ROSSETTI, L. Alta dos fertilizantes e aproximação da florada. Como ficará a adubação dos cafezais da safra 2022/2023 no Brasil? **StoneX**. Disponível em: <https://www.mercadosagricolas.com.br/cafe/alta-dos-fertilizantes-e-aproximacao-da-florada-como-ficara-a-adubacao-dos-cafezais-da-safra-2022-23-no-brasil/>, acessado em 20/09/2021, 2021.

SAMORA, R. Brasil recebe sinal de maior oferta de potássio do Canadá, diz ministério. **CNN Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-recebe-sinal-de-maior-oferta-de-potassio-do-canada-diz-ministerio/>.

SANTOS, F. da S., SOUZA, P. E. de., POZZA, E. A., MIRANDA, J. C., CARVALHO, E. A., FERNANDES, L. H. M., POZZA, A. A. A. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 7, p. 783-791, 2008.

SHARF R., HISAMUDDIN., ABBASI & AKHTAR, A. (2014) Management of root-knot disease in *Phaseolus vulgaris* using potassium fertilizer and biocontrol agents. **Journal of Plant Pathology & Microbiology**, 5:1-5.

SCHNEIDER, S., CASSOL, A., LEONARDI, A., MARINHO, M. de. M. Os efeitos da pandemia da Covid-19 sobre o agronegócio e a alimentação. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 100, 2020. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.011>.

SILVA, F. J., ASSIS, G. A., CARVALHO, F. J., VIEIRA, B. S., SANTOS, L. C. Adubação nitrogenada e potássica e sua relação com a incidência de Cercosporiose e Ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 3, p. 29-35, 2020.

SILVA, M. G., POZZA, E. A., VASCO, G. B., FREITAS, A. S., CHAVES, E., PAULA, P. V. A. A., DORNELAS, G. A., ALVES, M. C., SILVA, M. L. O., POZZA, A. A. A. Geostatistical analysis of coffee leaf rust in irrigated crops and its relation to plant nutrition and soil fertility. **Phytoparasitica**, p. 117-134, 2019.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.9-16, 2011.

SOUSA, J. S. Análise foliar para ajuste da recomendação de adubação do cafeeiro. 2016, 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

SOUSA, J. S., NEVES, J. C. L., MARTINEZ, H. E. P., ALVAREZ V, V. H. Relationship between Coffee Leaf Analysis and Soil Chemical Analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2018, <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170109>.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre, ARTMED, 719p, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 954 p. 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VALARINI, V., BATAGLIA, O. C., FAZUOLI, L. C. 2005. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, 64:661–72. Doi:10.1590/S0006-87052005000400016.

VIECELLI, C. A. Guia de deficiências nutricionais em plantas. **PUCPR** Campus Toledo/Grupo Marista, 112 p, 1ª ed, 2017.

VILELA, M. E. Nitrogen, phosphorus and potassium in coffee crop in vegetative stage and on brown eye spot management. 2020, 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras.

VILLELA, G. M., GUIMARÃES, R. J., PINTO, C. G., SCALCO, M. S., SALES JUNIOR, J. C., CAMILO, W. R., ALVES, G. Faixas Críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados em formação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 271-279. 2015.

ZABINI, A. V. Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar. 2010. 5 – 17 p. Tese de Doutorado (Fitotecnia) – **Universidade Federal de Viçosa**. Viçosa, 2010.

## **CAPÍTULO 2 - LAVOURAS DE CAFÉ IMPLANTADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO: EFEITOS NA PRIMEIRA PRODUÇÃO E TEORES FOLIARES DE N, P e K**

### **RESUMO**

O alto custo dos fertilizantes, atualmente, reflete em maiores custos de produção e pressiona o produtor rural a ser cada vez mais eficiente no uso destes insumos indispensáveis para a produção vegetal. Estabelecer o melhor nível de adubação otimiza o uso destes insumos. O objetivo deste trabalho foi estabelecer o melhor nível de adubação com NPK, bem como as doses, além de estabelecer as faixas e/ou níveis críticos de cafeeiros em formação em condições de sequeiro, na região de Lavras/MG. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras-MG, de novembro de 2018 a maio de 2021. O delineamento foi em blocos casualizados, com seis tratamentos, quatro repetições e subdivisão das parcelas no tempo. Os níveis de adubação foram 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão que é 100%. Em maio de 2021, foi obtida a produtividade de café beneficiado ( $\text{sc ha}^{-1}$ ) que foi significativo sob o efeito dos níveis de adubação. O nível de adubação com NPK onde se obteve a máxima produtividade foi 119,06%, ou seja, apenas 1,80% a mais em produtividade em relação a alcançada com a adubação padrão indicada, cujas doses foram  $239,48 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $177,8 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . A adubação mínima necessária para lavouras de café em sequeiro, no segundo ano de formação, após o transplântio, sem prejuízos superiores a 10% de produtividade é de  $149,7 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $111,15 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Foi possível determinar a faixa crítica dos teores foliares de nitrogênio entre  $30,30 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $32,43 \text{ g.kg}^{-1}$ .

**Palavras-Chave:** Nitrogênio. Fósforo. Potássio. Produtividade. Formação

## ABSTRACT

The high cost of fertilizers currently culminates in higher production costs and pressures the rural producer to be increasingly efficient in the use of this essential input for vegetable production. Establishing the best level of fertilization as well as the doses optimize the use of this input. Therefore, the objectives of this work were to establish the best level of fertilization with NPK as well as the doses in addition to establishing ranges and/or critical levels of coffee trees in formation under rainfed conditions in the region of Lavras/MG. The experiment was conducted in the Coffee Culture Sector of the Federal University of Lavras-MG from November 2018 to May 2021. The design was in randomized blocks, with six treatments, four replications and subdivision of plots in time. The fertilization levels were 10%, 40%, 70%, 100%, 130% and 160% whose standard fertilization is 100%. In May 2021, the productivity of processed coffee (sc ha<sup>-1</sup>) was obtained, which was significant under the effect of fertilization levels. The best level of fertilization with NPK where the maximum productivity was obtained was 119.06%, that is, 1.80% more than the standard fertilization indicated, whose doses were 239.48 kg ha<sup>-1</sup> of N and 177.8 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The minimum fertilization required for rainfed coffee plantations in the second year of formation after transplanting, without loss of more than 10% of productivity, is: 149.7 kg ha<sup>-1</sup> of N and 111.15 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, and the critical nitrogen ranges were: 30.30 g.kg<sup>-1</sup> and 32.43 g.kg<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Nitrogen. Phosphorus. Potassium. Productivity. Formation

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades socioeconômicas mais importantes do Brasil, uma vez que o país é o maior produtor e exportador de café, além de ser o segundo maior consumidor e contribuir com milhões de empregos, destacando também o valor social. Esta importância é ainda maior para o estado de Minas Gerais que atualmente é responsável por cerca de 46,40% da produção nacional, especialmente o café arábica, confirmado, mais uma vez, como maior Estado produtor de café, no Brasil, seguido pelo Espírito Santo com cerca de 29,69% (CONAB, 2022). Estima-se, para a safra de 2022, uma produção de 55,7 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, sendo 38,7 milhões de café arábica, já considerada a queda sofrida em função das condições climáticas adversas que atingiram importantes regiões cafeeiras no Brasil, em 2021 (CONAB, 2022).

No primeiro ano fenológico, o cafeeiro cresce vegetativamente. Nesta fase, é necessário que as plantas estejam bem nutridas para que consigam se estabelecer e se preparar para atender a demanda nutricional ao entrar na fase reprodutiva sem que afete a produtividade (CAMARGO & CAMARGO, 2001). Importante lembrar que o café é uma cultura perene, com vida útil econômica média de cerca de quinze a vinte anos e, portanto, a fase inicial após a implantação é determinante para o sucesso de futuras produções (CLEMENTE et al., 2008; Vilela et al., 2019).

Para que a lavoura cafeeira seja bem estabelecida no campo, a adubação suficiente e equilibrada é fator importante. No entanto, o alto preço dos fertilizantes e a tendência de alta em nível internacional, obriga os cafeicultores a tomar decisões cada vez mais adequadas com relação ao nível de adubação a utilizar para a máxima produtividade econômica. Há o risco de se utilizar níveis abaixo ou acima da dose recomendada que, no primeiro caso, limita a produtividade e quando em excesso, além de prejudicar a produtividade pode elevar os custos de produção de forma desnecessária. Assim, os cafeicultores em boas condições financeiras (especialmente com preços mais altos do café) tendem a fazer adubações além do necessário, mas em condições de crise financeira, preza por quitar suas obrigações com fornecedores e financiadores, e tende a diminuir as adubações diminuindo os investimentos com fertilizantes (Vilela, 2020), sendo que esses insumos são responsáveis por 18,45% do custo operacional total (Conab, 2017).

Dessa forma, são raros os trabalhos que avaliam as adubações de forma técnica e econômica. A carência dessas informações fica ainda maior com a evolução das tecnologias (novas cultivares) e das práticas de manejo adotadas na cafeicultura, pois aumentam a

produtividade das lavouras, sendo necessário ajustar as recomendações de adubação para o cafeeiro em formação (Vilela, 2020).

A análise foliar, como método de diagnóstico nutricional das plantas, é baseado no pressuposto de que, dentro de certos limites, exista uma relação entre o suprimento de nutrientes, pelo solo ou adubo, e o teor foliar dos nutrientes, e que aumentos ou decréscimos nestes teores se relacionam com produtividade mais alta ou baixa, respectivamente (Bataglia; Santos, 2001). Este método é, portanto, bastante difundido e amplamente utilizado anualmente no monitoramento do estado nutricional de lavouras cafeeiras em fase de produção possibilitando adubações suficientes e equilibradas.

Se realizada corretamente de acordo com protocolo estabelecido, é possível detectar deficiências ou excessos de nutrientes minerais nos cafeeiros pela análise foliar, utilizando os resultados de maneira complementar aos resultados de análise de solo, como base nos programas de gestão de nutrientes (Deus et al., 2018; Nowaki et al., 2017; Ragozo et al., 2014). Para tanto, os resultados das análises foliares são comparados às faixas críticas ou níveis críticos dos nutrientes estabelecidos previamente que correspondem aos teores de nutrientes em plantas onde os mesmos se encontram em quantidades e proporções capazes de proporcionar alta produtividade (MENDONÇA, 2016), ou seja, padrões adequados.

Diante dos riscos atuais, no que diz respeito aos altos preços dos fertilizantes, que refletem no aumento dos custos de produção; do surgimento de novas cultivares, cada vez mais produtivas, e da importância em se fazer monitoramento nutricional de lavouras cafeeiras em fase de formação por meio de análises foliares, é necessário estabelecer faixas críticas e/ou níveis críticos visando aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes visando diminuir os custos de produção, aumentar a produtividade e minimizar os riscos da atividade.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer o melhor nível de adubação com NPK e as faixas e/ou níveis críticos de cafeeiros em formação em condições de sequeiro na região de Lavras/MG.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido na área experimental de 0,11 hectares no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), situada no município de Lavras/MG, cuja altitude corresponde a 970 metros, latitude 21°13'33.2" Sul e longitude 44°58'18.7" Oeste.

As médias durante o ano, de temperatura média, máxima e mínima do ar, anualmente são de 19,4; 21,6 e 14,4°C, respectivamente. O clima é classificado como Cwa, mas possui características de Cwb com duas estações distintas que correspondem a seca no período de abril a setembro e chuva de outubro a março, segundo classificação de Köppen (Sá Júnior et al., 2012). Já o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, de textura argilosa (Curi et al., 2017).

Em agosto de 2018, foram coletadas amostras de solo na área experimental de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade para realização de análise de solo cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Característica                             | 00-20 cm | 20-40 cm | Característica                           | 00-20 cm | 20-40 cm |
|--|----------|----------|--|----------|----------|
| pH (H <sub>2</sub> O)                      | 6,1      | 5,6      | t (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ) | 4,81     | 2,91     |
| P-rem (mg. L <sup>-1</sup> )               | 24,88    | 24,21    | V (%)                                    | 64,46    | 48,08    |
| P (mg. dm <sup>-3</sup> )                  | 19,55    | 4,33     | m (%)                                    | 1,04     | 2,41     |
| K (mg. dm <sup>-3</sup> )                  | 108,04   | 61,18    | MO (dag.kg <sup>-1</sup> )               | 1,90     | 1,54     |
| Ca (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 3,67     | 2,24     | Zn (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 4,52     | 3,50     |
| Mg (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 0,81     | 0,44     | Fe (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 38,18    | 37,84    |
| Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 0,05     | 0,07     | Mn (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 23,07    | 11,65    |
| H+Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> ) | 2,62     | 3,06     | Cu (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 3,65     | 3,77     |
| T (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 7,38     | 5,90     | B (mg. dm <sup>-3</sup> )                | 0,12     | 0,12     |
| SB (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 4,76     | 2,84     | S (mg. dm <sup>-3</sup> )                | 18,16    | 76,98    |

pH = Potencial hidrogeniônico; P-rem = Fósforo remanescente; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H+Al = Acidez Potencial; T = CTC potencial; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; V% = Saturação por bases; m% = saturação por alumínio; MO = Matéria Orgânica; Zn = Zinco; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; B = Boro e S = Enxofre.

Fonte: Da autora (2022)

Com base nos resultados da análise de solo, em setembro de 2018, foi realizada a calagem em área total aplicando-se 750 kg ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 80%, 38,5% de CaO e 10,9% de MgO de forma a manter a relação de Ca:Mg igual a 4:1, incorporando-o a 30 cm de

profundidade com uma aração e duas gradagens para correção da acidez, conforme recomendações de Guimarães et al. (1999).

## 2.2 Caracterização e manejo do experimento

As parcelas foram constituídas por 24 plantas, sendo três fileiras (duas bordaduras) de 8 plantas (APÊNDICE A), cuja área útil correspondeu a 6 plantas da fileira central, totalizando 576 plantas em 0,11 hectares. As bordaduras receberam os mesmos tratamentos das parcelas.

O transplântio foi realizado no dia 11 de dezembro de 2018, iniciando-se com o sulcamento do solo a 30 cm de profundidade e 50 cm de largura. Em seguida, aplicando-se a dose de 40g de calcário, por metro linear de sulco (calagem complementar a convencional), incorporado ao solo de maneira homogênea por meio de subsolador de 3 hastes. Preparados os sulcos, as covetas foram abertas com enxadão nas dimensões de 40 x 40 x 40 cm, e em seguida realizou-se o transplântio das mudas, que foram previamente imersas em água (em caixa d'água) para melhorar o “pegamento em campo”.

As mudas de *Coffea arabica* L. utilizadas foram da cultivar IAC 379/19 do grupo Mundo Novo e foram transplantadas no espaçamento de 3,5 metros, entre linhas, e 0,55 metros, entre as plantas, na linha.

No transplântio manual, as mudas foram distribuídas ao lado das covetas e plantadas após cortado o fundo dos saquinhos (para evitar raízes defeituosas – “pião torto”) e retirada cuidadosa do recipiente de polietileno para o transplântio, propriamente dito.

No transplântio (instalação do experimento) foram aplicadas as doses padrão (independentemente do tratamento proposto) de N e K<sub>2</sub>O, conforme análise de solo e recomendações de Guimarães et al. (1999).

No caso do fósforo, aplicou-se metade da dose padrão em dezembro de 2018 e a outra metade no início do ano agrícola seguinte (novembro de 2019), variando-se as doses conforme os tratamentos (portanto, variação aplicada somente nos 50% restantes da dose de fósforo). Assim, as doses por ocasião do transplântio em campo (“adubação padrão - 100%”) foram de: 40g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta (na coveta), 20g por planta/ano de K<sub>2</sub>O e 5g de N por planta/aplicação em cobertura em duas aplicações (janeiro/2019 e fevereiro/2019).

Em novembro de 2019, quando se começou a variação de doses, no caso do fósforo, já se tinha aplicado 50% da dose no transplântio (40g por planta), sendo possível variar as doses (tratamentos) somente no segundo parcelamento de fósforo. Assim, os tratamentos ficaram com as seguintes doses de fósforo (dose de transplântio, mais dose do parcelamento dos outros 50%):

nível 10% da adubação (55% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 40% da adubação (70% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 60% da adubação (80% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 100% da adubação (100% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 130% da adubação (115% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 160% da adubação (130% da dose total de  $P_2O_5$ ).

Em novembro de 2019, além da aplicação de diferentes níveis de adubação com fósforo (superfosfato simples – 20% de  $P_2O_5$ ) aplicou-se também o nitrogênio (ureia - 45% de N), e o potássio (cloreto de potássio - 60% de  $K_2O$ ), que ficaram com as seguintes doses de acordo com análise do solo e recomendações de Guimarães et al. (1999) apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de ureia e cloreto de potássio, bem como de nitrogênio e  $K_2O$  aplicados por planta para cada nível de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis de adubação | Ureia<br>g/planta/aplicação * | N<br>g/planta/aplicação | Cloreto de Potássio<br>g/planta*/aplicação | $K_2O$<br>g/planta/aplicação |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------|--|------------------------------|
| 10%                | 2,22                          | 1                       | 0,55                                       | 0,33                         |
| 40%                | 8,88                          | 4                       | 2,22                                       | 1,33                         |
| 70%                | 15,55                         | 7                       | 3,88                                       | 2,33                         |
| 100%               | 22,22                         | 10                      | 5,55                                       | 3,33                         |
| 130%               | 28,88                         | 13                      | 7,21                                       | 4,33                         |
| 160%               | 35,55                         | 16                      | 8,88                                       | 5,33                         |

\* 3 aplicações (Novembro/Dezembro/Janeiro)

No segundo ano de formação (2020/2021) repetiu-se a adubação com N, P e K de acordo com cada tratamento e análise de solo, utilizando-se as mesmas fontes dos nutrientes: ureia (45% de N), superfosfato simples (20% de  $P_2O_5$ ) e cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ) com base na análise de solo realizada em 06/11/2020, do tratamento padrão (100%) (Tabela 3) considerando produtividade esperada < 20 sc/ha.

Tabela 3 – Caracterização química do solo nas parcelas da adubação padrão (T4 – 100%) na área experimental. UFLA, Lavras/MG, 2022. (Continua).

| Característica                  | 00-20 cm |
|---------------------------------|----------|
| pH ( $H_2O$ )                   | 5,4      |
| P disp ( $mg \cdot dm^{-3}$ )   | 33,7     |
| K ( $mg \cdot dm^{-3}$ )        | 87,1     |
| Ca ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )   | 3,1      |
| Mg ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )   | 0,5      |
| Al ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )   | 0,0      |
| H+Al ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ ) | 3,6      |
| T ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )    | 7,42     |
| SB ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )   | 3,82     |
| t ( $cmol_c \cdot dm^{-3}$ )    | 3,82     |

|              |       |
|--------------|-------|
| V (%)        | 51,48 |
| m (%)        | 0,00  |
| Ca/T (%)     | 41,78 |
| Mg/T (%)     | 6,74  |
| K/T (%)      | 2,96  |
| (H+Al)/T (%) | 48,52 |

pH = Potencial hidrogeniônico; Pdisp = Fósforo disponível; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H+Al = Acidez Potencial; T = CTC potencial; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; V% = Saturação por bases; m% = saturação por alumínio; Ca/T = Participação do Ca na CTC potencial; Mg/T = Participação do Mg na CTC potencial; K/T = Participação do K na CTC potencial; (H+Al)/T = Participação da Acidez Potencial na CTC potencial. (Conclusão)

Fonte: Da autora (2022)

O manejo de plantas espontâneas incluiu aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes registrados e indicados para as plantas-alvo predominantes no local, além de capinas manuais e roçadas mecânicas. Realizou-se monitoramento constante, e quando necessário, fez-se pulverizações regulares para controle de cercosporiose, ferrugem, phoma, pulgões, cochonilhas e ácaros com produtos registrados para a cultura do café (em doses recomendadas pelos fabricantes).

### 2.3 Avaliações

Coletou-se 30 folhas dos terceiros e quartos pares de folhas na área útil das parcelas, a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos no terço médio das plantas em quatro épocas. Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório 3Rlab em Lavras/MG para obtenção dos teores foliares de N, P e K expressos em  $\text{g kg}^{-1}$ . As épocas de coleta foram: E1 (09/06/2020 – junho – 546 dias após o transplântio das mudas para o campo), E2 (01/09/2020 - setembro – 630 dias após o transplântio das mudas para o campo), E3 (22/12/2020 - dezembro- 742 dias após o transplântio das mudas para o campo), E4 (08/03/2021 – março - 818 dias após o transplântio das mudas para o campo).

Avaliou-se a produtividade de café beneficiado obtida da colheita manual por derriça no pano, realizada em maio de 2021 medindo-se a produção de café da área útil de cada parcela experimental. Mediu-se o volume colhido (no momento da colheita) de cada parcela para em seguida, secar em terreiro e então obter os dados de volume e peso do café em coco, e após beneficiamento. Uma vez que as amostras saem do terreiro com diferentes umidades, as mesmas foram corrigidas para umidade de 11%. Com os dados obtidos, calculou-se a produtividade em sacas por hectare de cada parcela ( $\text{sc ha}^{-1}$ ).

## 2.4 Determinação de faixas/níveis críticos

Para determinação das faixas críticas adotou-se a metodologia por meio da derivação da equação de regressão da produtividade visando encontrar o nível máximo de adubação de NPK responsável pela obtenção da máxima produtividade. Em sequência, calculou-se 90% desse nível que corresponde a 90% da máxima produtividade (REUTER; ROBINSON, 1988). Este valor foi substituído no lugar de “y” na mesma equação da produtividade a fim de encontrar os termos “a”, “b” e “c” para obter o valor de “delta” ( $\Delta$ ) e assim utilizar a fórmula resolutive de Bhaskara.

Por fim, foram encontrados os limites inferior e superior dos níveis de adubação que permitiram obter 90% da produtividade máxima, estes então, foram substituídos nas equações de regressão dos teores foliares de macronutrientes que apontaram efeito significativo em relação aos níveis de adubação.

Assim, para obtenção das faixas críticas dos teores de macronutrientes foi feita associação da equação de regressão da produtividade com as equações de regressão dos teores foliares médios de macronutrientes significativos encontrados nas folhas das plantas durante o período de análises, como recomendado por Fontes (2001).

## 2.5 Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por seis tratamentos que corresponderam aos níveis de adubação: T1=10%, T2=40%, T3=70%, T4=100% (recomendação de Guimarães et al. (1999)), T5=130% e T6=160%, sendo que o tratamento 4 representa a dose padrão.

Os dados da produtividade e dos teores foliares dos nutrientes obtidos foram submetidos às pressuposições para verificação de normalidade, homocedasticidade e independência dos erros por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson, respectivamente, utilizando o software R (R Development Core Team, 2020), e foram atendidas.

Estes, portanto, foram submetidos à análise de variância com auxílio do software SISVAR versão 5.6, desenvolvido por Ferreira (2011), e para as diferenças significativas identificadas pelo teste F, foram ajustados modelos de regressão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de adubação influenciaram a produtividade, observando-se na Tabela 4, efeito significativo para níveis de adubação. O coeficiente de variação dos dados (13,75%), indica boa homogeneidade com menor dispersão em torno da média e adequada precisão experimental.

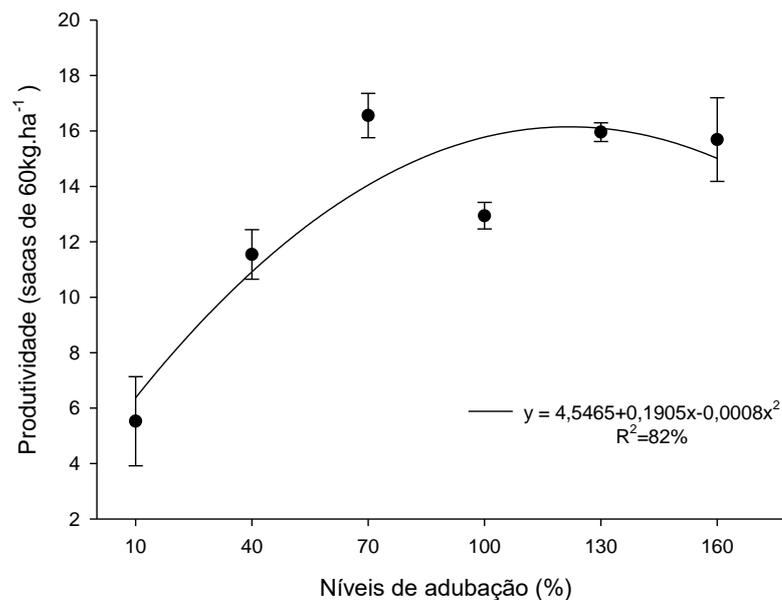
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para produtividade de lavoura cafeeira submetida a diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| FV                 | GL | Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> ) |                      |          |
|--------------------|----|--------------------------------------|----------------------|----------|
|                    |    | SQ                                   | QM                   | Pr>Fc    |
| Níveis de adubação | 5  | 346,42                               | 69,284*              | 0,000002 |
| Bloco              | 3  | 31,57                                | 10,523 <sup>ns</sup> | 0,050403 |
| Resíduos           | 15 | 48,16                                | 3,210                |          |
| Total              | 23 | 426,14                               |                      |          |
| <b>CV (%)</b>      | -  |                                      | 13,75                |          |

\* significativo à 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> – Não significativo.

Uma vez que a produtividade foi influenciada pelos níveis de adubação e, considerando que seja uma variável quantitativa, aplicou-se análise de regressão sendo possível o ajuste no modelo quadrático ( $R^2=82\%$ ) (Figura 2).

Figura 1 - Curva de regressão da produtividade de café beneficiado (sacas de 60kg ha<sup>-1</sup>) sob diferentes níveis de adubação com NPK. UFLA, Lavras/MG, 2022.



Fonte: Da autora (2022)

Por meio dessa análise, foi possível inferir que o nível de adubação que permitiu alcançar a produtividade máxima foi o de 119,06%, alcançando 15,88 sc/ha, ou seja apenas 1,80% a mais em produtividade que a alcançada com a adubação recomendada por Guimarães et al, (1999) (tratamento de 100% = 15,60 sc/ha). Ou seja, um aumento considerável no nível de adubação (19,06%) que correspondeu a um baixo retorno em produtividade (Figura 2).

Este resultado (nível recomendado de adubação) se assemelha ao obtido por Pinto et al. (2013) em que a produtividade máxima foi obtida com 118,33% da adubação padrão para lavouras não irrigadas, no entanto os autores trabalharam com lavouras fertirrigadas em seu primeiro ano, pós-transplante para o campo.

Resultados de níveis de adubação recomendados para lavouras fertirrigadas têm sido maiores que aqueles recomendados para lavouras sem irrigação. Um exemplo desta constatação foi observado por Assis, et al. (2018) que, trabalhando com níveis de adubação de lavoura cafeeira em produção encontraram melhor nível de 178,14% (em relação a adubação padrão) em lavoura fertirrigada da cultivar Topázio MG 1190. Outro exemplo com essa constatação foi citado por Assis et al. (2015) que, trabalhando com lavoura fertirrigada em produção, obtiveram o nível de 179,91% (em relação a adubação padrão) para produzir 82,72 sacas ha<sup>-1</sup>, dessa vez com a cultivar Catiguá MG-3. Estes valores são coerentes e podem ser explicados por maiores produtividades alcançadas em lavouras irrigadas (Assis et al., 2015), que por sua vez demandam maiores quantidades de nutrientes pela maior “força de dreno” da maior quantidade de frutos.

Após atingir o máximo de produtividade, à medida que se aumenta o nível de adubação, a produtividade tende a cair (“lei dos Incrementos Decrescentes” ou “Lei de Mitcherlich (1909)”), assim, é importante se calcular a faixa crítica dos teores foliares de nutrientes para se produzir a “máxima produtividade econômica”. Com os resultados obtidos na Figura 2 (produtividade máxima de 15,88 sc ha<sup>-1</sup>) e seguindo a proposta de Reuter e Robinson, (1988) em considerar 90% da maior produtividade para limitar a faixa ideal de adubação, procurou-se determinar a faixa crítica dos teores foliares.

Porém, deve-se considerar que, a resposta ao aumento das doses de nutrientes depende também da idade fenológica do cafeeiro e do uso ou não da irrigação, não sendo viável, portanto, extrapolar as conclusões obtidas na fase de formação para fase produtiva (Vilela et al., 2017), e nem de lavouras fertirrigadas para lavouras em sequeiro. Portanto, se buscou determinar a faixa crítica (ou de suficiência) nas condições locais por se tratar de lavoura não irrigada, em período de formação, e cultivar IAC 379/19 do grupo Mundo Novo, para maior precisão dos dados.

### 3.1 Determinação de faixa crítica e níveis críticos de macronutrientes

Ao analisar os teores de N e P obtidos por meio das análises foliares, percebe-se pela Tabela 5 que houve interação entre os níveis de adubação e as épocas avaliadas. Para os teores foliares de potássio, observou-se diferença significativa apenas para a época de avaliação, sem diferença para os níveis de adubação utilizados.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em diferentes épocas para cafeeiro submetido a diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| FV                       | GL | N (g kg <sup>-1</sup> ) | P (g kg <sup>-1</sup> ) | K (g kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                          |    | QM                      |                         |                         |
| Níveis de adubação       | 5  | 34,98*                  | 0,04 <sup>ns</sup>      | 9,14 <sup>ns</sup>      |
| Bloco                    | 3  | 9,00 <sup>ns</sup>      | 0,04 <sup>ns</sup>      | 12,55 <sup>ns</sup>     |
| Erro 1                   | 15 | 3,64                    | 0,07                    | 6,45                    |
| Época                    | 3  | 113,99*                 | 1,24*                   | 700,29*                 |
| Época*Níveis de adubação | 15 | 7,31*                   | 0,09*                   | 12,82 <sup>ns</sup>     |
| Erro 2                   | 54 | 3,69                    | 0,02                    | 8,47                    |
| Total corrigido          | 95 | -                       | -                       | -                       |
| CV1 (%)                  | -  | 6,62                    | 15,43                   | 8,78                    |
| CV2 (%)                  | -  | 6,67                    | 9,25                    | 10,06                   |

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo

De posse do valor que corresponde a 90% da produtividade máxima do cafeeiro (14,3 sc ha<sup>-1</sup>) e substituindo o y por este valor na equação de regressão da produtividade para encontrar o valor de “c” (c = 9,7435) e, posteriormente, o valor de “delta” da equação ( $\Delta = b^2 - 4ac$ ) que foi de 0,0051, encontrou-se os valores dos limites inferior e superior do nível de adubação que possibilita obter pelo menos 90% da produtividade máxima por meio da fórmula resolutive de Bhaskara:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Sendo:

$$a = - 0,0008$$

$$b = 0,1905$$

$$c = - 9,7435 \text{ (calculado pela equação)}$$

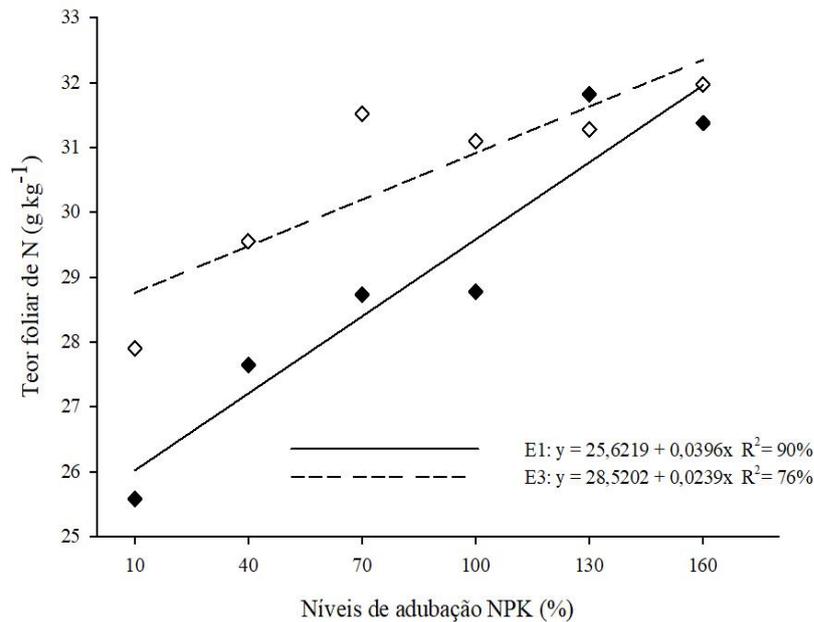
Os valores dos limites inferior e superior encontrados foram 74,43% e 163,69%, respectivamente. Estes foram substituídos nas equações de regressão dos teores foliares dos

nutrientes, cujas épocas foram significativas. O limite inferior é próximo e o superior é maior que os limites encontrados por Clemente et al., (2008) que foram de 71% e 112,25% da adubação padrão.

### 3.1.1 Determinação de faixa crítica e/ou níveis críticos de Nitrogênio

Diante do efeito significativo da interação dos níveis de adubação e época para os teores foliares de nitrogênio no cafeeiro e, considerando o efeito significativo dos níveis de adubação para a produtividade ( $\text{sc ha}^{-1}$ ), foi possível estabelecer faixas críticas para o nutriente em questão nas épocas E1(junho) e E3(dezembro). Apesar de haver significância na época E4 (março), não foi determinada a faixa crítica, pois o ajuste não foi adequado (Figura 3).

Figura 2 - Teores foliares de nitrogênio (N) em cafeeiro sob diferentes níveis de adubação com NPK. UFLA, Lavras/MG, 2022.



Fonte: Da autora (2022)

Assim, uma vez que o nível de adubação com NPK que correspondeu à máxima produtividade foi de 119,06% obtida pela derivação da equação de regressão elucidada na Figura 2, e que este valor quando substituído na mesma equação correspondeu a produtividade máxima de  $15,88 \text{ sc ha}^{-1}$ , calculou-se, em seguida, 90% desse valor encontrando-se o nível de 107,1% e produtividade de  $14,3 \text{ sc ha}^{-1}$ .

Destaca-se a proximidade do valor de 107,1% do valor padrão recomendado por Guimarães et al. (1999) que neste trabalho diz respeito ao nível de 100%, além disso, o valor é semelhante ao encontrado por Pinto et al. (2013) que foi de 106,5%.

Como se pode notar pela Figura 3, houve tendência linear crescente dos teores foliares de nitrogênio em função do aumento do nível de adubação com NPK para as épocas E1 (jun/jul/ago) e E3 (dez/jan/fev). Na primeira época, o menor valor foi de 25,62 g.kg<sup>-1</sup> no nível de 10% até 31,96 g.kg<sup>-1</sup> no nível de 160% e diferença de 6,34 g.kg<sup>-1</sup> entre o menor e o maior nível de adubação. A cada 10 pontos percentuais de aumento no nível de adubação na época E1, aumenta-se 0,42 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio no teor foliar das plantas de cafeeiro.

Na terceira época o menor valor foi de 28,52 g.kg<sup>-1</sup> no nível de 10% e 32,34 g.kg<sup>-1</sup> no nível de 160% com diferença de 3,82 g.kg<sup>-1</sup> entre o maior e o menor nível de adubação. A cada 10 pontos percentuais no aumento do nível de adubação, na época E3, aumentava-se 0,25 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio no teor foliar das plantas de cafeeiro.

Considerando-se os limites inferior e superior encontrados na equação de produtividade (Figura 2) (níveis de adubação de 74,43% e 163,69%, respectivamente), substituiu-se os referidos valores nas equações da Figura 3, encontrando-se os valores das faixas críticas dos teores de N para as épocas 1 e 3.

Assim, equações de regressão dos teores foliares de nitrogênio possibilitaram determinar as seguintes faixas críticas: E1(jun/jul/ago) = 28,57g kg<sup>-1</sup> a 32,11g kg<sup>-1</sup> e E3(dez/jan/fev) = 30,30g kg<sup>-1</sup> a 32,43g kg<sup>-1</sup>. Faixas cujos valores estão dentro dos encontrados por Pinto et al., (2013), excetuando em jul/ago em que os valores deste trabalho foram menores (Tabela 6). Com esses resultados é possível sugerir o “maior valor entre os mínimos de cada época” como limite inferior da faixa crítica e o “menor valor entre os máximos de cada época” como limite superior da faixa crítica. Assim a faixa crítica delimitada para nitrogênio seria entre 30,30 g.kg<sup>-1</sup> e 32,43 g.kg<sup>-1</sup>, representando uma faixa segura de avaliação dos teores foliares para este nutriente.

Tabela 6 - Faixas críticas dos teores foliares de nitrogênio (g.kg<sup>-1</sup>) em cafeeiros de diferentes idades conduzidos em sequeiro e irrigados segundo diferentes autores. UFLA, Lavras/MG, 2022. (Continua).

| Época de análise | Autores <sup>(1)</sup> |             |           |           |             |            |
|------------------|------------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|------------|
|                  | 1                      | 2           | 3         | 4         | 5           | 6          |
| Geral            | 19,24-23,16            | 25,72-27,19 | -         | -         | -           | 33,45-35,8 |
| Jan/Fev          | -                      | -           | -         | 27,9-29,3 | 32,39-32,40 | -          |
| Mar/Abr          | -                      | -           | 27,5-30,6 | 28,4-31,6 | 33,60-33,61 | -          |
| Mai/Jun          | -                      | -           | 30,8-32,9 | 27,0-28,4 | 27,39-27,42 | -          |

|         |   |   |           |           |             |   |
|---------|---|---|-----------|-----------|-------------|---|
| Jul/Ago | - | - | 34,2-34,8 | 27,7-28,6 | 24,23-24,24 | - |
| Set/Out | - | - | -         | 28,8-30,4 | 26,06-26,09 | - |
| Nov/Dez | - | - | 28,9-31,5 | 26,1-31,0 | 26,50-26,51 | - |

<sup>(1)</sup> 1: Clemente et al. (2008); 2: Quintela et al. (2011); 3: Pinto et al. (2013); 4: Villela et al. (2015); 5: Assis et al. (2015); 6: Sousa et al. (2017). (Conclusão)

Fonte: Da autora (2022)

Como os níveis de adubação, mínimos e máximos, para se alcançar pelo menos 90% da produção máxima foram de 74,43% e 163,69% da adubação padrão recomendada por Guimarães et al. (1999), a adubação mais econômica seria de 149,7 kg ha<sup>-1</sup> de N e 111,15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, tendo em vista que a dose de fósforo não variou como ocorreu com o N e o K.

Os valores obtidos, no presente trabalho, foram superiores nas duas épocas (E1 e E3) aos valores gerais encontrados por Clemente et al., (2008) e por Quintela et al., (2011) (Tabela 6). O primeiro, estudando faixas críticas no primeiro ano de formação da lavoura considerando 90% do crescimento máximo das plantas da cultivar Topázio MG 1190 em experimento realizado em vasos com duração de 360 dias, e o segundo, trabalhando com Catuaí Vermelho IAC H2077-2-5-24 fertirrigado na fase de produção em Garanhuns-PE, cuja faixa crítica encontrada diz respeito a época de gramação. Estas diferenças podem ter ocorrido no primeiro trabalho pela condição de ter sido realizado em vasos e, portanto, condições mais controladas, além de diferente cultivar, e no segundo justificado pela diferença fenológica, de região, clima e cultivar, além da condição de irrigação para ambos os trabalhos.

Já Assis et al., (2015) trabalhando com a cultivar Catiguá MG-3 fertirrigado em produção no município de Lavras/MG, encontraram valores que, de maio a dezembro, estão abaixo do encontrado neste trabalho, nas duas épocas (E1 e E3), em janeiro/fevereiro é semelhante ao limite superior das faixas encontradas para as duas épocas neste trabalho, mas em março/abril se encontram acima dos valores do presente trabalho (Tabela 6).

A faixa crítica encontrada para a época E1 (junho/julho/agosto) está dentro dos valores encontrados por Villela et al., (2015) em todas as épocas avaliadas num estudo realizado com a cultivar Topázio MG-1190 fertirrigado em formação, cujos tratamentos foram aplicados no segundo ano após a implantação, condição semelhante a este trabalho. Contudo, a faixa crítica encontrada na época E3 (dezembro/janeiro/fevereiro) está no intervalo dos valores encontrados por estes autores apenas em março/abril, setembro/outubro e novembro/dezembro (Tabela 6).

Em estudo realizado com base em cinco regiões cafeeiras representativas de Minas Gerais, para determinação de faixas críticas em lavouras em produção por meio do método da “Linha de Fronteira” usando o “Diagrama de Quadrantes da Relação Planta-Solo (QDpsR)”,

Sousa et al., (2017) encontraram valores de teores foliares superiores aos das duas épocas (E1 e E3) deste trabalho em função da diferente fase fenológica, conforme observado na Tabela 6.

### **3.1.2 Avaliação dos teores foliares de fósforo em função do nível de adubação de nitrogênio e de potássio**

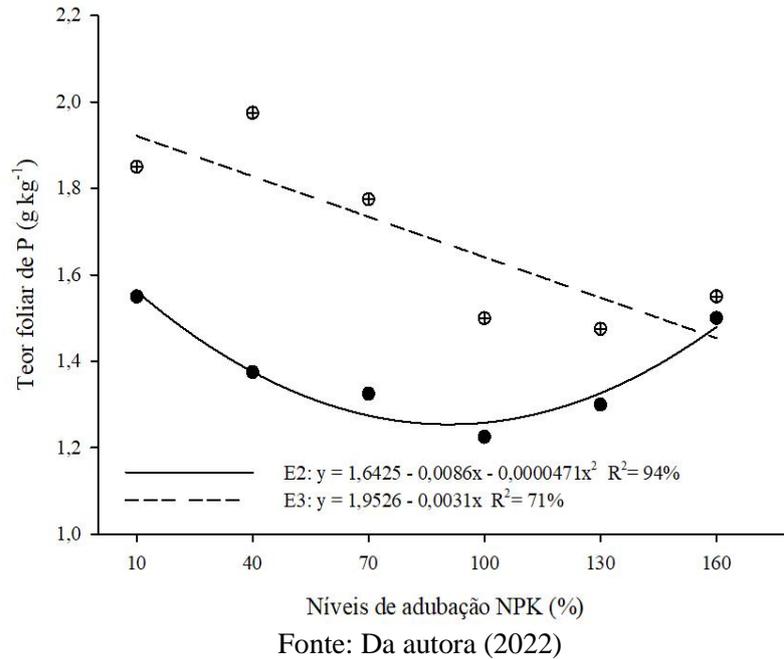
Para as análises dos resultados de teores foliares de fósforo nos diferentes níveis de adubação, isto é, à medida que se aumentava o nível de adubação de nitrogênio e potássio, deve-se considerar que, como descrito na metodologia utilizada neste trabalho, 50% da dose total recomendada para todo o período da implantação da lavoura foi aplicada no ato do transplante das mudas. Somente em novembro de 2019, quando se variou os níveis de adubação, variou-se também o restante a ser aplicado da dose padrão de fósforo, ficando, pois, da seguinte forma: nível 10% da adubação (55% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 40% da adubação (70% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 60% da adubação (80% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 100% da adubação (100% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 130% da adubação (115% da dose total de  $P_2O_5$ ); nível 160% da adubação (130% da dose total de  $P_2O_5$ ).

Além da maior aplicação do fósforo em relação ao nitrogênio e potássio, até ao primeiro ano, pós-plantio, percebe-se, pela análise de solo (Tabela 1), que o nível de fósforo já era de  $19,55 \text{ mg dm}^{-3}$ , na área experimental à época da implantação do experimento. Além disso, nota-se interação significativa entre época de avaliação e níveis de adubação para os teores foliares de fósforo (Tabela 5).

De posse dos resultados dos desdobramentos dos níveis de adubação dentro de cada época de avaliação, foi possível calcular os teores foliares de fósforo em função dos níveis de adubação para as épocas: E2 (setembro/outubro/novembro) e E3 (dezembro/janeiro/fevereiro). Contudo, semelhante ao que aconteceu para o nitrogênio, na época E4 (março/abril/maio) a equação encontrada foi significativa, porém, com ajuste baixo dos dados, não sendo possível determinar com segurança os teores de fósforo em função dos níveis de adubação.

Na Figura 4, observa-se a tendência dos teores foliares de fósforo para os níveis de adubação em cada uma das épocas significativas E2 (setembro/outubro/novembro) e E3 (dezembro/janeiro/fevereiro).

Figura 3 - Teores foliares de fósforo em cafeeiro sob diferentes níveis de adubação com NPK, em duas épocas de avaliação: E2 (set/out/nov) e E3 (dez/jan/fev). UFLA, Lavras/MG, 2022.



Houve tendência quadrática dos teores foliares de fósforo em função do aumento do nível de adubação para a época E2 (setembro/outubro/novembro), e tendência linear decrescente para a época E3 (dez/janeiro/fevereiro) (Figura 4).

Na E2 (setembro/outubro/novembro), o maior valor foi obtido no nível de 10% de adubação (1,55 g kg<sup>-1</sup>) com tendência quadrática. Na época E3 (dezembro/janeiro/fevereiro) houve tendência linear decrescente com o maior teor foliar de fósforo obtido no nível de 10% de adubação (1,92 g kg<sup>-1</sup>) e menor no nível de 160% da adubação padrão (1,46 g kg<sup>-1</sup>), ou seja, a cada 10 pontos percentuais aumentados no nível de adubação na época E3, diminuía-se 0,031 g kg<sup>-1</sup> de fósforo no teor foliar do cafeeiro, porém esses valores são muito pequenos.

A tendência decrescente nos teores foliares de fósforo pode ser explicada por dois fatores que podem ter influenciado nos resultados. Um deles é a existência de um teor significativo de fósforo já na análise do solo da área antes da implantação do experimento. Outro fato é que, pelo menos a metade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, recomendado foi aplicado na implantação do experimento. Ou seja, com um nível próximo ao adequado já em novembro de 2019, à medida que se aumentava os níveis de nitrogênio e potássio, as plantas cresciam mais e, pelo efeito de diluição, os níveis de fósforo diminuía nas folhas.

Pelo exposto, decidiu-se por não calcular a faixa crítica dos teores foliares de fósforo nas condições do presente trabalho, porém constata-se a importância da recomendação suficiente e equilibrada dos nutrientes na implantação das lavouras cafeeiras.

### 3.1.3 Avaliação dos teores foliares de potássio à medida que se aumentava o nível de adubação

Na Tabela 5, observa-se o resumo da análise de variância para os teores foliares de potássio (K), com significância somente para as épocas de avaliação, sem diferenças encontradas para os diferentes níveis de adubação.

De maneira geral, foram observados maiores teores de potássio nas folhas do cafeeiro na época E3 (dezembro/janeiro/fevereiro) independentemente do nível de adubação. Neste período, apesar de ocorrer redistribuição do nutriente das folhas para os frutos que estão em período de expansão e granação (Camargo & Camargo, 2001), ocorrem também a maioria dos parcelamentos da adubação, e a maior absorção dos nutrientes favorecida pelo período chuvoso (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios de teores foliares de potássio (K<sub>2</sub>O) em folhas de cafeeiro (g kg<sup>-1</sup>) em diferentes épocas de avaliação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Épocas          | K<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|----------------------------|
| 1 (jun/jul/ago) | 29,19 b                    |
| 2 (set/out/nov) | 23,16 c                    |
| 3 (dez/jan/fev) | 36,10 a                    |
| 4 (mar/abr/mai) | 27,25 b                    |

Médias seguidas pelas mesmas letras não se diferenciam entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.  
Fonte: Da autora (2022)

Já o menor teor de potássio foi observado na época E2 (setembro/outubro/novembro), período esse mais distante das últimas adubações (análise foliar do início de setembro), além de corresponder ao final do período das secas. Nas avaliações das épocas 4 (março/abril/maio) e 1 (junho/julho/agosto), apresentaram valores intermediários de potássio aos demais períodos mencionados (Tabela 7).

Valarini, (2005) comenta, em seu trabalho sobre a demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica, sobre a diminuição acentuada do teor de potássio nas folhas de café, no período que vai de dezembro a maio, justificando que este resultado está atrelado à época de redistribuição de potássio direcionada a granação dos frutos. A mesma

tendência foi observada nos trabalhos de Catani & Moraes (1958) e Sousa et al. (1975), cuja tendência semelhante nos teores de potássio também foi justificada pelo período de crescimento e expansão dos frutos.

Portanto, os resultados apresentados na Tabela 7 são bastante coerentes e facilmente explicados mediante o conhecimento da fenologia e manejo do cafeeiro, das condições climáticas em cada época e dos fatores que envolvem a absorção de nutrientes. Vale lembrar que o potássio é o elemento mais redistribuído nas plantas, seguido pelo nitrogênio (Reis, 2019).

De posse do nível de adubação mínima para alcançar 90% da produtividade máxima (de 74,43% da adubação padrão) para o nitrogênio e, tendo em vista o equilíbrio de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, já recomendado por Guimarães et al. (1999), é possível a recomendação de adubação mínima necessária sem prejuízos superiores a 10% de produtividade de lavouras cafeeiras, sem irrigação, na fase de primeira produção na dose de 149,7 kg ha<sup>-1</sup> de N e 111,15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. De acordo com a análise de solo antes da adubação de produção (Tabela 3) e com as classes de fertilidade citadas por Guimarães et al., (1999), o fósforo se encontrava na faixa de classes de fertilidade “Muito Bom” (MB), portanto, não se fez necessário aplicação deste nutriente nas condições de realização deste trabalho.

## CONCLUSÕES

O nível de adubação no segundo ano de formação após o transplântio que permite alcançar a produtividade máxima em lavouras de café, em sequeiro, é de 119,06% da adubação recomendada nas doses de 239,48 kg ha<sup>-1</sup> de N e 177,8 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

A adubação mínima necessária para lavouras de café, em sequeiro, no segundo ano de formação, após o transplântio, sem prejuízos superiores a 10% de produtividade é de: 149,7 kg ha<sup>-1</sup> de N e 111,15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

**APÊNDICE A** – Croqui do experimento. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Bloco I   |        |        |        |        |        | Bloco II |        |        |        |        |        | Bloco III |        |        |        |        |        | Bloco IV |        |        |        |        |        | Estrada |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Bordadura |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |           |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |         |
| T<br>1    | T<br>5 | T<br>4 | T<br>3 | T<br>2 | T<br>6 | T<br>4   | T<br>2 | T<br>1 | T<br>5 | T<br>6 | T<br>3 | T<br>4    | T<br>1 | T<br>6 | T<br>5 | T<br>3 | T<br>2 | T<br>5   | T<br>2 | T<br>3 | T<br>6 | T<br>4 | T<br>1 |         |
| Bordadura |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |           |        |        |        |        |        |          |        |        |        |        |        |         |

Fonte: Da autora (2022)

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, G. A. de. GUIMARÃES, R. J., COLOMBO, A., SCALCO, M. S., DOMINGHETTI, W. Critical ranges for leaf nitrogen and potassium levels in coffee fertigated at the production phase. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 126-134, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100015>.
- ASSIS, G. A., MELO, M. R. P., SOARES, M. A., ASSIS, F. A. de., MARTINS, W. E. dos R., SILVA, L. R. Níveis de adubação N e K em cafeeiros fertirrigados e sua função de resposta. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 65-73, 2018. doi: <https://doi.org/10.28998/rca.v16i3.5607>.
- BATAGLIA, O. C., SANTOS, W. R. dos. Diagnose Foliar. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações Agronômicas**, 8 P, Nº 96, 2001. [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/F394B81A1CC47E4A83257AA300637BF8/\\$FILE/Page3-8-96.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/F394B81A1CC47E4A83257AA300637BF8/$FILE/Page3-8-96.pdf).
- CAMARGO, A. P. de., CAMARGO, M. B. P. de. (2001). Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n.1, p. 65-68, <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052001000100008>.
- CLEMENTE, F. M. V. T., CARVALHO, J. G. de., GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G. (2008). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio – Primeiro ano. **Coffee Science**, 3(1), 47-57. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/5633#preview>.
- CLEMENTE, F. M. V. T., CARVALHO, J. G. de., GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio – primeiro ano. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1406>.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2022). **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v.9, n.1, p. 1-61, Brasília, DF, <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2017). **A cultura do café: Análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2008 a 2017 – Compêndio de estudos CONAB**. <https://1library.org/document/qoge6l5z-compendio-estudos-cultura-cafe-analise-custos-producao-rentabilidade.html>.
- CURI, N. C., Ker, J. C., NOVAIS, R. F., VIDAL-TORRADO, P., SCHAEFER, C. E. G. R. **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. 597 p, Viçosa, MG.
- DE DEUS J. A. L., NEVES, J. C. L., CORRÊA, M. C. de. M., PARENT, S. E., NATALE, W., PARENT, L. E. (2018). Balance design for robust foliar nutrient diagnosis of “Prata” banana (*Musa spp.*). **Scientific Reports**. doi:10.1038/s41598-018-32328-y.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: UFV, 122 p, 2001.

GUIMARÃES, P. T. G., GARCIA, A. W. R., ALVAREZ V, V. H., PREZOTTI, L. C., VIANA, A. S., MIGUEL, A. E., MALAVOLTA, E., CORRÊA, J. B., LOPES, A. S., NOGUEIRA, F. D., MONTEIRO, A. V. C., OLIVEIRA, J. A. de. Cafeeiro. In Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., & Alvarez, V. H (Eds), **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**, p. 289-302, Minas Gerais: UFV, 1999.

MENDONÇA, L. P. **Curvas de resposta potencial e faixas de suficiência nutricional para café arábica em Minas Gerais**. 2016. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/9278>.

NOWAKI, R. H. D., PARENT, S. E., CECÍLIO FILHO, A. B., ROZANE, D. E., MENESES, N. B., SILVA, J. A. dos. S. da., NATALE, W., PARENT, L. E. (2017). Phosphorus over-fertilization and nutrient misbalance of irrigated tomato crops in Brazil. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1–11. <https://doi.org-10.3389/fpls.2017.00825>.

PINTO, C. G., GUIMARÃES, R. J., VILLELA, G. M., SCALCO, M. S. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 530-538, 2013. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8006>.

QUINTELA, M. P., SILVA, T. J. A., BONFIM-SILVA, E. M., SILVA, E. F. F., BEBÉ, F. V. Parâmetros produtivos e nutricionais do cafeeiro submetido adubação nitrogenada na região de Garanhuns. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 74-79, 2011. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2093>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RAGOZO, C. R. A., LEONEL, S., TECCHIO, M. A. Nutritional balance and yield for green manure orange trees. **Ciência Rural**, 2014. v. 44, n. 4, p. 616–621. <https://www.scielo.br/j/cr/a/V7dwtLVQGmZbpqGWbtf3qMM/?format=pdf&lang=en>.

REIS, M. R. dos. **Redistribuição de nutrientes em razão da fenologia da frutificação do café arábica**. 2019. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-16092019161210/publico/Marina\\_Rodrigues\\_dos\\_Reis\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-16092019161210/publico/Marina_Rodrigues_dos_Reis_versao_revisada.pdf).

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. Plant analysis: an interpretation manual. 2nd ed. Melbourne: Inkata, 1988. 218 p.

SÁ JÚNIOR, A. de., CARVALHO, L. G. de., SILVA, F. F. da., ALVES, M. de. C. Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Springer Link**, v. 108, p. 1-7, 2012. doi:10.1007/s00704-011-0507-8.

SOUSA, J. S., NEVES, J. C. L., MARTINEZ, H. E. P., ALVAREZ V., V. H. Relationship between Coffee Leaf Analysis and Soil Chemical Analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13 p, 2017. doi:<https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170109>.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo**. 2005. 78f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, SP.

VILELA, D. J. M., CARVALHO, G. R., BOTELHO, C. E., CARVALHO, A. M. de., PRAXEDES, M. A., SANTOS, M. C., FERNANDES, F. C. Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 552-561, 2017. [http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9252/Coffee%20Science\\_v12\\_n4\\_p552-561\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9252/Coffee%20Science_v12_n4_p552-561_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

VILELA, M. E. **Nitrogen, phosphorus and potassium in coffee crop in vegetative stage and on brown eye spot management**. 2020. 118 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/43080>.

VILELA, M. S., RAMOS, L. X., NETTO, P. M., FARIA, M. M. L., BRANDÃO, L. M., PINHEIRO, A. L. G., PEREIRA, L. P., SOUZA, V. H. S., GUIMARÃES, R. J. Mofofisiologia de cafeeiros em formação submetidos a diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **In: X SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. Resumos expandidos**. Vitória – ES, 2019.

### **CAPÍTULO 3 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E FORMAÇÃO DE LAVOURA CAFEIEIRA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

#### **RESUMO**

Diante de adversidades climáticas e os altos custos de implantação, condução e produção da lavoura cafeeira, o empresário rural deve ser cada vez mais eficiente nesta, que é uma das mais importantes atividades socioeconômicas do Brasil, principalmente no que diz respeito a adubação. Os fertilizantes têm participação de cerca de 18,45% nos custos operacionais e tem havido aumentos consideráveis nos preços dos mesmos aumentando ainda mais os custos totais. Objetivou-se, com este trabalho, analisar os custos de implantação e condução de lavoura cafeeira sob diferentes níveis de adubação nos três primeiros anos em condição de sequeiro, estabelecendo uma associação entre os custos de fertilizantes e a produtividade. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras e o transplântio foi realizado em dezembro de 2018 com 100% da adubação padrão recomendada utilizando-se mudas da cultivar Mundo Novo IAC 379/19. Em novembro de 2019, foram aplicados os tratamentos propostos com seis níveis de N, P e K (10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160%) em relação a adubação padrão e na mesma proporção entre os nutrientes seguindo recomendações de Guimarães, et al. (1999). Concluiu-se que plantas de café com níveis de adubação entre 10 e 40% da adubação padrão têm sua produtividade comprometida; lavouras implantadas com 130% e 160% da adubação padrão não tem bons resultados econômicos em relação ao nível de 70%; o nível de 74,43% é satisfatório do ponto de vista econômico sem que haja prejuízos de produtividade superiores a 10%; diante de dificuldade financeira, é possível adubar a lavoura cafeeira em formação no intervalo entre 70 e 119%, até a primeira produção; deve-se manter a adubação padrão (100%) em caso de adequada condição financeira.

**Palavras-Chave:** Fertilizantes. Análise Econômica. Sustentabilidade Econômica

## ABSTRACT

Faced with climatic adversities and the high costs of implantation, management and production of coffee plantations, rural entrepreneurs must be increasingly efficient in what is one of the most important socioeconomic activities in Brazil, especially with regard to fertilization. Fertilizers account for approximately 18.45% of operating costs and there have been considerable increases in their prices, further increasing total costs. The objective of this work was to analyze the costs of implantation and management of coffee plantations under different levels of fertilization in the first three years under rainfed conditions, establishing an association between fertilizer costs and productivity. The experiment was carried out in the Coffee Culture Sector of the Federal University of Lavras and the transplant was carried out in December 2018 with 100% of the recommended standard fertilization using seedlings of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. In November 2019, the proposed treatments were applied with six levels of N, P and K (10%, 40%, 70%, 100%, 130% and 160%) in relation to standard fertilization and in the same proportion between nutrients following recommendations from Guimarães, et al. (1999). It was concluded that coffee plants with fertilization levels between 10 and 40% of the standard fertilization have their productivity compromised; crops implanted with 130% and 160% of the standard fertilization do not have good economic results in relation to the level of 70%; the level of 74.43% is satisfactory from an economic point of view, with no losses in productivity greater than 10%; in the face of financial difficulties, it is possible to fertilize the coffee crop in formation in the range between 70 and 119%, until the first production; standard fertilization (100%) should be maintained in case of adequate financial condition.

**Key words:** Fertilizers. Economic Analysis. Economic Sustainability

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é importante no agronegócio brasileiro, uma vez que o país é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo estimado, para 2022, um total de 55,7 milhões de sacas beneficiadas, onde 38,7 milhões são de café arábica correspondendo, portanto, 66% da produção nacional total (CONAB, 2022). O sucesso na atividade é dependente de altas produtividades aliadas a bons preços da saca e baixos custos. Porém, os custos são muito influenciados por vários fatores e, em alguns momentos, superam a receita.

Dados levantados junto ao Projeto Campo Futuro, da CNA, permitiram concluir que os custos operacionais totais, em março de 2019, tiveram média de R\$428,00, por saca produzida, enquanto a média do preço do café foi de R\$398,00 por saca comercializada, ou seja, o preço de venda da saca não cobriu os custos operacionais (R\$30,00 a menos por saca de café). Já os dados coletados em Manhumirim/MG, no primeiro semestre de 2019, permitem a inferência de que o custo operacional total, naquele município, foi de R\$396,00 por saca produzida, enquanto a média dos preços obtidos pelos cafeicultores naquele período foi de R\$372,00 por saca comercializada, resultando em R\$24,00 de margem líquida negativa, por saca de café produzida (Matiello, 2020).

Por outro lado, apesar dos altos custos de produção, nos últimos anos, os cafeicultores têm sido incentivados a aumentarem suas áreas de café em função dos preços de mercado, considerados favoráveis (Alves Neto e Lima, 2019). Pode-se constatar essa afirmação analisando-se os dados de preços e custos de produção de café no período de 2008 a 2017, em que os preços praticados na comercialização do café arábica ficaram acima da inflação (CONAB, 2017).

Nos últimos seis anos, o preço médio da saca de 60 kg de café arábica, bebida dura, tipo seis foi de R\$375,48 em abril de 2019 e o máximo em outubro de 2021 de R\$1.270,07, sendo recorde histórico até então (Cepea/Esalq, 2021). Este recorde se deu devido a condições que vão desde a “bienioalidade negativa” a fatores climáticos adversos como, crise hídrica, calor intenso, geadas, além da alta dos preços dos fertilizantes devido às consequências da pandemia da COVID-19.

Atualmente, observa-se uma alta nos preços dos fertilizantes, especialmente os potássicos, por meio do cloreto de potássio que é produzido e exportado pela Rússia e Bielorrússia onde ambos respondem por mais de 40% da produção mundial; e o nitrogênio cujo mercado é dominado pela Rússia com 17%. Rússia e Belarus estão envolvidos em conflito no Leste Europeu com dificuldades de produção, exportação, além de sofrerem sanções

econômicas de todo o mundo, especialmente pelos países da União Europeia (ELIAS, 2022; BCR, 2022). Assim, o atual cenário é crítico e desafiador dependendo do uso racional de fertilizantes nas lavouras de café e sua relação com a produtividade com impacto direto na receita líquida.

A alta competitividade do mercado, as adversidades climáticas e os altos custos de implantação, condução e produção pressionam o empresário rural a ser cada vez mais eficiente na atividade. Para tanto, informações acerca do comportamento dos custos e preços praticados nos mercados de fertilizantes e do café são importantes para se visualizar antecipadamente as dificuldades junto aos fatores de produção, possibilitando o planejamento do manejo das lavouras já implantadas ou mesmo da implantação de novas áreas com menores riscos e incertezas.

A formação de novas áreas de café ocorre anualmente, seja por renovação ou novas implantações e, deve ser criteriosa, pois trata-se de lavoura perene com exploração econômica prevista para cerca de quinze a vinte anos. Assim, os erros cometidos durante a implantação, especialmente na nutrição das plantas comprometem o crescimento e, conseqüentemente, as produtividades futuras.

Considerando que os gastos com fertilizantes na implantação e formação da lavoura cafeeira são muito altos (Araújo et al., 2020), a análise criteriosa dos custos auxilia na diminuição dos riscos. Os custos com fertilizantes também têm sido altos para lavouras em produção como pode ser visto em trabalho de Alves Neto e Lima, (2019) que analisaram três anos safra (2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019) e observaram que os adubos tiveram maiores impactos dentre os itens de custos com média de 39,52% ficando atrás somente das máquinas com 42,39%.

Os custos de implantação da lavoura cafeeira variam em relação a região, ao tipo de lavoura, ao grau de mecanização, a quantidade de insumos utilizados, ao espaçamento, entre outros (Brioschi et al., 2019). Dentre os itens considerados na determinação destes custos, os fertilizantes, que possuem participação de cerca de 18,45% nos custos operacionais, enquadram-se no custo variável uma vez que, por definição, são os que variam de acordo com o volume de produto produzido (Fehr et al., 2012; CONAB 2017).

Cerca de 75% dos fertilizantes consumidos no Brasil são importados (Azevedo Junior et al., 2019) e no caso de desvalorização do real frente ao dólar, estes insumos ficam ainda mais onerosos. Segundo a OIC, (2019), os custos com fertilizantes aumentaram internacionalmente 27% entre 2016 e 2018 Neste cenário, a adubação na implantação de novas áreas pode ser comprometida em casos em que os produtores possuam dificuldade financeira para honrar seus

compromissos. Com os recentes conflitos no Leste Europeu, envolvendo países produtores de fertilizantes nitrogenados e potássicos, os preços desses insumos têm aumentado cada vez mais (ALMEIDA, 2022).

Por outro lado, quando a relação de custos de fertilizantes e do café é mais favorável, o cafeicultor tende a aumentar excessivamente a dose de fertilizantes na implantação da lavoura, podendo causar desequilíbrios nutricionais, prejudicando o crescimento e, conseqüentemente, as produtividades futuras levando a impactos financeiros negativos na empresa rural.

A produtividade tem grande influência no custo total pois, com maior quantidade de sacas produzidas em cada hectare, os custos fixos e totais são mais diluídos, resultando em menor custo por saca. Portanto, fica evidente que a implantação da lavoura cafeeira deve ser criteriosa, especialmente com nutrição suficiente e equilibrada, de forma a resultar em grandes produtividades com diminuição dos riscos de prejuízos ou mesmo garantindo maiores receitas líquidas na atividade econômica.

Na gestão financeira da lavoura cafeeira é importante a tomada de decisão na busca da otimização dos recursos que são cada vez mais limitados e onerosos. Assim, como objetivo geral do presente trabalho, busca-se conhecer a influência dos custos dos fertilizantes nos períodos de implantação e condução de lavoura cafeeira.

O objetivo deste trabalho é analisar os custos de implantação e condução de lavoura cafeeira com foco em diferentes níveis de adubação nos três primeiros anos, sob condições de sequeiro, estabelecendo uma associação entre custos de fertilizantes e produtividade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido na área experimental de 0,11 hectares no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) situada no município de Lavras/MG cuja altitude corresponde a 970 metros, latitude 21°13'33.2" Sul e longitude 44°58'18.7" Oeste.

As médias durante o ano, de temperatura média, máxima e mínima do ar anualmente são de 19,4; 21,6 e 14,4°C, respectivamente. O clima é classificado como Cwa, mas possui características de Cwb com duas estações distintas que corresponde a seca no período de abril a setembro e chuva de outubro a março, segundo classificação de Köppen (Sá Júnior et al., 2012). Já o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa (Curi et al., 2017).

Inicialmente, em agosto de 2018, foram coletadas amostras de solo na área experimental de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade para realização de análise de solo cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Característica                             | 00-20 cm | 20-40 cm | Característica                           | 00-20 cm | 20-40 cm |
|--|----------|----------|--|----------|----------|
| pH (H <sub>2</sub> O)                      | 6,1      | 5,6      | t (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ) | 4,81     | 2,91     |
| P-rem (mg. L <sup>-1</sup> )               | 24,88    | 24,21    | V (%)                                    | 64,46    | 48,08    |
| P (mg. dm <sup>-3</sup> )                  | 19,55    | 4,33     | m (%)                                    | 1,04     | 2,41     |
| K (mg. dm <sup>-3</sup> )                  | 108,04   | 61,18    | MO (dag.kg <sup>-1</sup> )               | 1,90     | 1,54     |
| Ca (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 3,67     | 2,24     | Zn (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 4,52     | 3,50     |
| Mg (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 0,81     | 0,44     | Fe (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 38,18    | 37,84    |
| Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 0,05     | 0,07     | Mn (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 23,07    | 11,65    |
| H+Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup> ) | 2,62     | 3,06     | Cu (mg. dm <sup>-3</sup> )               | 3,65     | 3,77     |
| T (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 7,38     | 5,90     | B (mg. dm <sup>-3</sup> )                | 0,12     | 0,12     |
| SB (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )  | 4,76     | 2,84     | S (mg. dm <sup>-3</sup> )                | 18,16    | 76,98    |

pH = Potencial hidrogeniônico; P-rem = Fósforo remanescente; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H+Al = Acidez Potencial; T = CTC potencial; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; V% = Saturação por bases; m% = saturação por alumínio; MO = Matéria Orgânica; Zn = Zinco; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; B = Boro e S = Enxofre.

Fonte: Da autora (2022)

Com base nos resultados da análise de solo, em setembro de 2018, foi realizada a calagem em área total aplicando-se 750 kg ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 80%, 38,5% de CaO e 10,9% de MgO de forma a manter a relação de Ca:Mg igual a 4:1, incorporando-o a 30 cm de

profundidade com uma aração e duas gradagens para correção da acidez conforme recomendações de Guimarães et al. (1999).

## 2.2 Caracterização e manejo do experimento

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por seis tratamentos que corresponderam aos níveis de adubação: T1=10%, T2=40%, T3=70%, T4=100% (recomendação de Guimarães et al. (1999)), T5=130% e T6=160%, sendo que o tratamento 4 representa a dose padrão.

As parcelas foram constituídas por 24 plantas, sendo três fileiras (duas bordaduras) de 8 plantas (APÊNDICE A), cuja área útil correspondeu a 6 plantas da fileira central totalizando 576 plantas em 0,11 hectares. As bordaduras receberam os mesmos tratamentos das parcelas.

O transplântio foi realizado no dia 11 de dezembro de 2018, iniciando-se com o sulcamento do solo a 30 cm de profundidade e 50 cm de largura, e em seguida aplicando-se a dose de 40g de calcário por metro linear de sulco (calagem complementar a convencional), incorporado ao solo de maneira homogênea por meio de subsolador de 3 hastes. Preparados os sulcos, as covetas foram abertas com enxadão nas dimensões de 40x40x40 cm, e em seguida realizou-se o transplântio das mudas, que foram previamente imersas em água (em caixa d'água) para melhorar o “pegamento em campo”.

As mudas de *Coffea arabica* L. utilizadas foram da cultivar IAC 379/19 do grupo Mundo Novo e foram transplantadas no espaçamento de 3,5 metros entre linhas e 0,55 metros entre as plantas na linha.

No transplântio manual, as mudas foram distribuídas ao lado das covetas e plantadas após cortado o fundo dos saquinhos (para evitar raízes defeituosas – “pião torto”) e retirada cuidadosa do recipiente de polietileno para o transplântio propriamente dito.

No transplântio (instalação do experimento) foram aplicadas as doses padrão (independentemente do tratamento proposto) de N e K<sub>2</sub>O, conforme análise de solo e recomendações de Guimarães et al. (1999).

Já para o caso do fósforo, segundo Guimarães et al. (1999), as doses dos dois primeiros anos devem ser aplicadas na cova por ocasião do transplântio sendo que no caso do presente trabalho, optou-se por aplicar metade da dose padrão em dezembro de 2018 e a outra metade no início do ano agrícola seguinte (novembro de 2019), variando-se as doses conforme os tratamentos (portanto, variação aplicada somente nos 50% restantes da dose de fósforo). Assim, as doses por ocasião do transplântio em campo (“adubação padrão - 100%”) foram de: 40g de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta (na coveta), 20g por planta/ano de K<sub>2</sub>O e 5g de N por planta/aplicação em cobertura em duas aplicações (janeiro/2019 e fevereiro/2019).

Em novembro de 2019, quando se começou a variação de doses, no caso do fósforo, já se tinha aplicado 50% da dose no transplântio (40g por planta), sendo possível variar as doses (tratamentos) somente no segundo parcelamento de fósforo. Assim, os tratamentos ficaram com as seguintes doses de fósforo (dose de transplântio mais dose do parcelamento dos outros 50%): nível 10% da adubação (55% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); nível 40% da adubação (70% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); nível 60% da adubação (80% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); nível 100% da adubação (100% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); nível 130% da adubação (115% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); nível 160% da adubação (130% da dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Em novembro de 2019, além da aplicação de diferentes níveis de adubação com fósforo (superfosfato simples – 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicou-se também o nitrogênio (ureia - 45% de N), e o potássio (cloreto de potássio - 60% de K<sub>2</sub>O), que ficaram com as seguintes doses de acordo com análise do solo e recomendações de Guimarães et al. (1999) apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de ureia e cloreto de potássio, bem como de nitrogênio e K<sub>2</sub>O aplicados por planta para cada nível de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis de adubação | Ureia<br>g/planta/aplicação* | N<br>g/planta/aplicação | Cloreto de Potássio<br>g/planta*/aplicação | K <sub>2</sub> O<br>g/planta/aplicação |
|--------------------|------------------------------|-------------------------|--|--|
| 10%                | 2,22                         | 1                       | 0,55                                       | 0,33                                   |
| 40%                | 8,88                         | 4                       | 2,22                                       | 1,33                                   |
| 70%                | 15,55                        | 7                       | 3,88                                       | 2,33                                   |
| 100%               | 22,22                        | 10                      | 5,55                                       | 3,33                                   |
| 130%               | 28,88                        | 13                      | 7,21                                       | 4,33                                   |
| 160%               | 35,55                        | 16                      | 8,88                                       | 5,33                                   |

\* 3 aplicações (Novembro/Dezembro/Janeiro)

No segundo ano de formação (2020/2021), repetiu-se a adubação com N, P e K de acordo com cada tratamento e análise de solo, utilizando-se as mesmas fontes dos nutrientes: ureia (45% de N), superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) com base na análise de solo realizada em 06/11/2020, do tratamento padrão (100%) (Tabela 3) considerando produtividade esperada < 20 sc/ha.

Tabela 3 – Caracterização química do solo da adubação padrão (T4 – 100%) na área experimental. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Característica                              | 00-20 cm |
|---|----------|
| pH (H <sub>2</sub> O)                       | 5,4      |
| P disp (mg. dm <sup>-3</sup> )              | 33,7     |
| K (mg. dm <sup>-3</sup> )                   | 87,1     |
| Ca (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 3,1      |
| Mg (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 0,5      |
| Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 0,0      |
| H+Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ) | 3,6      |
| T (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )    | 7,42     |
| SB (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )   | 3,82     |
| t (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )    | 3,82     |
| V (%)                                       | 51,48    |
| m (%)                                       | 0,00     |
| Ca/T (%)                                    | 41,78    |
| Mg/T (%)                                    | 6,74     |
| K/T (%)                                     | 2,96     |
| (H+Al)/T (%)                                | 48,52    |

pH = Potencial hidrogeniônico; Pdisp = Fósforo disponível; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H+Al = Acidez Potencial; T = CTC potencial; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; V% = Saturação por bases; m% = saturação por alumínio; Ca/T = Participação do Ca na CTC potencial; Mg/T = Participação do Mg na CTC potencial; K/T = Participação do K na CTC potencial; (H+Al)/T = Participação da Acidez Potencial na CTC potencial.

Fonte: Da autora (2022)

O manejo de plantas espontâneas incluiu aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes registrados e indicados para as plantas-alvo predominantes no local, além de capinas manuais e roçadas mecânicas. Realizou-se monitoramento constante, e quando necessário, fez-se pulverizações regulares para controle de cercosporiose, ferrugem, phoma, pulgões, cochonilhas e ácaros com produtos registrados para a cultura do café (em doses recomendadas pelos fabricantes).

### 2.3 Avaliações

A variável agrônômica analisada foi a produtividade obtida da colheita manual por derriça no pano, realizada em maio de 2021, medindo-se a produtividade de café da área útil de cada parcela experimental. Mediu-se o volume colhido (no momento da colheita) de cada parcela para em seguida, secar em terreiro até umidade de 11% e então, obter os dados de volume e peso do café em coco e após beneficiamento. Com os dados obtidos, calculou-se a produtividade em sacas por hectare de cada parcela (sc ha<sup>-1</sup>).

## **2.4 Tratamentos, delineamento experimental e análises estatísticas**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo seis níveis de adubação: 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% e quatro repetições, totalizando 24 parcelas, onde o nível de 100% corresponde a adubação padrão (Guimarães et al., 1999).

Os dados de produtividade foram submetidos às pressuposições da ANOVA para verificação da normalidade, homocedasticidade e independência dos erros, e foram atendidos. Em seguida, foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade realizadas no Software R versão 3.6.3 (R Development Core Team, 2020), sendo posteriormente realizada análise de regressão ajustando-se ao modelo quadrático, este sendo o que mais se adequa para explicação dos resultados.

Realizou-se, ainda, a análise de correlação de Spearman entre a produtividade e as seguintes variáveis econômicas: custo total de implantação (CTI), custo total apenas com NPK (CNPk), custo da saca - 60 kg de café produzido (CS) e a receita, havendo algumas correlações significativas.

## **2.5 Determinação dos custos**

Elaborou-se planilhas eletrônicas no software excel dos insumos e serviços necessários na implantação e condução de uma lavoura cafeeira, desde o transplante, passando pela formação, o manejo, os tratamentos culturais, até a primeira colheita, em consonância com o que foi realizado no experimento para cada nível de adubação (APÊNDICE B). Informações a respeito do custo da hora/máquina, homem/dia e custos fixos foram obtidas por meio dos profissionais da Emater-MG de Lavras e profissionais da UFLA considerando um sistema de produção básico com lavoura mecanizada, aluguel de máquinas e secagem apenas em terreiro para a região.

O preço da saca de 60 kg de café beneficiado utilizado, foi correspondente ao dia 30/07/2021 conforme dados de Cooperativa dos Cafeicultores da Zona de Varginha Ltda. (Minasul). Já, os custos dos insumos em vermelho conforme APÊNDICE B foram obtidos em cada ano 0 (2018), 1 (2019), 2 (2020) e 3 (2021) por meio do site da CONABa (2021) para o estado de Minas Gerais.

Para obter o custo total para cada nível de adubação e ano, inicialmente, calculou-se os Custos de Implantação que diz respeito a todos os insumos e serviços utilizados para preparar

a área e implantar a lavoura cafeeira; os Custos Variáveis que diz respeito aos insumos, materiais e serviços na manutenção, condução da lavoura e colheita, e os Custos Fixos que diz respeito a parte administrativa, bem como assistência técnica, energia elétrica, etc. Estes foram calculados por meio da multiplicação do valor unitário de cada item pela sua respectiva quantidade. O Valor Unitário para os itens do tópico B3 – Insumos e Materiais em vermelho no APÊNDICE B foram alterados a cada ano conforme informações do site da CONABa (2021) para o estado de Minas Gerais. Após o cálculo de cada item, os custos totais foram obtidos pela seguinte fórmula:

$$\text{Custo Total (R\$)} = CI + CV + CF$$

Onde:

CI = Custos de Implantação;

CV = Custos Variáveis;

CF = Custos Fixos.

Os itens que correspondem ao tópico (A – Custos Implantação) (APÊNDICE B), foram calculados apenas para o ano 0 (2018), exceto o item Adubação de cobertura, pois este foi realizado em todos os anos com a mesma quantidade de hora máquina (HM).

Os itens que correspondem ao subtópico (B1 – manutenção) do tópico (B – Custos Variáveis) tiveram os mesmos valores de quantidade para todos os anos. Porém, os itens do subtópico (B2 – Colheita) foram calculados apenas para o ano de colheita (2021), exceto o item Transporte Interno que teve os mesmos valores para todos os anos uma vez que sempre ocorre esse serviço.

Os itens que correspondem ao subtópico (B3 – Insumos e Materiais) também tiveram variação conforme os anos e preços dos insumos e materiais utilizados. Já para o último tópico (C - Custos Fixos) os valores foram os mesmos em todos os anos.

O custo da saca (R\$/sc) foi obtido por meio da divisão do custo total do ano 3 pela produtividade (sc ha<sup>-1</sup>) conforme a equação:

$$\text{Custo da Saca (R$/sc)} = CT/Prod$$

Onde:

CT = Custo Total no Ano 3;

Prod = Produtividade.

A receita foi obtida pela multiplicação da produtividade de cada nível pelo preço da saca (R\$1.050,00) correspondente ao dia 30/07/2021, conforme dados de Cooperativa dos Cafeicultores da Zona de Varginha Ltda. (Minasul) dada pela equação:

$$Receita (R\$/ha) = Prod * PS$$

Onde:

Prod: Produtividade (sc/ha);

PS = Preço da Saca (R\$).

Os custos apenas com adubos NPK foram obtidos por meio do somatório da multiplicação da quantidade de sacas de adubo de cada elemento pelo valor unitário (preço), para cada ano e nível de adubação, conforme a equação:

$$Custo apenas com NPK (R\$) = \sum (QS * Preço)$$

Onde:

QS = Quantidade de sacas de adubo para cada elemento (NPK).

Para calcular a quantidade de sacos de adubo para produzir uma saca de café beneficiado, dividiu-se a quantidade de sacos de adubo demandado por hectare pela produtividade de cada nível conforme a equação:

$$Quantidade de sacos de adubo para produzir uma sacad de café = QSA (ha)/Prod$$

Onde:

QSA = Quantidade de sacos de adubo por hectare;

Prod = Produtividade (sc ha<sup>-1</sup>).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se pela Tabela 4 que o custo de implantação da lavoura cafeeira para estande de 5.195 plantas/hectare foi de R\$12.218,12 que corresponde a R\$2,35/planta, estes resultados são inferiores aos observados em trabalho realizado com café arábica, no Espírito Santo, para estande 5.000 plantas/hectare, cujos valores foram de R\$19.725,58 no custo de implantação, ou seja, R\$3,95/planta (Briosch et al., 2019).

Tabela 4 - Custos totais de implantação e condução de lavoura cafeeira por hectare para cada ano em diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | ANO 0 (2018) | ANO 1 (2019) | ANO 2 (2020) | ANO 3 (2021) | TOTAL        |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 10%    | -            | R\$7.546,85  | R\$7.674,90  | R\$9.175,24  | R\$36.615,11 |
| 40%    | -            | R\$7.856,29  | R\$8.152,04  | R\$10.600,04 | R\$38.826,49 |
| 70%    | -            | R\$8.165,72  | R\$8.629,18  | R\$11.855,96 | R\$40.868,98 |
| 100%   | R\$12.218,12 | R\$8.475,16  | R\$9.106,32  | R\$11.783,93 | R\$41.583,53 |
| 130%   | -            | R\$8.784,59  | R\$9.583,47  | R\$12.677,30 | R\$43.263,48 |
| 160%   | -            | R\$9.094,02  | R\$10.060,61 | R\$13.128,12 | R\$44.500,87 |

Fonte: Da autora (2022)

Houve aumento dos custos a cada ano, sendo que a maior diferença é observada entre os anos 2 e 3, provavelmente em função da colheita realizada em 2021, já que os gastos apenas com fertilizantes não diferiram substancialmente (Tabela 7). Contudo, entre os anos 1 e 2, o aumento se deve provavelmente ao custo com fertilizantes (Tabela 8), principalmente em relação ao nitrogênio que teve aumento de preço bastante significativo de cerca de R\$1,50 a R\$2,50 conforme mostra a Figura 2. Os custos entre o primeiro e último nível de adubação aumentaram 20,5%, 31,08% e 43,08% nos anos 1, 2 e 3, respectivamente. Considerando a soma dos três primeiros anos, este aumento foi de cerca de 21,54%. Destaca-se estreita diferença no total dos custos (soma dos custos em todos os anos) entre os níveis de 70% e padrão (100%) na implantação e condução da lavoura cafeeira, que correspondeu a R\$714,55 (Tabela 4).

Observa-se pela Tabela 5, o aumento médio de 358,80kg de ureia, 78,54kg de superfosfato simples e 198,14kg de cloreto de potássio a medida que se aumenta o nível de adubação.

Tabela 5 - Quantidade em kg de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio por hectare aplicados em todos os anos de implantação e condução da lavoura cafeeira em diferentes níveis de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | Ureia  | Superfosfato Simples | Cloreto de Potássio |
|--------|--------|----------------------|---------------------|
| 10%    | 235,9  | 1073,4               | 415,1               |
| 40%    | 593,4  | 1151,9               | 613,2               |
| 70%    | 953,6  | 1230,5               | 811,5               |
| 100%   | 1312,4 | 1309,0               | 1009,5              |
| 130%   | 1671,1 | 1387,5               | 1207,7              |
| 160%   | 2029,9 | 1466,1               | 1405,8              |

Fonte: Da autora (2022)

Diante do cenário de crescente aumento de custos no mercado de fertilizantes, há necessidade de uso eficiente destes insumos, com destaque para ureia, que teve aumento de 40% em setembro de 2021 devido a paralisação e/ou diminuição de plantas produtoras do insumo decorrente do aumento do custo do gás natural, matéria prima fundamental para produção do fertilizante (Bezzon, 2021).

De maneira geral, o primeiro (10%) e o último (160%) níveis de adubação foram os que consumiram maior quantidade de fertilizantes para a produção de cada saca de café beneficiado/hectare, totalizando 327 e 313kg, respectivamente (Tabela 6). Destaca-se que foi utilizado maior quantidade de superfosfato simples no nível de 10%, e de ureia e potássio no nível de 160% (Tabela 6).

Apesar da aplicação de menor quantidade de adubo no primeiro nível (10%) (Tabela 5), os 327kg de adubo usados para produzir uma saca de 60kg de café beneficiado, é justificado em função da baixa produtividade (Figura 3). Por outro lado, no último nível (160%), os 313kg é justificado pela maior quantidade de fertilizantes aplicado conforme pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 6 - Quantidade de ureia, superfosfato simples (SS) e cloreto de potássio (KCl) em kg/ha usados para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado em 1 hectare. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | Ureia | SS  | KCl | TOTAL |
|--------|-------|-----|-----|-------|
| 10%    | 45    | 204 | 79  | 327   |
| 40%    | 51    | 98  | 52  | 201   |
| 70%    | 58    | 74  | 49  | 181   |
| 100%   | 101   | 101 | 78  | 281   |
| 130%   | 105   | 87  | 76  | 267   |
| 160%   | 130   | 94  | 90  | 313   |

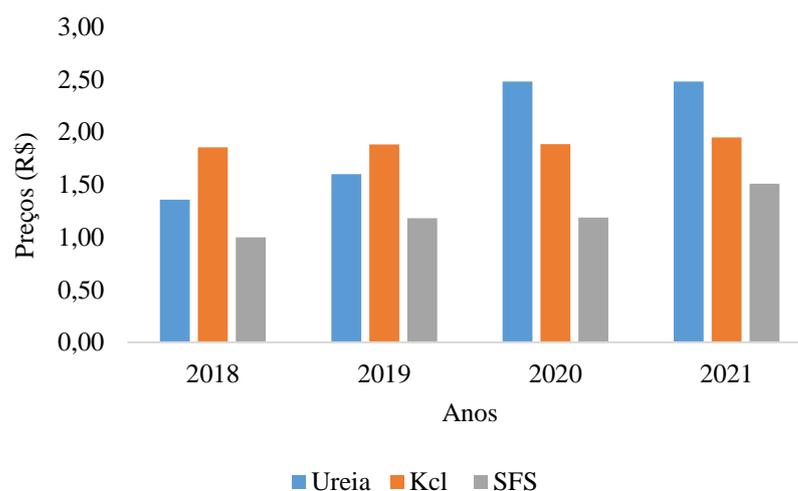
Fonte: Da autora (2022)

Em contrapartida, utilizou-se menor quantidade de fertilizantes (181 kg) no nível de 70%, com menores quantidades de cloreto de potássio e superfosfato simples, sendo necessários 49 e 74 kg destes adubos, respectivamente, para produzir 1 saca de café beneficiado/hectare (Tabela 6).

Diante destes resultados, infere-se que a redução acentuada nos níveis de adubação na fase de formação da lavoura, ou ainda, o aumento excessivo dos níveis de fertilizantes pode trazer prejuízos, uma vez que, no nível de 70% utilizou-se menor quantidade de adubos para produzir 1 saca de café beneficiado/hectare em detrimento aos demais níveis, o que é satisfatório do ponto de vista dos gastos com fertilizantes. Porém, há de se considerar a receita líquida obtida dependendo das produtividades alcançadas em maiores níveis de fertilizantes e o preço de mercado do café, que é o objetivo do presente trabalho.

Como ilustrado na Figura 2, durante o período de implantação e condução da lavoura cafeeira, houve aumento no preço da ureia de maneira significativa entre o ano 1 (2019) e o ano 2 (2020), sendo mantido no ano 3 (2021) até janeiro de 2021. A partir daí houve sucessivos aumentos, onde o custo do quilo deste fertilizante chegou a R\$3,38 em setembro de 2021 (CONABa, 2021).

Figura 1 - Custos (R\$) por quilo (kg), de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples em 2018, 2019, 2020 e Julho de 2021 em Minas Gerais. UFLA, Lavras/MG, 2022.



Fonte: CONABa (2021)

Apesar do custo do cloreto de potássio não ter sofrido significativas variações nos últimos três anos, o preço do quilo, em setembro de 2021, subiu significativamente chegando a

R\$2,54 (CONABa, 2021). Em relação ao superfosfato simples observa-se ligeiro aumento no preço, com destaque entre os anos 2020 e 2021.

Considerando a conjuntura atual envolvendo os fertilizantes que resulta em um mercado ainda mais inflacionado, fica ainda mais evidente a necessidade de se otimizar o uso destes insumos buscando menores custos de produção, porém, atentando-se para que a produtividade também seja adequada.

Em relação ao custo apenas dos fertilizantes, observa-se aumentos não tão significativos nos três primeiros níveis à medida que os anos passam, contudo, a partir do nível de adubação padrão (100%), há aumentos consideráveis do primeiro para o segundo ano nos valores de R\$559,54, R\$726,14 e R\$904,19 nos níveis de 100%, 130% e 160%, respectivamente (Tabela 7). Isso se deve aos custos dos adubos, especialmente da ureia que teve diferença de R\$0,88/kg entre os anos 1 e 2 (Figura 2), mas se deve principalmente a quantidade de fertilizantes aplicados, especialmente ureia e cloreto de potássio, conforme a Tabela 8.

A técnica de adubação contribuiu para aumentar a produtividade da lavoura cafeeira até determinado ponto, (Figura 3), mas, ao mesmo tempo, o consumo dos mesmos também elevou os custos de produção, que podem aumentar ainda mais com a tendência de um mercado cada vez mais inflacionado (Tabela 7).

Nota-se pela Tabela 7 que no ano 1 houve aumento médio de R\$309,58 entre cada nível de adubação, no ano 2 de R\$479,20 e no ano 3 de R\$483,78. Há tendência de aumento da participação percentual dos fertilizantes nos custos de implantação/formação da lavoura, do ano 1 para o ano 2, porém, entre os anos 2 e 3 há tendência de diminuição, provavelmente em função da colheita, que deve ocupar boa parte dos custos totais no ano 3 (Tabela 7).

A adubação mínima necessária no segundo ano após o transplante, sem prejuízos superiores a 10% da produtividade, conforme encontrado no capítulo 2 deste documento, que diz respeito a 74,43% do nível de adubação da produção é de: 149,7 kg ha<sup>-1</sup> de N e 111,15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Portanto, os custos apenas com fertilizantes no ano 3 (2021) seriam cerca de R\$1.185,35, ou seja R\$56,45 a mais em relação ao nível de 70% e R\$426,85 a menos que o nível padrão recomendado (100%).

Por outro lado, a adubação de produção que possibilita alcançar a produtividade máxima (119,06%) também conforme o capítulo 2 foi de: 239,48 kg ha<sup>-1</sup> de N e 177,8 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, cujo custo apenas com fertilizantes no ano 3 (2021) seria de: R\$1.896,56, ou seja, R\$711,21 a mais que a adubação mínima necessária para alcançar, pelo menos 90% da produtividade máxima.

Considerando apenas o nível 100% da adubação padrão, percebe-se que os fertilizantes tiveram participação no custo de implantação (ano 0), e quando considerado o percentual do custo dos três primeiros anos (custo total da implantação) de 15% (Tabela 7). No trabalho realizado por Briosch et al. (2019) os valores encontrados foram maiores, com participação de 25,90% no primeiro ano e 28,43% do quarto ano em diante.

Na região de Guaxupé (Sul de Minas), importante região produtora de café, a CONABb (2021) apontou participação de 25,7% de fertilizantes nos custos de lavoura mecanizada com produtividade média de 30 sc ha<sup>-1</sup> em novembro de 2020.

Tabela 7 - Custo com fertilizantes (R\$), e participação (%) dos mesmos nos custos totais para cada ano da implantação e condução da lavoura. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | ANO 0       | %  | ANO 1       | %  | ANO 2       | %  | ANO 3       | %  | TOTAL       | %  |
|--------|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|
| 10%    | -           | -  | R\$102,68   | 1  | R\$158,77   | 2  | R\$160,36   | 2  | R\$2.274,57 | 6  |
| 40%    | -           | -  | R\$412,38   | 5  | R\$636,02   | 8  | R\$640,91   | 6  | R\$3.542,07 | 9  |
| 70%    | -           | -  | R\$722,53   | 9  | R\$1.113,57 | 13 | R\$1.128,90 | 10 | R\$4.817,76 | 12 |
| 100%   | R\$1.852,76 | 15 | R\$1.031,29 | 12 | R\$1.590,83 | 17 | R\$1.612,20 | 14 | R\$6.087,08 | 15 |
| 130%   | -           | -  | R\$1.341,00 | 15 | R\$2.067,14 | 22 | R\$2.095,49 | 17 | R\$7.356,39 | 17 |
| 160%   | -           | -  | R\$1.650,56 | 18 | R\$2.554,75 | 25 | R\$2.579,25 | 20 | R\$8.637,32 | 19 |

Fonte: Da autora (2022)

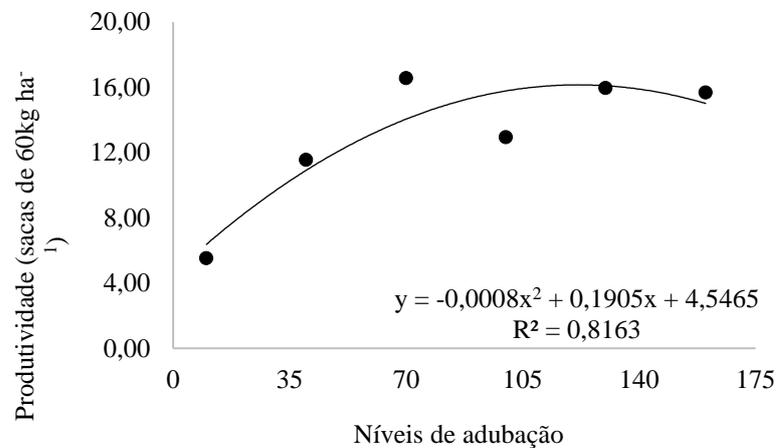
Tabela 8 - Quilos de fertilizantes aplicados nos anos 1 e 2 para cada nível de adubação. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | Ano 1 (2019) |     |     | Ano 2 (2020) |    |     |
|--------|--------------|-----|-----|--------------|----|-----|
|        | Ureia        | SS  | KCl | Ureia        | SS | KCl |
| 10%    | 35           | 26  | 9   | 45           | -  | 25  |
| 40%    | 140          | 105 | 35  | 180          | -  | 100 |
| 70%    | 244          | 183 | 61  | 315          | -  | 176 |
| 100%   | 349          | 262 | 87  | 451          | -  | 251 |
| 130%   | 454          | 340 | 113 | 586          | -  | 326 |
| 160%   | 558          | 419 | 139 | 721          | -  | 401 |

Fonte: Da autora (2022)

Houve efeito significativo dos níveis de adubação para produtividade de café beneficiado. Dessa forma, a função quadrática apresentou ajuste satisfatório ( $R^2=82\%$ ) de modo que, o nível de adubação que permitiu alcançar a produtividade máxima de 15,88 sc ha<sup>-1</sup> correspondeu a 119,06% da adubação padrão, porém com acréscimo na produtividade de apenas 1,80% (Figura 3). Após atingir o máximo, a medida que se aumenta o nível de adubação, a produtividade tende a cair.

Figura 2 - Produtividade de café beneficiado (sacas de 60kg ha<sup>-1</sup>) sob níveis de adubação de NPK.



Fonte: Da autora (2022)

Estes resultados se assemelham aos observados por Clemente et al. (2008) que encontraram 90% do crescimento vegetativo máximo nos níveis de adubação de 71% e 112,25%, para cultivar Topázio MG 1190, plantada em vasos. O mesmo pode ser observado no trabalho de Pinto et al. (2013) que estudando cafeeiro fertirrigado no primeiro ano após o transplântio, encontraram o melhor nível de adubação com NPK de 118,33%.

Por outro lado, o resultado obtido difere do encontrado por Assis et al., (2018) que, trabalhando com níveis de adubação de lavoura cafeeira em produção, encontraram melhor nível de 178,14% em lavoura fertirrigada da cultivar Topázio MG 1190. O mesmo aconteceu em relação ao trabalho de Assis et al. (2015) que também trabalhando com lavoura fertirrigada em produção, encontraram o nível de 179,91% para produzir 82,72 sacas ha<sup>-1</sup>, dessa vez com a cultivar Catiguá MG-3. Estes valores podem ser explicados pela irrigação que contribuiu com o aumento da produtividade e, portanto, maior demanda nutricional (Assis et al., 2015), devendo ponderar também que as lavouras foram implantadas e conduzidas com base na adubação padrão.

Portanto, deve-se considerar que, a resposta ao aumento das doses de nutrientes depende da idade fenológica do cafeeiro e do uso ou não da irrigação, não sendo viável, portanto, extrapolar as conclusões obtidas na fase de formação, para fase produtiva (Vilela et al., 2017).

As exigências nutricionais de lavouras recém-implantadas são inicialmente baixas, e a partir de 1,5 a 2,5 anos de idade elas aumentam rapidamente por ter que suprir as necessidades vegetativas e reprodutivas (Clemente, 2005). Infere-se, portanto, que no presente trabalho ocorreu “fome oculta” (Pinto et al., 2013), ou seja, a quantidade de nutrientes assimilados não

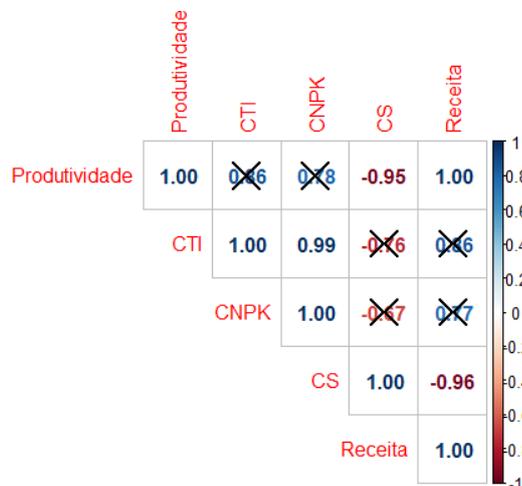
foi suficiente para as plantas com os menores níveis de adubação, resultando em baixas produtividades.

Por outro lado, o aumento da adubação além do padrão não incrementou a produtividade da lavoura, em função da “lei dos rendimentos decrescentes” (Neto et al., 2001). Ou seja, os gastos foram menores nos menores níveis (10% e 40%) e maiores nos maiores níveis (130% e 160%) (Tabela 4), porém a maior produtividade é observada para o nível de 119,06%, com 15,88 sacas de café beneficiados por hectare (Figura 3).

O custo de produção no ano 3 (Tabela 4) para o nível de 70% foi maior que o custo de produção nos níveis de 10% e 40%, porém, o custo da saca de 60 kg de café beneficiado (Tabela 9) foi menor neste nível em comparação aos níveis de 10% e 40%, explicado pela produtividade de 17 sc/ha para o nível de 70% e de 5sc/ha e 12sc/ha para os níveis de 10% e 40%, respectivamente. Portanto, o volume produzido influencia significativamente no custo final da saca de café. Resultado que corrobora com os encontrados por Alves Neto e Lima, (2019) e são confirmados pela forte correlação negativa significativa (-0.95) como pode ser observado na Figura 4. Portanto, quanto maior a produtividade, menor é o custo da saca de café beneficiado.

Como era de se esperar, a produtividade e a receita possuem forte correlação positiva (1.00) de forma que quanto maior a produtividade, obviamente maior será a receita. O mesmo acontece na relação entre o Custo Total da Implantação (CTI) e o Custo apenas com os fertilizantes NPK (CNPK) (Figura 4), enfatizando novamente a grande contribuição dos custos com adubação nos custos totais de implantação de uma lavoura cafeeira.

Figura 3 – Valores da correlação de Spearman da produtividade (sc ha<sup>-1</sup>), Custo Total da Implantação (CTI) (R\$), Custo total apenas com NPK (CNPK) (R\$), Custo da Saca (CS) (R\$) e a Receita (R\$).



Fonte: Da autora (2022)

Considerando o custo da saca de R\$1.050,00, a menor receita foi observada para o nível de 10% com saldo negativo no ano 3 e saldo negativo total, cujo valor foi de R\$ 31.081,61, o mais negativo dentre os níveis. Já para o nível de 70% a receita foi a maior encontrada entre todos os tratamentos (R\$17.388,00) e o saldo menos negativo no ano 3 (R\$23.480,98) dentre todos os níveis (Tabela 9).

Com base nos resultados apresentados até aqui, infere-se que, apesar do manejo das plantas com o nível de 70% da adubação ter sido bastante eficiente nas condições de “quantidade e custo dos fertilizantes” e “custo do produto final”, o melhor nível do ponto de vista de produtividade máxima foi de 119,06% que correspondeu a 15,88 sc ha<sup>-1</sup> (Figura 3). No entanto, considerando o custo total da implantação e condução da lavoura (Tabela 4) e o cenário correspondente a média histórica do preço da saca de café beneficiado, nos últimos cinco anos (Tabela 10), o nível de 100% (mais próximo do melhor encontrado em relação a produtividade máxima) não difere muito do nível de 70%.

Os resultados, acima, inferem que pode ser economicamente adequado implantar e conduzir lavoura cafeeira até três anos, reduzindo cerca de até 25% da adubação recomendada por Guimarães et al. (1999), principalmente em casos em que o produtor não tenha condições financeiras adequadas, no momento. Contudo, há de se ressaltar que não se sabe se esta redução pode causar prejuízos futuros de produtividade ao longo do ciclo da cultura a ponto de trazer consequências econômicas ao cafeicultor em função da “fome oculta” (PINTO et al., 2013).

Há de se destacar o nível mínimo de adubação de produção que permite alcançar pelo menos 90% da produtividade (74,43%) conforme o capítulo 2, reforçando ainda mais a possibilidade de reduzir a adubação em até 25% do recomendado nos 3 primeiros anos da cultura.

Alguns pontos devem ser destacados como a estreita diferença dos custos entre os níveis de 100% (padrão) e 70% na implantação e formação da lavoura cafeeira (Tabela 4), e a utilização de menor quantidade de fertilizantes no nível de 70% para produzir uma saca de café beneficiado/ha (Tabela 6).

Tabela 9 - Valores de produtividade, custo da saca, receita, saldo no ano 3 e saldo total. UFLA, Lavras/MG, 2022. (Continua).

| Níveis | Produtividade e (sc/ha) | Custo da saca (R\$/sc)* | Receita (R\$)* | Saldo ano 3 (R\$)* | Saldo total (R\$) |
|--------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| 10%    | 5                       | R\$1.741,03             | R\$5.533,50    | -R\$3.641,74       | -R\$31.081,61     |
| 40%    | 12                      | R\$904,44               | R\$12.306,00   | R\$1.705,96        | -R\$26.520,49     |

|      |    |           |              |             |               |
|------|----|-----------|--------------|-------------|---------------|
| 70%  | 17 | R\$715,94 | R\$17.388,00 | R\$5.532,04 | -R\$23.480,98 |
| 100% | 13 | R\$910,66 | R\$13.587,00 | R\$1.803,07 | -R\$27.996,53 |
| 130% | 16 | R\$794,32 | R\$16.758,00 | R\$4.080,70 | -R\$26.505,48 |
| 160% | 16 | R\$838,32 | R\$16.443,00 | R\$3.314,88 | -R\$28.057,87 |

\*Referente ao ano 3 (2021)

Fonte: Da autora (2022) (Conclusão)

Ressalta-se que o preço da saca de café, utilizado neste cálculo, se deu devido a interferência causada no volume de produção pelas adversidades climáticas ocorridas em 2020 e 2021, portanto, diferente da média histórica. Dessa forma, considerando o preço médio dos últimos cinco anos, de acordo com o Cepea/Esalq, (2021) que foi de R\$469,00, o cenário é pior. Neste caso, a receita no nível de 70% seria semelhante às receitas nos níveis de 130% e 160% e próximas do nível padrão (100%), além disso, em todos os níveis haveria prejuízo no ano 3 e o saldo total negativo também aumentaria significativamente, aumentando ainda mais o tempo gasto para recuperação do capital investido (Tabela 10).

Considerando um cenário onde o produtor possui boas condições financeiras para adubar sua lavoura; o preço dos fertilizantes não seja muito alto; o preço da saca de café seja melhor e que a faixa entre 70% e 119,06% seja segura, em termos financeiros, e produtivos, talvez seja interessante que este produtor adube sua lavoura no intervalo dessa faixa, pois quanto maior a produtividade menor é o custo da saca e maior é a receita conforme observa-se na Figura 4 e nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 10 - Valores de produtividade, custo da saca, receita, saldo no ano 3 e saldo total considerando o custo médio da saca de café nos últimos cinco anos a R\$469,00. UFLA, Lavras/MG, 2022.

| Níveis | Produtividade (sc/ha) | Custo da saca (R\$/sc)* | Receita (R\$)* | Saldo ano 3 (R\$)* | Saldo total (R\$) |
|--------|-----------------------|-------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| 10%    | 5                     | R\$1.741,03             | R\$2.471,63    | -R\$6.703,61       | -R\$34.143,48     |
| 40%    | 12                    | R\$904,44               | R\$5.496,68    | -R\$5.103,36       | -R\$33.329,81     |
| 70%    | 17                    | R\$715,94               | R\$7.766,64    | -R\$4.089,32       | -R\$33.102,34     |
| 100%   | 13                    | R\$910,66               | R\$6.068,86    | -R\$5.715,07       | -R\$35.514,67     |
| 130%   | 16                    | R\$794,32               | R\$7.485,24    | -R\$5.192,06       | -R\$35.778,24     |
| 160%   | 16                    | R\$838,32               | R\$7.344,54    | -R\$5.783,58       | -R\$37.156,33     |

\*Referente ao ano 3 (2021)

Fonte: Da autora (2022)

Diante de todos estes resultados, infere-se que o nível de 70% da adubação padrão foi eficiente nas condições de “quantidade e custo dos fertilizantes” (Tabelas 6 e 7), “custos totais na implantação e formação” (Tabela 4), “produtividade sem prejuízos superiores a 10%” e “Custo da saca e Receita” (Tabelas 9 e 10). Estes resultados enfatizam a possibilidade de se

considerar possível aplicar menor nível de adubação na implantação, condução e produção de lavoura cafeeira nos primeiros três anos com segurança no aspecto financeiro e produtivo diante de toda problemática atual envolvendo o mercado de fertilizantes nas condições de realização deste trabalho.

Por outro lado, mesmo diante de boas condições financeiras, não é recomendado adubar a lavoura em níveis acima de 120%, pois ocorrerá aumento de custos, mas não haverá aumento significativo de produtividade e, conseqüentemente, ocorrerá prejuízos econômicos.

#### **4 CONCLUSÕES**

Plantas de café com níveis de adubação entre 10 e 40% da adubação padrão têm sua produtividade comprometida.

Apesar dos resultados de produtividade nos níveis de 130 e 160% da adubação padrão serem satisfatórios, o mesmo não ocorre do ponto de vista econômico, em relação ao nível de 70%.

O nível de 74,43% da adubação de produção é satisfatório do ponto de vista econômico sem que haja prejuízos de produtividade superiores a 10% nas condições de realização deste trabalho. Dessa forma, em caso de dificuldade financeira, há possibilidade de adubar a lavoura cafeeira em formação entre os níveis de 70 e 119% até a primeira produção, caso contrário, é importante manter o nível padrão recomendado (100%).

## **5 CONSIDERAÇÕES**

Sugere-se dar continuidade às análises econômicas neste experimento, ao longo dos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. Em dois meses de guerra, preços dos fertilizantes sobem até 32%, segundo CNA. **CNN Brasil**, 2022. Disponível em <https://www.cnnbrasil.com.br/business/em-dois-meses-de-guerra-precos-dos-fertilizantes-sobem-ate-32-segundo-cna/>.
- ALVES NETO, A., LIMA, F. C. de. C. (2019). Custo de Produção de café (*Coffea arabica* L.) na região de Vera Cruz-SP. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, 36(2), 1-14. Recuperado de: [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/mvW460R4zosYZH0\\_2020-2-5-8-24-7.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/mvW460R4zosYZH0_2020-2-5-8-24-7.pdf).
- ARAÚJO, F. H. V., CRUZ, R. de. S., PORTO, D. W. B., & MACHADO, C. M. M. (2020). Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 50. doi:10.1590/1983-40632020v5058646.
- ASSIS, G. A de., GUIMARÃES, R. J., COLOMBO, A., SCALCO, M. S. (2015). Critical ranges for leaf nitrogen and potassium levels in coffee fertigated at the production phase. **Ciência Agrônômica**, 46(1), 126-134. doi:10.1590/S1806-66902015000100015.
- ASSIS, G. A., MELO, M. R. P., SOARES, M. A., ASSIS, F. A. de. (2018). Níveis de adubação N e K em cafeeiros fertirrigados e sua função de resposta. **Ciência Agrícola**, 16(3), 65-73. doi:10.28998/rca.v16i3.5607.
- AZEVEDO JUNIOR, R. R., SANTOS, J. B. dos., BARETTA, D., RAMOS, A. C. (2019). Discriminating Organic and Conventional Coffee Production Systems Through Soil and Foliar Analysis Using Multivariate Approach. **Communications in soil Science and plant analysis**, 50, 651-661. doi:10.1080/00103624.2019.1581795.
- BCR – Bolsa de Comércio do Rosário. Importadores e exportadores de fertilizantes: qual a importância da Rússia e Belarus? + soja, 2022. Disponível em: <https://maissoja.com.br/importadores-e-exportadores-de-fertilizantes-qual-a-importancia-da-russia-e-belarus/>.
- BEZZON, L. (2021, 09 29). **Disponibilidade global de fertilizantes nitrogenados é ameaçada por cenário de “tempestade perfeita”**. Disponível em: <https://www.mercadosagricolas.com.br/fertilizantes/disponibilidade-global-de-fertilizantes-nitrogenados-e-ameacada-por-cenario-de-tempestade-perfeita/>.
- BRIOSCHI, P. F., COSTA, A. F. da., GALEANO, E. A. V., BÁRBARA, W. P. de. F. (2019). Análise de custo e viabilidade econômica do café arábica em Venda Nova do Imigrante, ES. **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia**, (20), 127-136. Disponível em: <https://periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia/article/view/491>.
- CECAFE - Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. (2021). **Exportações Brasileiras de Café – Relatório Mensal x Tipo de Café – Exportação entre 01/01/2020 e 31/12/2020**. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/>.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2021). **Indicador de Café Arábica** **CEPEA/ESALQ**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/cafe.aspx>.

CLEMENTE, F. M. V. T. (2005). Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura (Master's dissertation, Universidade Federal de Lavras). Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/4278>.

CLEMENTE, F. M. V. T., CARVALHO, J. G. de., GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G. (2008). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio – Primeiro ano. **Coffee Science**, 3(1), 47-57. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/5633#preview>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2017). **A cultura do café: Análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2008 a 2017 – Compêndio de estudos CONAB**. Disponível em: <https://1library.org/document/qoge6l5z-compendio-estudos-cultura-cafe-analise-custos-producao-rentabilidade.html>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café – Primeiro levantamento safra 2022**, v. 9. n. 1, 2022.

CONABa – Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). **Preços Agropecuários**. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta>.

CONABb – Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). **Série histórica – Custos – Café Arábica – 2003 a 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/798-cafe-arabica>.

CURI, N. C., KER, J. C., NOVAIS, R. F., VIDAL-TORRADO, P. (2017). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

ELIAS, J. Como crise na Rússia e Belarus encarece os fertilizantes para o Brasil. **CNN Brasil Business**, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/como-crise-na-russia-e-belarus-encareceu-os-fertilizantes-para-o-brasil/>.

FEHR, L. C. F. de. A., DUARTE, S. L., TAVARES, M., DOS REIS, E. A. (2012). Análise das variáveis de custos do café arábica nas principais regiões produtoras do Brasil. **Reuna**, 17(2), 97-115. Disponível em <https://revistas.una.br/reuna/article/view/447>.

FURTINI NETO, A. E., VALE, F. R. do., RESENDE, A. V. de., GUILHERME, L. R. G. (2001). **Fertilidade do solo**. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11493>.

GUIMARÃES, P. T. G., GARCIA, A. W. R., ALVAREZ V, V. H., PREZOTTI, L. C., VIANA, A. S., MIGUEL, A. E., MALAVOLTA, E., CORRÊA, J. B., LOPES, A. S., NOGUEIRA, F. D., MONTEIRO, A. V. C., OLIVEIRA, J. A. de. Cafeeiro. In Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., & Alvarez, V. H (Eds), **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**, p. 289-302, Minas Gerais: UFV, 1999.

MATIELLO, J. B. (2020, 12 30). Faça as contas: Custos de produção x rentabilidade. Disponível em: <https://revistacampeonenegocios.com.br/faca-as-contas-custos-de-producao-x-rentabilidade/>.

OIC – International Coffee Organization. (2019). **Survey on the impact of low coffee prices on exporting countries**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/Restricted/icc-124-4e-impact-low-prices.pdf>.

PINTO, C. G., GUIMARÃES, R. J., VILLELA, G. M., SCALCO, M. S. (2013). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, 8(4), 530-538. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/13590>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

VILELA, D. J., CARVALHO, G. R., BOTELHO, C. E., PRAXEDES, M. A (2017). Initial growth of coffee tree cultivars with different doses of nitrogen, phosphorus and potassium. **Coffee Science**, 12(4), 552-561. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1370>.

**APÊNDICE A - Croqui do experimento. UFLA, Lavras/MG, 2022.**

| Bloco I   |        |        |        |        | Bloco II |        |        |        |        | Bloco III |        |        |        |        | Bloco IV |        |        |        |        | Estrada |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Bordadura |        |        |        |        |          |        |        |        |        |           |        |        |        |        |          |        |        |        |        |         |        |        |        |
| T<br>1    | T<br>5 | T<br>4 | T<br>3 | T<br>2 | T<br>6   | T<br>4 | T<br>2 | T<br>1 | T<br>5 | T<br>6    | T<br>3 | T<br>4 | T<br>1 | T<br>6 | T<br>5   | T<br>3 | T<br>2 | T<br>5 | T<br>2 |         | T<br>3 | T<br>6 | T<br>4 |
| Bordadura |        |        |        |        |          |        |        |        |        |           |        |        |        |        |          |        |        |        |        |         |        |        |        |

Fonte: Da autora (2022)



(Continuação)

|                                      |                       |     |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
|--------------------------------------|-----------------------|-----|------|---------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|
| Arruação                             | HM                    | 100 | -    | -       | -    | -      | -    | -      | -    |        |        |
| Varrição                             | HM                    | 150 | -    | -       | -    | -      | -    | -      | -    |        |        |
| Beneficiamento                       | Sc                    | 12  | -    | -       | -    | -      | -    | -      | -    |        |        |
| Transporte Interno                   | %                     | 10  | -    | -       | -    | -      | -    | -      | -    |        |        |
| <b>B3 - Insumos e Materiais</b>      |                       |     |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| Calcário                             | R\$ ton <sup>-1</sup> | 170 | 1,09 | 185,73  | -    | -      | -    | -      | -    | -      | -      |
| Superfosfato Simples                 | SC                    | xx  |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| Ureia                                | SC                    | xx  |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| Cloreto de Potássio                  | SC                    | xx  |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| Sulfato de Zinco                     | Kg                    | xx  | 8    | 33,36   | 8    | 33,36  | 8    | 33,36  | 8    | 33,36  | 33,36  |
| Ácido Bórico                         | Kg                    | xx  | 75   | 323,25  | 75   | 323,25 | 75   | 323,25 | 75   | 323,25 | 323,25 |
| Herbicidas                           | L                     | xx  | 6,45 | 367,97  | 6,45 | 367,97 | 6,45 | 367,97 | 6,45 | 367,97 | 367,97 |
| Herbicidas                           | Kg                    | xx  | 0,32 | 86,24   | 0,32 | 86,24  | 0,32 | 86,24  | 0,32 | 86,24  | 86,24  |
| Fungicidas                           | L                     | xx  | 1,6  | 259,20  | 1,6  | 259,20 | 1,6  | 259,20 | 1,6  | 259,20 | 259,20 |
| Fungicidas                           | Kg                    | xx  | 11,1 | 494,84  | 11,1 | 494,84 | 11,1 | 494,84 | 11,1 | 494,84 | 494,84 |
| Inseticidas/acaricidas               | L                     | xx  | 4,41 | 216,66  | 4,41 | 216,66 | 4,41 | 216,66 | 4,41 | 216,66 | 216,66 |
| Inseticidas/acaricidas               | Kg                    | xx  | -    | -       | -    | -      |      |        |      |        |        |
| Óleo Mineral                         | L                     | xx  | 1,5  | 19,82   |      |        |      |        |      |        |        |
| Sacarias                             | Unidade               | 1,2 | -    | -       | -    | -      | -    | -      | -    |        |        |
| Formicidas                           | Pct c/10              | 8   | 2    | 16      | 2    | 16     | -    | -      | -    | -      | -      |
| Mudas                                | Unidade               | 0,5 | 5345 | 2672,50 | -    | -      | -    | -      | -    | -      | -      |
| <b>Subtotal B - Custos Variáveis</b> |                       |     |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| <b>C - CUSTOS FIXOS</b>              |                       |     |      |         |      |        |      |        |      |        |        |
| Assistência técnica                  | R\$/há                | 100 | 1    | 100     | 1    | 100    | 1    | 100    | 1    | 100    | 100    |
| Mão de obra administrativa           | R\$/há                | 120 | 12   | 1440    | 12   | 1440   | 12   | 1440   | 12   | 1440   | 1440   |
| Contabilidade/Escritório             | R\$/há                | 70  | 1    | 70      | 1    | 70     | 1    | 70     | 1    | 70     | 70     |
| Luz/Telefone                         | R\$/há                | 60  | 12   | 720     | 12   | 720    | 12   | 720    | 12   | 720    | 720    |

|   |        |        |         |        |         |        |         |        |         |        |
|---|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Depreciação<br>Benfeitorias/Instalações | R\$/há | 105,27 | 1       | 105,27 | 1       | 105,27 | 1       | 105,27 | 1       | 105,27 |
| <b>Subtotal C - Custos Fixos</b>        |        |        | 2435,27 |        | 2435,27 |        | 2435,27 |        | 2435,27 |        |
| <b>Total A + B + C</b>                  |        |        |         |        |         |        |         |        |         |        |

\*Qtde = Quantidade. (Conclusão).