



VICTOR HUGO SILVA SOUZA

**CAFEEIROS PODADOS FERTIRRIGADOS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

**LAVRAS – MG
2021**

VICTOR HUGO SILVA SOUZA

**CAFEIROS PODADOS FERTIRRIGADOS COM DIFERENTES
NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

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 a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

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

Souza, Victor Hugo Silva.

Cafeeiros podados fertirrigados com diferentes níveis de
adubação / Victor Hugo Silva Souza. - 2021.

79 p. : il.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Coorientador(a): Dalys Toledo Castanheira.

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

Bibliografia.

1. Coffea arabica L. 2. Nutrição mineral. 3. Macronutrientes. I.
Guimarães, Rubens José. II. Castanheira, Dalys Toledo. III. Título.

VICTOR HUGO SILVA SOUZA

**CAFEEIROS PODADOS FERTIRRIGADOS COM DIFERENTES
NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

**PRUNED COFFEE FERTIRRIGATION WITH DIFFERENT
FERTILIZATION LEVELS**

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 a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 26 de agosto de 2021.

Dr. Virgílio Anastácio da Silva	UFLA
Dra. Dalysse Toledo Castanheira	UFLA
Dra. Daniele Pereira Baliza	IFSUDESTEMG
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA-Café

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

*Aos meus pais, Irineu de Souza Junior e Dulce
Helena Silva, por todo apoio e suporte durante
todo o caminho até aqui.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente em nossas vidas.

Aos meus pais, Irineu e Dulce, por todo apoio, suporte e ensinamentos proporcionados. Em especial a minha mãe, por sempre me incentivar a seguir meus objetivos.

A minha esposa Maria Cristina, pelo apoio e companheirismo no meu dia a dia e pelo amor demonstrado todos os dias.

Ao meu filho Luiz Guilherme, por tornar meus dias mais especiais, cheios de luz e encanto.

À minha irmã Larissa e meu cunhado Luiz Henrique, pelo amor, pela atenção e pelas distrações necessárias.

Ao professor Rubens José Guimarães, por toda orientação, pela confiança e pelo incentivo no desenvolvimento desse trabalhos.

À professora Dalysse Toledo Castanheira, pela coorientação e contribuição neste trabalho.

Aos membros da banca de defesa, pela participação, dedicação e pelos apontamentos que engrandeceram este trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e a todos os professores que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

Ao Setor de Cafeicultura, por toda ajuda e estrutura fornecida para o meu aprendizado.

Ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF), por todo o conhecimento proporcionado e por toda ajuda dedicada.

Aos alunos de graduação, Augusto Aguiar Araujo Junqueira, Hugo Reis Brito e Elisangela, pelo convívio e pela dedicação nas avaliações, sem vocês o trabalho não seria o mesmo.

Aos alunos de pós-graduação, Lorena Martins Brandão, Marina Scalioni Vilela e Pedro Menicucci Netto, por todo suporte, pelas lições, alegrias e pelo companheirismo entre os projetos da cafeicultura fertirrigada e a cafeicultura de sequeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão dessa etapa.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES)- código de financiamento 001.

Muito obrigado!

RESUMO

O cultivo do cafeeiro tem grande importância no cenário nacional e internacional, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial dessa *commodity*. Um dos fatores primordiais para o alcance de altas produtividades é o fornecimento adequado de nutrientes, principalmente após uma poda drástica. Objetivou-se estabelecer recomendação de adubação para o cafeeiro fertirrigado, no quarto e quinto ano após recepa, pela avaliação do crescimento, rendimento (por ocasião da colheita) e produtividades, além de avaliar as alterações na anatomia e fisiologia das plantas adubadas em diferentes níveis de N, P e K. Dois experimentos foram realizados em Lavras - MG, no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As lavouras foram implantadas em março de 2010 e conduzidas com diferentes níveis de adubação (fertirrigação), sendo que no experimento 1, os níveis de adubação foram variados desde a implantação da lavoura, e no experimento 2, os níveis variaram após o primeiro ano de formação. As mudas utilizadas foram da cultivar Topázio MG-1190. Cada experimento contou com 6 níveis de adubação (10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160%) da adubação padrão recomendada para cafeicultura de sequeiro. Em 2015, as plantas foram submetidas à poda do tipo “recepa baixa, sem pulmão”, e avaliadas quanto à morfologia, fisiologia e anatomia (2019/2020). O delineamento utilizado nos experimentos foi em blocos ao acaso em esquema fatorial com parcelas subdivididas no tempo, com três repetições, sendo um fatorial 6x2 (seis níveis de adubação e duas colheitas). Doses de N, P e K, acima de 100% da adubação padrão, proporcionaram melhor crescimento dos cafeeiros fertirrigados, sendo que em lavouras implantadas com níveis de adubação abaixo do recomendado têm seu crescimento comprometido, mesmo até o quarto e quinto ano após a recepa (10 anos após a implantação). Maiores produtividades após recepa são alcançadas em cafeeiros fertirrigados, de lavouras implantadas com níveis de adubação próximos aos recomendados e adubados com pelo menos 100% da adubação padrão de produção, alcançando produtividade de até 93,05 scs. ha⁻¹. Para a adubação de lavouras fertirrigadas no quarto e quinto ano após a recepa, com produtividades de cerca de 93,05 scs. ha⁻¹, são necessários pelo menos 54,0 g . pl⁻¹ de N (450 kg . ha⁻¹ de N); 4,0 g . pl⁻¹ de P₂O₅ (33,3 kg . ha⁻¹ de P₂O₅); e 20,0 g . pl⁻¹ de K₂O (166,7 kg . ha⁻¹ de K₂O). Em cafeeiros fertirrigados com níveis de adubação de 110% da adubação padrão desde a implantação da lavoura, é possível se obter o rendimento no quarto e/ou quinto ano após a recepa de 498,14 litros de café no momento da colheita, necessários para se obter uma saca de 60kg de café beneficiado, enquanto em condições de deficiência nutricional podem ser necessários 701,99 L . sc⁻¹. Menores valores de diâmetros equatoriais e maiores valores de DP/DE encontrados nas folhas das plantas com maiores níveis de adubação (100, 130 e 160%).

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. Macronutrientes.

ABSTRACT

The cultivation of coffee is of great importance on the national and international scene, with Brazil being the world's largest producer and exporter of this commodity. One of the key factors for achieving high yields is the adequate supply of nutrients, especially after drastic pruning. The objective was to establish a fertilization recommendation for fertigated coffee, in the fourth and fifth years after reception, by evaluating growth, yield (at harvest) and yields, in addition to evaluating changes in the anatomy and physiology of fertilized plants at different levels of N, P and K. Two experiments were carried out in Lavras - MG, in the Coffee Growing Sector of the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras (UFLA). The crops were implemented in March 2010 and conducted with different levels of fertilization (fertirrigation), and in experiment 1, the levels of fertilization were varied since the implementation of the crop, and in experiment 2, the levels varied after the first year of formation. The seedlings used were of the cultivar Topázio MG-1190. Each experiment had 6 levels of fertilization (10%, 40%, 70%, 100%, 130% and 160%) of the standard recommended fertilization for rainfed coffee growing. In 2015, the plants were subjected to pruning of the "low vine, no lung" type, and evaluated for morphology, physiology and anatomy (2019/2020). The design used in the experiments was randomized blocks in a factorial scheme with split plots over time, with three replications, being a 6x2 factorial (six levels of fertilization and two harvests). Doses of N, P and K above 100% of the standard fertilization provided better growth of fertigated coffee trees, and in crops planted with fertilization levels below the recommended, their growth was compromised even up to the fourth and fifth years after receiving (10 years after implantation). Higher yields after reception are achieved in fertigated coffee trees, in plantations with fertilization levels close to those recommended and fertilized with at least 100% of the standard production fertilization, reaching productivity of up to 93.05 scs. ha⁻¹. For the fertilization of fertigated crops in the fourth and fifth years after reception, with yields of around 93.05 scs. ha⁻¹, at least 54.0 g is required. p1⁻¹ N (450 kg.ha⁻¹ N); 4.0 g. p1⁻¹ P₂O₅ (33.3 kg.ha⁻¹ P₂O₅); and 20.0 g. p1⁻¹ K₂O (166.7 kg.ha⁻¹ K₂O). In fertigated coffee plants with fertilization levels of 110% of the standard fertilization since the implementation of the crop, it is possible to obtain the yield in the fourth and/or fifth years after receiving 498.14 liters of coffee at the time of harvest, necessary for obtain a 60kg bag of processed coffee, while in conditions of nutritional deficiency 701.99 L may be needed. sc⁻¹. Lower values of equatorial diameters and higher values of DP/DE found in the leaves of plants with higher levels of fertilization (100, 130 and 160%).

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. Macronutrients.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Croqui representativo da área irrigada com lavoura formada com diferentes níveis de adubação, em relação à recomendação padrão, desde sua formação (experimento 1).....32
- Figura 2- Croqui representativo da área irrigada com o experimento onde as adubações foram de 100% da recomendação até o primeiro ano após o ano de implantação (experimento 2).....33
- Figura 3- Comprimento do ramo plagiotrópico (A), número de ramos plagiotrópicos (B) e diâmetro do caule (C) em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em janeiro/2019 no experimento 1. UFLA, 2021.....41
- Figura 4- Altura da planta (A), número de ramos plagiotrópicos (B) e diâmetro do caule (C) em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em janeiro/2020 no experimento 1. UFLA, 2021.....43
- Figura 5- Altura da planta em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em maio/2020 no experimento 1. UFLA, 20244
- Figura 6- Produtividades alcançadas em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 202147
- Figura 7- Rendimento dos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 202148
- Figura 8- Produtividades dos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 202150
- Figura 9- Média de rendimento nos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 202151
- Figura 10- Diâmetro equatorial dos estômatos (A) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (B) em agosto de 2019 de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 202152
- Figura 11- Relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) dos estômatos em fevereiro de 2020 de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 202153
- Figura 12- Índice de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C) e condutância estomática (D) de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K em novembro de 2020– Experimento 2. UFLA, 202155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Caracterização química do solo do experimento 1, na área onde o experimento está instalado	31
Tabela 2-	Caracterização química do solo do experimento 2, na área onde o experimento está instalado	32
Tabela 3-	Descrição das doses de adubos empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2019/2020	34
Tabela 4-	Quantidades de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O aplicada no agrícola 2018/2019 e 2019/2020.....	34
Tabela 5-	Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2019, maio/2019 e setembro/2019 no experimento 1	40
Tabela 6-	Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2020, maio/2020 e setembro/2020 no experimento 1	42
Tabela 7-	Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2019, maio/2019 e setembro/2019 no experimento 2	45
Tabela 8-	Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2020, maio/2020 e setembro/2020 no experimento 2	46
Tabela 9-	Resumo da análise de variância para Produtividade e Rendimento do café colhido em função das doses de N, P e K aplicadas e levando-se em consideração os anos de produção (safras) – Experimento 1	47
Tabela 10-	Resumo da análise de variância para Produtividade e Rendimento do café no momento da colheita em função das doses de N, P e K aplicadas e levando-se em consideração os anos de produção (safras) – Experimento 2	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	A planta de café	16
2.2	Os nutrientes	16
2.2.1	Nitrogênio	17
2.2.2	Fósforo	19
2.2.3	Potássio	20
2.3	Nutrição de cafeeiros irrigados	21
2.4	Podas no cafeeiro	23
2.5	Efeitos da adubação no crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro	25
2.6	Efeitos da adubação na anatomia foliar e fisiologia do cafeeiro	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Caracterização da área experimental	30
3.2	Tratamentos e delineamento experimental	33
3.3	Avaliações de crescimento	35
3.4	Avaliações pós-colheita	35
3.5	Avaliações fisiológicas	36
3.6	Avaliações anatômicas	37
3.7	Análises estatísticas	38
4	RESULTADOS	39
4.1	Crescimento do cafeeiro	39
4.1.1	Experimento 1	39
4.1.2	Experimento 2	44
4.2	Produtividade e rendimento	46
4.2.1	Experimento 1	46
4.2.2	Experimento 2	49
4.3	Anatomia e fisiologia	51
4.3.1	Experimento 1	51
4.3.2	Experimento 2	53
5	DISCUSSÃO	56
5.1	Efeitos no crescimento vegetativo	56
5.2	Efeitos na produtividade	60
5.3	Rendimento do café no momento da colheita	63

5.4	Anatomia e fisiologia.....	65
6	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande importância no agronegócio brasileiro, pois o país ocupa posição de destaque mundial como maior produtor e exportador (ICO, 2021). Estima-se em 2021, a produção de 49,58 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado em área estimada de 2,18 milhões de hectares, sendo o estado de Minas Gerais, o principal produtor, com 1,27 milhão de hectares, ocupados com café arábica, aproximadamente 71,5% da área nacional cultivada com a espécie (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2021).

Para a manutenção de grande representatividade mundial, busca-se o aperfeiçoamento das formas de manejo utilizadas, a fim de se obter maiores produtividades e lucros provenientes da cultura. Nesse contexto, verifica-se grande evolução do setor cafeeiro brasileiro no período de 1997-2021, em que a área produtiva era de 2,4 milhões de hectares, com produtividade de 8,0 sacas/hectare e, passados 24 anos, houve redução da área para 2,18 milhões de hectares, com produtividade de mais de 28 sacas/ha (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2019; CONAB, 2021).

Atrelado a esse incremento de produtividade, obtido no decorrer dos anos, ocorre maior exigência da planta quanto à nutrição mineral, o que pode ser evidenciado por alterações no crescimento, na morfologia e no vigor das plantas. Por isso, avanços no entendimento das necessidades nutricionais e recomendações de adubação tornam-se necessários com tantas mudanças tecnológicas ocorridas nos últimos anos (VILELA, 2020).

Uma dificuldade é comumente encontrada pelo cafeicultor quanto ao uso de corretivos e fertilizantes minerais, pois na elaboração do custo de produção da cultura esses itens podem chegar a 25-30% do custo total da saca de café beneficiado (GUIMARÃES; REIS, 2010). Com isso, em anos de preços baixos do produto, os cafeicultores reduzem drasticamente o uso desses insumos, comprometendo ainda mais a produtividade e, conseqüentemente, a receita líquida do empreendimento. Em contrapartida, em épocas de bons preços do café, o cafeicultor é levado ao uso excessivo de fertilizantes, ocasionando em determinadas situações, desequilíbrios nutricionais, o que também pode levar a perdas de crescimento e produtividade e, portanto, prejuízos econômicos.

Quando se trata da cultura do café, no Brasil, existem vários tipos de cultivos,

sendo que, dentre eles, se destaca a cafeicultura irrigada por possuir um grande potencial produtivo. O Brasil tem 449.300,00 ha irrigados de café, ou seja, cerca de 25% da área destinada à cultura. Desses 449.300,00 ha irrigados, 46,20% estão no Espírito Santo, 29,90% em Minas Gerais, 10,20% na Bahia, 9,60% em Rondônia, 2,00% em São Paulo, e 1,7% em Goiás (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA, 2021).

Para se ter uma ideia da importância da irrigação na cafeicultura brasileira cita-se o percentual de lavouras de café irrigadas em alguns dos principais estados produtores: Goiás (100%); Espírito Santo (60 a 70%); Rondônia (60 a 70%); Bahia (40%); Minas Gerais (14%); São Paulo (4%) (ANA, 2021).

As lavouras de café fertirrigadas têm melhor desenvolvimento que as cultivadas em regime de sequeiro, justificando a fertirrigação no Sul de Minas Gerais (SOUZA, 2012; SOBREIRA *et al.*, 2011). Assim, maior crescimento e maiores produtividades obtidas no sistema irrigado demandam maiores adubações (PINTO *et al.*, 2013).

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com lavoura de café fertirrigada, evidenciando os resultados dos diferentes níveis de adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na produtividade e estabelecimento de faixas críticas de teores foliares desses macronutrientes no primeiro e segundo anos de adubação após o plantio (PINTO *et al.*, 2013; VILLELA *et al.*, 2015). Na mesma área experimental onde foram feitos os trabalhos citados acima, também foram realizados estudos com anatomia e fisiologia, como o de Gama *et al.* (2017), que demonstraram os efeitos das adubações nas características de trocas gasosas, anatomia foliar e produtividade no segundo ano após o ano de plantio.

O crescimento acelerado das lavouras irrigadas, muitas vezes leva à necessidade de se trabalhar com podas para melhorar o manejo, garantindo a arquitetura ideal das plantas, evitando o autossombreamento excessivo na entre linha, o que pode levar à perda de ramos plagiotrópicos na parte inferior do dossel (THOMAZIELLO *et al.*, 2000), e consequente queda na produtividade. Em função disso, na mesma área experimental dos trabalhos anteriores, Resende (2019) estabeleceu o crescimento e a produtividade de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de N, P e K, antes e após poda por recepa, contribuindo para novos conceitos de adubação.

De posse dos resultados construídos até então, e de forma a concluir um trabalho iniciado em 2010, objetivou-se com este trabalho estabelecer recomendação de adubação para o cafeeiro fertirrigado, também na quarta e quinta safras após recepa, pela avaliação

do crescimento, rendimento (por ocasião da colheita) e produtividades, além das alterações na anatomia e fisiologia das plantas adubadas em diferentes níveis de N, P e K.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A planta de café

A planta de café, segundo a classificação botânica, pertence à família das Rubiaceas, gênero *Coffea*, que engloba um número diverso de espécies, sendo as mais conhecidas no mundo as espécies de Café arábica (*Coffea arabica*) e Café robusta ou Conilon (*Coffea canephora*) (DAVIS *et al.*, 2006).

O cafeeiro é uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, lignificado, reto e quase cilíndrico (SOUZA, 2017). Os ramos são dimórficos, cujo dimorfismo é relacionado à direção dos ramos ortotrópicos, que formam as hastes ou troncos. Os ramos laterais, produtivos saem dessas hastes, crescem na horizontal e são chamados ramos plagiotrópicos (MATIELLO *et al.*, 2020).

As gemas florais de *Coffea arabica* L. se desenvolvem, principalmente, nos ramos laterais denominados plagiotrópicos, crescidos na estação anterior e, com menor frequência nos ramos ortotrópicos (DEDECCA, 1957).

O fruto do cafeeiro é uma drupa elipsoide que possui exocarpo (“casca”), endocarpo coriáceo (‘pergaminho’) e dois lócus com dois endospermas (sementes), envolvidas pelo espermoderma (película prateada). O exocarpo é a camada mais externa do fruto, que, quando maduro, pode ser vermelho ou amarelo, conforme a cultivar. O mesocarpo é mucilaginoso aquoso e açucarado, estando entre a “casca” e o “pergaminho”, que é coriáceo e duro protegendo a semente (CASTRO; MARRACCINI, 2006).

Ao final do ciclo produtivo, têm-se as etapas decisivas: colheita, secagem e processamento. Durante essas etapas, deve-se ter cuidado, para que não se perca ou prejudique a qualidade do produto obtido, durante o ano de cultivo. Depois de processados adequadamente, os frutos são consumidos na forma de infusão (SOUZA, 2017).

2.2 Os nutrientes

Pela realização da fotossíntese, os vegetais fazem reservas de energia para posterior uso em seus processos vitais, captando energia luminosa, fixando-a em carboidratos, a partir de gás carbônico (CO₂), do ar e da água. Ao mesmo tempo retiram

do ambiente, principalmente do solo, elementos químicos considerados essenciais aos processos metabólicos (MESQUITA *et al.*, 2016).

Todos os elementos essenciais estão presentes na planta, mas nem todos os elementos encontrados na planta são essenciais. Os nutrientes presentes na planta podem enquadrar-se nas seguintes categorias, segundo Malavolta (2006): a) essencial, ou seja, sem ele a planta não vive; em função da quantidade em que estão presentes, classificam-se como macronutrientes ou micronutrientes; b) benéfico, ou seja, sem ele a planta vive, mas, em dadas condições a sua presença pode ajudar o crescimento e aumentar a produtividade; c) tóxico, ou seja, elementos essenciais ou benéficos podem tornar-se tóxicos quando presentes em concentrações muito altas no meio; por definição é aquele que diminui o crescimento e a produtividade, podendo ser natural ou antropogênico.

Ainda sobre os elementos considerados essenciais, Mesquita *et al.* (2016), os classifica em: a) Macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, demandados em maior quantidade pela planta; b) Micronutrientes: boro, zinco, cobre, ferro, manganês, cloro e molibdênio, demandados em menor quantidade pela planta.

A realização do balanço dos nutrientes com base apenas na dose, a partir da diferença entre a entrada e a saída de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), pode ser utilizado como indicador de sustentabilidade do sistema de produção e da eficiência de uso dos nutrientes (DECHERT; VELDKAMP; BRUMME, 2005). Dessa forma, pode-se citar a importância dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, os quais serão mencionados neste trabalho.

2.2.1 Nitrogênio

Aproximadamente 95% do nitrogênio (N) presente no solo encontra-se na forma orgânica, sendo que além desse existem as formas inorgânicas minerais (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), que são bem caracterizadas, uma vez que podem ser separadas e quantificadas. Embora os seus conteúdos no solo sejam bem menores do que a fração orgânica elas são de grande importância na nutrição das plantas e em vários processos relativos ao ciclo do N (VIEIRA, 2017).

O nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e está entre os mais limitantes para o seu crescimento, por estar presente nas principais reações bioquímicas e processos fisiológicos que ocorrem nos vegetais (SOUZA;

FERNANDES, 2018). Na planta, o nitrogênio atua como um importante regulador de processos fisiológicos e bioquímicos, tais como, expansão foliar, desenvolvimento radicular e expressão de inúmeros genes (BOUGUYON; GOJON; NACRY, 2012).

É ainda um dos nutrientes mais acumulados pelo cafeeiro, sendo que uma adubação nitrogenada adequada é fundamental tanto ao crescimento estrutural da planta (folhas, caule, ramos e raízes), como também ao florescimento e à frutificação abundantes (MESQUITA *et al.*, 2016). O nitrogênio absorvido é transportado no xilema e redistribuído no floema, no qual apresenta grande mobilidade, e por isso, apresenta sintomas de deficiência nas folhas mais velhas, sendo caracterizado pela clorose generalizada das folhas (MALAVOLTA, 2006).

Outros autores ainda citam como consequência da deficiência de nitrogênio a clorose generalizada, redução da síntese de clorofila, redução drástica no desenvolvimento da planta, ocorrência de desfolha de ramos medianos, seca de ponteiros e diminuição do tamanho e aumento na queda dos frutos (CARVALHO *et al.*, 2010; GUIMARÃES; REIS, 2010).

Citando os macronutrientes por ordem de extração do solo, o nitrogênio é o segundo, antecedido pelo potássio. Para cada 10 sacas de café produzidas, serão necessários 25,8 kg de N, sendo que desses, 14,2 kg farão parte do café beneficiado e o restante (11,6kg) estarão na “casca” após o beneficiamento. Ou seja, o N é encontrado na concentração de 2,3% a 2,4% no café beneficiado e de 1,5% a 2,5% na casca (após o beneficiamento) (GARCIA; CARVALHO; GARCIA, 2008).

A utilização dos fertilizantes nitrogenados de forma indiscriminada, sem levar em consideração as necessidades da cultura, pode causar sérios danos ao meio ambiente devido à possibilidade de mais da metade do fertilizante aplicado ser perdido (INSELBACHER *et al.*, 2013). Essas perdas podem ser causadas pela imobilização por microrganismos, a qual ocorre de forma mais intensa no período logo após a aplicação do fertilizante nitrogenado, ou pela transferência desse N para outros locais e consequente conversão dele em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera, contribuindo para o aumento dos gases do efeito estufa (INSELBACHER *et al.*, 2013; SOUZA; FERNANDES, 2018).

Com isso, pode-se ressaltar a importância de recomendações precisas para garantir o melhor aproveitamento do fertilizante nitrogenado pelas plantas de café que sofreram poda. Devido a ser um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento e

desenvolvimento dos cafeeiros e estar sujeito a perdas por diferentes processos, além de ser bastante empregado na agricultura por sua exigência em altas concentrações pelas espécies cultivadas.

2.2.2 Fósforo

O fósforo (P) talvez seja o nutriente mais investigado na literatura, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produtividade das culturas, principalmente em solos que apresentam avançado grau de intemperismo, e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006).

O fósforo do solo ocorre em formas inorgânicas (Pi) e orgânicas (Po), que contribuem em diferentes proporções para o P disponível. O Pi compreende o íon fosfato na solução do solo (P-solução), todas as formas precipitadas com Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} e adsorvidas aos oxi-hidróxidos de Fe e de Al da fração argila e, ainda, as formas estruturais dos minerais fosfatados (GATIBONI *et al.*, 2013). O Po é originado dos resíduos vegetais, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição e pode constituir cerca de 5 a 80% do P total do solo (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

Na solução do solo, o P ocorre nas formas aniônicas, H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , cujas concentrações variam em função do pH. Em regiões tropicais, onde prevalecem os solos ácidos, o P da solução ocorre quase que exclusivamente na forma de H_2PO_4^- (HAVLIN *et al.*, 2005). O P em solução é mantido pelo P adsorvido na superfície das partículas sólidas do solo ou oriundo da dissolução de minerais primários e da decomposição da matéria orgânica. O equilíbrio entre o P-solução e o P-sólido depende da concentração dos íons fosfato na solução, da quantidade de P na fase sólida e da resistência do solo em desorver P [fator intensidade (I), fator quantidade (Q) e fator capacidade de P ou poder tampão (Q/I), respectivamente] (NOVAIS *et al.*, 2007).

O fósforo é o nutriente disponível em menor quantidade na rizosfera, pois a maior parte deste nutriente se encontra indisponível às plantas devido a diversas interações ocorridas no solo principalmente com o Al, Fe e Ca (JIANG *et al.*, 2015). Essa retenção de fósforo no solo acontece devido ao fosfato ser fortemente adsorvido aos óxidos de Fe e Al predominantes em solos tropicais altamente intemperizados, sendo um fator limitante para que a planta consiga aproveitar de maneira eficiente, o nutriente fornecido via adubação (JIANG *et al.*, 2015; ROY *et al.*, 2016; WITHERS, 2018).

As perdas de P para o solo são restritivas ao crescimento e desenvolvimento da planta, pois o nutriente é fundamental na transferência de energia em processos do metabolismo primário, como a fotossíntese e a respiração, além de participar da síntese de ácidos nucleicos, glicose, síntese e estabilidade de membrana, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N₂ (TAIZ *et al.*, 2017; VANCE *et al.*, 2003).

Entre os macronutrientes, em ordem de extração do solo, o fósforo é o quinto elemento mais absorvido, sendo antecedido por K, N, Ca e Mg. Para cada 10 sacas de café produzidas, serão necessários 1,4 kg de P, sendo que desses, 0,9 kg farão parte do café beneficiado e o restante (0,5 kg) estarão na “casca” após o beneficiamento. Ou seja, o P é encontrado na concentração de 0,14% a 0,16% no café beneficiado e de 0,08% a 0,09% na casca (após o beneficiamento) (GARCIA; CARVALHO; GARCIA, 2008).

Nesse contexto, áreas com alta adsorção de fósforo nos solos apresentam a necessidade de aplicação de grandes quantidades de fertilizantes para suprir as demandas do nutriente pela cultura (HEUER *et al.*, 2017). Devido a isso, o aumento da utilização de fontes fosfatadas é superior ao incremento de áreas cultivadas no mesmo período de tempo, sendo de 5,5% e 2,6% ao ano, respectivamente (WITHERS, 2018).

Ainda, é importante ressaltar que as fontes para a fabricação de fertilizantes fosfatados são finitas, e a utilização deste insumo deve ser feita de forma consciente visando otimizar ao máximo sua eficiência (ROY *et al.*, 2016). Em vista disso, Withers (2018) comparou em seu trabalho alguns possíveis cenários futuros para o consumo de fósforo no Brasil até 2050, ano no qual estima-se que a população mundial chegará a mais de 9 bilhões, ocasionando o aumento da demanda de produção agrícola e, conseqüentemente, do consumo de fósforo.

Na literatura são encontrados resultados evidenciando a resposta do cafeeiro a diferentes doses de P₂O₅, sendo que Souza *et al.* (2014) ressaltaram que para o pleno desenvolvimento do cafeeiro são necessárias aplicações de doses de fósforo superiores às recomendadas atualmente.

2.2.3 Potássio

O potássio (K) é o segundo nutriente mais demandado pelo cafeeiro, exerce importante papel na fotossíntese, respiração e circulação da seiva, sendo que a sua exigência é maior em plantas mais velhas. Nos frutos, para os quais é translocado das

folhas adjacentes, o potássio é acumulado em grande quantidade, daí a recomendação do retorno da palha de café para as lavouras, por ser rica neste nutriente. É uma forma de minimizar a exportação do nutriente pelos frutos de café, com economia nos gastos com a adubação (MESQUITA *et al.*, 2016).

O potássio é o nutriente mais abundante na planta e é absorvido em grandes quantidades pelas raízes na forma do íon K^+ , possui papel importante na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais (CARVALHO *et al.*, 2010; MEURER; TIECHER; MATTIELO, 2018). O potássio participa de vários processos fisiológicos na planta, como: ativação de diversos sistemas enzimáticos, fotossíntese, energia para a produção de ATP, absorção de N e síntese de proteínas e de amido nas folhas (TAIZ *et al.*, 2017).

Por ter importante papel na regulação da abertura e fechamento dos estômatos e portanto na perda de água pelas folhas, o seu adequado suprimento possibilita ao cafeeiro resistir mais nos períodos secos. Sua importância se estende, ainda, na resistência ao frio, por conferir maior concentração em solutos na planta, como resultado de uma maior eficiência fotossintética (MESQUITA *et al.*, 2016).

Dessa forma, o nutriente apresenta função essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta e está relacionado a fatores como produção, qualidade e resistência a estresses (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Possui importante efeito na fase reprodutiva do cafeeiro, principalmente no desenvolvimento dos frutos, por participar da síntese e transporte de carboidratos (CARVALHO *et al.*, 2010).

Garcia, Carvalho e Garcia (2008) relatam que, ordenando os macronutrientes pela extração do solo, o potássio é o primeiro elemento mais absorvido. Para cada 10 sacas de café produzidas serão necessários 27,9 kg de K, sendo que desses, 11,4 kg farão parte do café beneficiado e o restante (16,5 kg) estará na “casca” após o beneficiamento. Ou seja, o K é encontrado na concentração de 1,83% a 2,03% no café beneficiado e de 2,7% a 2,75% na casca (após o beneficiamento).

Em excesso, o K pode levar a deficiência de magnésio e, possivelmente, manganês, zinco e ferro, devido à competição pelo mesmo sítio de absorção (CARVALHO *et al.*, 2010).

2.3 Nutrição de cafeeiros irrigados

O aumento de produtividade em cafeeiros irrigados é evidente, mesmo em regiões onde se questionava a viabilidade de se usar esta tecnologia, como no Sul de Minas Gerais (SILVA; FARIA; REIS, 2003), sendo que se têm observado na região a perda de produtividade e qualidade dos frutos devido à ocorrência de veranicos comuns em fases fenológicas importantes desta cultura (SILVA; TEODORO; MELO, 2008).

Para se evitar perdas e potencializar o ganho em produtividade, a irrigação por gotejamento, muitas vezes associada à fertirrigação, tem sido adotada de forma expressiva pelos cafeicultores, inclusive em regiões como o sul de Minas (SOBREIRA *et al.*, 2011). Além do fornecimento de água nestas fases fenológicas, a fertirrigação diminui custos com a aplicação de adubos, por substituir a utilização de tratores pelo sistema de irrigação, aumentando a produtividade e a disponibilidade de máquinas para outras atividades na lavoura (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007).

Comparada ao sistema convencional de adubação, a fertirrigação possibilita aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos frutos do cafeeiro, reduzindo custos com mão de obra na adubação e aumentando a eficiência no manejo do solo (PEREIRA *et al.*, 2010). Contudo, os benefícios da técnica são limitados em razão da escassez de informações científicas específicas para o cafeeiro, sobretudo quanto a doses e número de parcelamentos necessários no ano. A fertirrigação na cafeicultura vem sendo discutida com base em trabalhos relacionados à irrigação (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; SILVA *et al.*, 2008), à adubação líquida (FAGUNDES, 2006) e à fertirrigação (COSTA, 2005; KARASAWA; FARIA; GUIMARÃES, 2002; NAZARENO *et al.*, 2003; RESENDE, 2019; REZENDE *et al.*, 2010; SOBREIRA *et al.*, 2011).

O parcelamento das adubações em 12 vezes por ano, como o realizado no presente trabalho, é outro benefício constatado por Sobreira *et al.* (2011). Com todos estes resultados, o benefício da irrigação, independente da região, porém, devido à escassez de estudos para quantificar as doses ideais de fertilizantes para lavouras irrigadas, antes e após as podas, as recomendações se baseiam ainda nas tabelas sugeridas para cafeeiros não irrigados como a recomendação de Guimarães *et al.* (1999), o que não é ideal, tendo em vista que lavouras cafeeiras irrigadas crescem mais do que lavouras não irrigadas, o que altera a exigência de nutrientes da planta (RESENDE, 2019).

Devido à carência de estudos em nutrição de cafeeiros irrigados, especialmente em lavouras em formação, as recomendações têm sido baseadas na recomendação para

lavouras de sequeiro, com poucas adaptações (RESENDE, 2019). Assim, baixas produtividades em cafeeiros irrigados têm sido estreitamente relacionadas à desordens nutricionais devido à falta de um programa de manejo de adubação (ASSIS *et al.*, 2012).

Tal fato pode comprometer o desenvolvimento das plantas quando conduzidas com irrigação, induzindo a uma carência ou excesso de nutrientes, pois o cafeeiro irrigado apresenta padrão de crescimento e produtividade diferenciados, conforme resultados obtidos em várias pesquisas (ARANTES; FARIA; REZENDE, 2009; CARVALHO *et al.*, 2006; REZENDE *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2008; SOBREIRA *et al.*, 2011).

O Brasil tem 449.300,00 ha irrigados de café, ou seja, cerca de 25% da área destinada à cultura. Desses 449.300,00 ha irrigados, 46,20% estão no Espírito Santo, 29,90% em Minas Gerais, 10,20% na Bahia, 9,60% em Rondônia, 2,00% em São Paulo, e 1,7% em Goiás (ANA, 2021).

Para se ter uma ideia da importância da irrigação na cafeicultura brasileira cita-se o percentual de lavouras de café irrigadas em alguns dos principais Estados produtores: 100% da cafeicultura goiana é irrigada; 60 a 70% das lavouras do Espírito Santo e Rondônia são irrigadas; 40% da cafeicultura baiana é dependente de irrigação; 14% das lavouras de Minas Gerais são irrigadas; 4% das lavouras de São Paulo são irrigadas (ANA, 2021).

Também, a fertirrigação do cafeeiro, quando comparada ao sistema convencional, pode reduzir os custos com mão de obra durante as adubações, diminuir a compactação do solo pelo menor tráfego de máquinas, e, principalmente, promover maior eficiência na utilização dos nutrientes, devido à possibilidade de parcelamento e de uniformização da distribuição (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007).

Nesse sentido, há a necessidade do desenvolvimento de pesquisas para que se possa promover a otimização dos fertilizantes, fato que faz das funções de produção importante instrumento nos estudos econômicos das produções agrícolas. Outro fato que deve ser considerado no manejo da adubação exclusivamente via água de irrigação é que o custo dos fertilizantes específicos para essa técnica leva a uma relação benefício-custo menor que a adubação convencional, o que justifica o desenvolvimento de pesquisas que possam auxiliar na redução da quantidade aplicada de fertilizantes, gerando economia para os cafeicultores (ASSIS *et al.*, 2018).

2.4 Podas no cafeeiro

A poda do cafeeiro é uma técnica há muito tempo conhecida por técnicos e cafeicultores. Sua utilização, no entanto, só se intensificou no início dos anos 70, com o plantio das lavouras no sistema de renque e com os planos de renovação de cafezais. Na cafeicultura moderna, a poda passou a ser incorporada às práticas usuais de manejo. Ao contrário do que muitas vezes se acredita, ela normalmente não aumenta o potencial produtivo do cafeeiro, mas pode, sim, ser um recurso muito eficiente na regularização da safra, bem como facilita a execução das diversas operações de manejo e de colheita (MESQUITA *et al.*, 2016).

Segundo Thomaziello (2013), vários objetivos podem ser alcançados por meio da poda, sendo elas: a) renovar os ramos produtivos e modificar a arquitetura da planta; manter uma adequada relação folha/ fruto (20 cm² de área foliar por fruto de café); b) permitir maior luminosidade e estimular a produção em locais com fechamento ou autossombreamento; adequar a entrada de luz e a aeração, para reduzir condições predisponentes ao ataque de algumas pragas e doenças; c) atenuar o ciclo bienal para regular a produção; d) eliminar ramos afetados por pragas ou doenças; e) eliminar seca de ponteiros causados por desequilíbrios nutricionais e depauperados, após superproduções; f) corrigir danos causados às plantas devido à ocorrência de eventos climáticos adversos, como geadas, granizos e secas; g) revigorar plantas deformadas, “cinturadas” e debilitadas; h) facilitar operações de manejo da lavoura que dependem de equipamentos manuais ou motorizados; i) eliminar o excesso de ramos não produtivos (ladrões); j) economizar na aquisição e aplicação de fertilizantes e defensivos, em anos de preços baixos do café, reduzindo custos; k) adequar o formato e a altura dos cafeeiros, para a colheita mecânica.

A decisão pelo tipo de poda será em função da avaliação técnica, econômica e operacional. No caso da recepa, consiste em cortar o ramo ortotrópico a uma altura de 20 a 40 cm do solo, chamada de “recepa baixa”, ou de 40 a 100 cm, denominada “recepa alta”. É utilizada, normalmente, quando a planta já perdeu grande parte dos ramos baixios, sendo a altura do corte determinada em função destes ramos, visando preservar o que restou deles (MESQUITA *et al.*, 2016).

Resende (2019), trabalhando com o crescimento e a produtividade de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de N, P e K, na mesma área experimental do presente estudo concluiu que após a recepa de cafeeiros fertirrigados que receberam diferentes

doses de fertilizantes desde o plantio, as maiores produtividades foram encontradas no nível de 129,5% da adubação recomendada para cafeicultura de sequeiro. Já na área de cafeeiros fertirrigados que receberam a dose recomendada para cafeicultura de sequeiro no primeiro ano de formação, a maior produtividade foi encontrada acima do nível de 160%, ultrapassando 87 scs.ha⁻¹. Portanto, Resende (2019) concluiu que os diferentes níveis de adubação desde o período de formação das plantas e continuando com os mesmos tratamentos após recepa interferiram no crescimento, produtividade e granação dos frutos, tanto na formação, quanto na recuperação das plantas após recepa.

2.5 Efeitos da adubação no crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro

A busca por conhecimentos sobre o padrão de crescimento da planta é relevante para um manejo adequado, pois esta característica está diretamente vinculada à produtividade. A produção de frutos do cafeeiro se dá em gemas novas, e a emissão de gemas depende do crescimento dos ramos plagiotrópicos, sendo que a emissão de novos ramos plagiotrópicos depende do crescimento do ramo ortotrópico. Desta forma, o potencial de produção do ano seguinte fica condicionado ao potencial de crescimento destes ramos (DUBBERSTEIN *et al.*, 2017).

O crescimento vegetativo apresenta periodicidade sazonal ao longo do ciclo, com período de taxas elevadas e períodos de retardo. Relata-se que umas das principais causas da sazonalidade de crescimento são as variações climáticas, sendo que altas e baixas temperaturas, como também, chuva e estiagem comprometem o desenvolvimento do cafeeiro. Além disso, a frutificação, ciclo de maturação, idade dos ramos, estado nutricional da planta e manejo da adubação podem atuar sobre o crescimento do cafeeiro (AMARAL *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2013; PARTELLI *et al.*, 2013; RAMALHO *et al.*, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2016).

Em trabalho com quatro cultivares de cafeeiro recém-plantadas em sequeiro quanto ao seu crescimento inicial sob diferentes doses de N, P e K, em solos corrigidos e com bom teor de matéria orgânica, Vilela *et al.* (2017) constataram baixa demanda inicial desses nutrientes até um ano de idade. Além disso, relataram uma resposta não linear no crescimento vegetativo com o aumento de doses dos nutrientes estudados e, ainda concluíram que pode-se reduzir em até 50% o recomendado por Guimarães *et al.* (1999) nas adubações com N, P e K, tanto em adubação de cobertura como para

adubação de primeiro ano nas condições do solo utilizado no experimento. No entanto, Vilela *et al.* (2017) avaliaram o experimento até 14 meses após a implantação.

Em lavouras fertirrigadas, no primeiro e segundo anos de adubação após o plantio, Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015) verificaram que o melhor nível de adubação com N, P e K é 122,61% e 118,33% da adubação padrão utilizada para lavouras de sequeiro, respectivamente.

Resende (2019) afirmou que na formação da lavoura, até a quarta safra, as maiores produtividades foram encontradas na faixa de 116% a 131% da adubação padrão com N, P e K. Além disso, o mesmo autor ressalta que em níveis de adubação acima de 130%, o incremento na produtividade é insatisfatório em relação ao custo de produção.

Ainda, em lavoura fertirrigada, Santana *et al.* (2019) concluíram que níveis de adubação abaixo de 80% com N e K, recomendada para plantas não irrigadas, restringem o crescimento do cafeeiro em lavouras irrigadas e os níveis de adubações acima do patamar de 130% não promovem diferenças expressivas no índice de área foliar das plantas de cafeeiros fertirrigado nos parcelamentos utilizados.

2.6 Efeitos da adubação na anatomia foliar e fisiologia do cafeeiro

Os trabalhos realizados com anatomia das folhas de cafeeiros tiveram início na década de 50 (DEDECCA, 1957), havendo uma longa pausa de pesquisas relacionadas a esse tema, por isso são necessárias novas pesquisas, inclusive ligando características anatômicas e fisiológicas do cafeeiro, de ambas as espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner (GAMA *et al.*, 2017).

A anatomia foliar varia em função da radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e nutrientes do solo, conferindo assim características adaptativas para que a planta tenha um ótimo desenvolvimento (ROSOLEM; LEITE, 2007), apresentando alterações nas espessuras dos parênquimas esponjoso e paliçádico, e dimensões estomáticas (BALIZA *et al.*, 2012).

Informações relacionadas à anatomia e à fisiologia vegetal são fundamentais na compreensão de possíveis modificações das plantas frente aos diferentes níveis de adubação. Relata-se que a nutrição mineral exerce importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando fatores relacionados à fisiologia, à composição da organização estrutural e ao crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006). A falta de um nutriente mineral essencial à planta, seja por escassez no solo ou devido a menor absorção quando

em interação com outros nutrientes, traduzem-se em deficiências nutricionais e como consequência, desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A folha é um dos principais órgãos da planta e exerce, dentre outras funções, fotossíntese e trocas gasosas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). As modificações no ambiente podem afetar processos-chave do metabolismo da planta, como a fotossíntese, o metabolismo dos carboidratos na folha, a abertura estomática, bem como a expressão gênica (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Em cafeeiros, a anatomia e fisiologia foliar sofrem modificações em função das condições de radiação (BALIZA *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2008; MORAIS *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2006), restrição hídrica (BATISTA *et al.*, 2010; CASTANHEIRA, 2018; DAMATTA; RAMALHO, 2006; GRISI *et al.*, 2008; PELOSO *et al.*, 2017; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014) e diferentes níveis de adubação com macro e micronutrientes (GAMA *et al.*, 2017; GODOY *et al.*, 2008; NETTO, 2020; NEVES, 2009; REIS *et al.*, 2006; ROSOLEM; LEITE, 2007), com objetivo de conferir características adaptativas à planta em diferentes situações.

Rosolem e Leite (2007) avaliaram o efeito dos níveis de adubação com boro (B) na anatomia de ramos e folhas, com duas cultivares de café (grupos Catuaí e Mundo Novo), observaram em plantas com deficiência de B uma redução no número de estômatos, desorganização dos tecidos vasculares e as paredes do xilema mais finas. Ainda concluíram que tal resultado, mesmo que eventualmente, pode resultar em menor translocação de B dentro da planta. Neves (2009) observou que o tratamento sem fornecimento de Zn não apresentou sinais de desorganização dos tecidos, porém, ocorreu aumento da espessura do limbo foliar, do mesófilo e do parênquima esponjoso.

Reis *et al.* (2006), em trabalho com cafeeiro em sequeiro, avaliaram o efeito de cinco doses (0, 50, 150, 250 e 350 kg ha⁻¹) em três épocas de aplicação (aplicação única, duas aplicações e três aplicações) de N sobre o teor foliar, índice de clorofila e produtividade, observaram correlação positiva entre o índice de clorofila e o teor de N nas folhas e produtividade, sendo que a dose de 210 kg ha⁻¹ proporcionou maior produtividade e teores foliares adequados. Os mesmos autores, concluíram também que a estimativa do teor de clorofila foi promissora para detecção de possíveis deficiências de nitrogênio.

Em cafeeiro fertirrigado, Godoy *et al.* (2008) trabalharam com cinco doses de N (0, 33, 66, 100 e 133% da dose recomendada) com objetivo de verificar se o índice relativo de clorofila (IRC) poderia ser indicativo do estado nutricional em N.

Observaram que o IRC aumentou linearmente com as doses, e a produtividade correlacionou-se significativamente com o IRC, do florescimento até a colheita, porém, não com a concentração de N foliar. Ainda, concluíram que o IRC pode ser utilizado para definir a probabilidade de resposta a N no decorrer do ciclo do cafeeiro.

Resultados obtidos por Gama *et al.* (2017), em trabalho com objetivo de identificar possíveis modificações nas características de anatomia foliar, fisiologia e produtividade dos cafeeiros fertirrigados submetidos a diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160% da recomendação) com NPK, no segundo ano após implantação da lavoura, indicaram diferenças na anatomia foliar do cafeeiro, verificando alterações na densidade estomática, diâmetro equatorial e polar dos estômatos, espessura do parênquima paliçádico, vasos do xilema e floema, demonstrando possíveis correspondências dessas características com a disponibilidade de nutrientes.

Netto (2020), ao avaliar a secção paradérmica foliar de cafeeiros submetidos a diferentes níveis de N, P e K na formação notou efeito significativo no diâmetro polar dos estômatos (DP) e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) em agosto de 2019 e em fevereiro de 2020 a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE). Para o diâmetro polar e a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos, em agosto de 2019, observou-se efeito cúbico no comportamento das variáveis, sendo os pontos de máxima encontrados em 122,39% e 138,62% da adubação, respectivamente. Os pontos de mínima do diâmetro polar dos estômatos e a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos foram encontrados em 45,88% e 40,04% da adubação, respectivamente.

Os autores ainda observaram a não significância para as variáveis produtividade e trocas gasosas do cafeeiro entre os diferentes níveis de adubação. Entretanto, são poucas as informações encontradas na literatura sobre o efeito dos níveis de adubação no comportamento das características anatômicas e fisiológicas do cafeeiro em sequeiro, no período de formação.

Gama (2015), trabalhando com cafeeiros fertirrigados, no primeiro ano após a implantação, verificou que conforme aumentou-se a adubação com N, P e K em cafeeiro irrigado, houve um aumento no número de estômatos até próximo do nível de 130% da dose padrão recomendada. Ainda no mesmo estágio fenológico, o mesmo autor observou que o diâmetro equatorial dos estômatos foi reduzido nos menores níveis de adubação de 40 e 70%.

Também Gama *et al.* (2017) verificaram que houve aumento no diâmetro

equatorial dos estômatos e aumento da densidade estomática com o aumento no nível de adubação nas duas épocas de avaliação, demonstrando possível correspondência dessa característica com a disponibilidade de nutrientes. Para o número de estômatos os maiores valores foram encontrados no nível de 130,00% da adubação padrão com N, P e K. Porém, os autores trabalharam com cafeeiros fertirrigados, diferentemente do presente trabalho em que se trabalhou com lavoura sem irrigação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos no município de Lavras - MG, no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a 970 metros de altitude, latitude 21°13'31,5" Sul e longitude 44°58'14,1" Oeste. As médias anuais das temperaturas média, máxima e mínima do ar são de 19,4, 21,6 e 14,4 °C, respectivamente. O clima da região é classificado como Cwa, mas apresenta características de Cwb com duas estações distintas, a seca no período de abril a setembro e a chuvosa no período de outubro a março, segundo a classificação de Köppen (SÁ JÚNIOR *et al.*, 2012). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo vermelho-escuro distroférico de textura argilosa (CURI *et al.*, 2017).

As lavouras foram implantadas em março de 2010 e conduzidas com diferentes níveis de adubação. No mês de agosto de 2015, as plantas foram submetidas à poda tipo 'recepta baixa' ou 'sem pulmão', a 30 cm do solo. No experimento 1, a aplicação dos tratamentos (diferentes níveis de adubação) foi realizada logo após o plantio. Já no experimento 2, no primeiro ano pós-plantio foi realizada a adubação recomendada por Guimarães *et al.* (1999) e com aplicação dos tratamentos (diferentes níveis de adubação) somente no segundo ano pós-plantio.

A justificativa para as duas condições impostas (experimentos 1 e 2) é que no primeiro caso, busca-se o melhor nível de adubação para lavouras recepadas fertirrigadas com base nas recomendações para lavouras recepadas sem irrigação. Ou seja, neste caso, consegue-se quantificar as perdas em produtividade em relação a melhor dose de N, P e K, mantendo-se o mesmo nível de adubação desde a implantação. Esse experimento permite a verificação das diferentes produtividades alcançadas após a recepta, por cafeicultores que optam por diferentes níveis tecnológicos (adubação).

Com o segundo caso (experimento 2), pretende-se também encontrar o melhor nível de adubação para lavouras recepadas fertirrigadas com base nas recomendações para lavouras recepadas sem irrigação, porém, partindo-se de uma lavoura implantada com 100% do recomendado, variando-se as doses somente no segundo ano pós-implantação. A situação simulada no experimento 2 é muito comum na cafeicultura, quando se implanta a lavoura com a adubação próxima àquela recomendada, na esperança de se manter o mesmo nível tecnológico a partir daí, porém, por falta de

recursos financeiros, opta-se por diminuir as doses de fertilizantes do segundo ano pós plantio em diante. Assim, apesar de se ter uma lavoura com nutrição próxima do ideal no primeiro ano de implantação, passa-se a experimentar as perdas a partir daí até após a recepa.

Em agosto de 2018, foram coletadas na área experimental, amostras de solo para análise química nas camadas de 0 a 20 centímetros de profundidade do experimento 1 (Tabela 1) e do experimento 2 (Tabela 2), nas parcelas corerrespondentes a 100% da adubação recomendada por Guimarães *et al.* (1999). Foram coletadas cerca de 10 amostras simples para formar uma composta, em cada profundidade de coleta. Tais dados foram importantes para a recomendação adequada de adubação de cada tratamento.

Tabela 1 - Caracterização química do solo do experimento 1, na área onde o experimento está instalado.

Característica	0-20 cm	Característica	0- 20 cm
pH (H ₂ O)	5,5	T - (cmol _c .dm ⁻³)	7,59
P-rem - (mg L ⁻¹)	21,7	V - (%)	44,66
P - (mg.dm ⁻³)	4,2	m - (%)	0,0
K - (mg.dm ⁻³)	110,2	MO - dag.kg ⁻¹	3,0
Ca - (cmol _c .dm ⁻³)	2,4	Zn - (mg.dm ⁻³)	6,4
Mg - (cmol _c .dm ⁻³)	0,7	Fe - (mg.dm ⁻³)	37,1
Al - (cmol _c .dm ⁻³)	0,0	Mn - (mg.dm ⁻³)	11,5
H + Al - (cmol _c .dm ⁻³)	4,2	Cu - (mg.dm ⁻³)	1,0
SB - (cmol _c .dm ⁻³)	3,39	B - (mg.dm ⁻³)	0,08
t - (cmol _c .dm ⁻³)	3,39	S - (mg.dm ⁻³)	10,1

pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V% = porcentagem de saturação por bases; m% = porcentagem de saturação por alumínio; MO = matéria orgânica; Zn = zinco; Fe = ferro; Mn = manganês; Cu = cobre; B = boro e S = enxofre.

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 2 - Caracterização química do solo do experimento2, na área onde o experimento está instalado.

Característica	0-20 cm	Característica	0- 20 cm
pH (H ₂ O)	6,1	T - (cmol _c .dm ⁻³)	7,81
P-rem - (mg L ⁻¹)	23,3	V - (%)	67,99
P - (mg.dm ⁻³)	5,0	m - (%)	0,0
K - (mg.dm ⁻³)	81,1	Matéria org. - dag.kg ⁻¹	3,5
Ca - (cmol _c .dm ⁻³)	3,8	Zn - (mg.dm ⁻³)	7,2
Mg - (cmol _c .dm ⁻³)	1,3	Fe - (mg.dm ⁻³)	29,8
Al - (cmol _c .dm ⁻³)	0,0	Mn - (mg.dm ⁻³)	15,6
H + Al - (cmol _c .dm ⁻³)	2,5	Cu - (mg.dm ⁻³)	0,7
SB - (cmol _c .dm ⁻³)	5,31	B - (mg.dm ⁻³)	0,16
t - (cmol _c .dm ⁻³)	5,31	S - (mg.dm ⁻³)	6,2

pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V% = porcentagem de saturação por bases; m% = porcentagem de saturação por alumínio; MO = matéria orgânica; Zn = zinco; Fe = ferro; Mn = manganês; Cu = cobre; B = boro e S = enxofre.

Fonte: Do autor (2021).

Os experimentos foram implantados em março de 2010, com mudas de cafeeiro da cultivar Topázio MG-1190, com espaçamento de 60 centímetros entre plantas e 2 metros entre linhas. As plantas foram submetidas à poda tipo “recepta baixa” ou “sem pulmão”, a 30 cm do solo, no mês de agosto de 2015.

Avaliou-se o crescimento e a produtividade nas safras de 2019 e 2020, além dos efeitos na anatomia e fisiologia das plantas (FIGURAS 1 e 2):

Figura 1 - Croqui representativo da área irrigada com lavoura formada com diferentes níveis de adubação, em relação à recomendação padrão, desde sua formação (experimento 1).

		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
Bordadura	1 ^o exp.				
Tratamento		6 3 2 5 4 2 2 4 1 5 2 1			
Bordadura					
Bordadura					
Tratamento		4 1 5 1 6 3 5 3 6 3 4 6			
Bordadura					

Fonte: Do autor (2021).

Figura 2 - Croqui representativo da área irrigada com o experimento onde as adubações foram de 100% da recomendação até o primeiro ano após o ano de implantação (experimento 2).

		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
Bordadura	2° exp.				
Tratamento		5 2 6 4 6 1	2 6 1	5 4 1	
Bordadura					
Bordadura					
Tratamento		1 3 4 5 3 2	4 5 3	2 6 3	
Bordadura					

Fonte: Do autor (2021).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, contendo seis níveis de adubação e quatro repetições, totalizando 24 parcelas para cada experimento. Cada parcela com 24 plantas (três fileiras de oito plantas), sendo as seis centrais a parcela útil. Dessa forma, os dois experimentos contaram com 1.152 plantas, perfazendo um total de 1.382,40 m².

Os tratamentos corresponderam, respectivamente, aos níveis de 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão, recomendada por Guimarães *et al.* (1999), para adubação padrão recomendada para cafeicultura de sequeiro em função da análise do solo.

Os fertilizantes contendo nitrogênio e potássio foram aplicados via fertirrigação em doze parcelamentos iguais, conforme sugerido por Sobreira *et al.* (2011), enquanto que a adubação fosfatada foi distribuída 50% nos sulcos de plantio e 50% via fertirrigação, considerando as mesmas porcentagens em relação à recomendação padrão para cafeicultura de sequeiro. Nitrogênio, fósforo e potássio foram fornecidos na forma de uréia (45% de N), MAP purificado (60% de P₂O₅ + 11% de N) e nitrato de potássio (12% de N + 43% de K₂O). As descrições das doses aplicadas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição das doses de adubos empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2019/2020. UFLA, 2021.

Tratamentos (%)	Dose de MAP (g.planta ⁻¹)	Dose de NK (g.planta ⁻¹)	Dose de Uréia (g.planta ⁻¹)
T1 (10%)	0,65	4,65	6,04
T2 (40%)	2,60	18,50	24,18
T3 (70%)	4,55	32,55	42,31
T4 (100%)	6,50	46,50	60,45
T5 (130%)	8,45	60,45	78,58
T6 (160%)	10,40	74,40	96,72

Fonte: Do autor (2021).

Dessa maneira, aplicou-se as seguintes quantidades de N, P₂O₅ e K₂O, tanto no ano agrícola 2018/2019 quanto em 2019/2020 (Tabela 4).

Tabela 4 - Quantidades de N, P₂O₅ e K₂O aplicada no agrícola 2018/2019 e 2019/2020. UFLA – MG, 2021.

Tratamentos (%)	Dose de N (g.planta ⁻¹)	Dose de P ₂ O ₅ (g.planta ⁻¹)	Dose de K ₂ O (g.planta ⁻¹)
T1 (10%)	5,4	0,4	2,0
T2 (40%)	21,6	1,6	8,0
T3 (70%)	37,8	2,8	14,0
T4 (100%)	54,0	4,0	20,0
T5 (130%)	70,2	5,2	26,0
T6 (160%)	86,4	6,4	32,0

Fonte: Do autor (2021).

O sistema de fertirrigação nos experimentos constou de uma unidade central com duas caixas-d'água de 10.000 litros cada e um sistema de controle (com bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões). A linha principal contou com tubos PVC PN80, linhas de derivação de PVC PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno PN 40, gotejadores e registros (dos quais podíamos controlar os tratamentos). Os gotejadores (vazão nominal de 3,8 L.hora⁻¹) foram espaçados de 30 em 30 cm na linha, formando uma faixa molhada ao longo da fileira de plantas.

O controle da irrigação foi feito por meio de dados climatológicos diários monitorados por uma estação meteorológica cadastrada no INMET, localizada próxima ao Departamento de Ciência do Solo, nas proximidades da área dos experimentos. O balanço hídrico foi obtido computando a demanda e a disponibilidade hídrica por meio da precipitação pluviométrica (P), evapotranspiração real (ET_r), evapotranspiração

potencial (ETp), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (D) e excedente hídrico (E). Através do conhecimento desse fluxo de entrada e saída de água no solo, ou seja, do balanço hídrico, que eram definidos os períodos com deficiência e necessidade de se realizar a fertirrigação.

Os micronutrientes foram aplicados conforme a necessidade do cafezal, somente em pulverizações conforme recomendações de Guimarães *et al.* (1999) e sem variações de doses.

3.3 Avaliações de crescimento

Foram realizadas 3 avaliações com intervalo de 3 meses entre elas (janeiro, maio e setembro), no período da safra de 2019 e 2020. As características avaliadas foram altura das plantas, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico, número de nós do primeiro ramo plagiotrópico, número de novos ramos plagiotrópicos e diâmetro do caule.

Os dados coletados foram avaliados da seguinte maneira:

a) Altura de plantas (ALT): em metros, medida do colo da planta até a gema apical do ramo ortotrópico, utilizando-se de uma régua graduada;

b) Comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP): em metros, medida no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta, por meio de régua graduada;

c) Número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (NNP): contagem dos nós no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta;

d) Número de novos ramos plagiotrópicos (NP): contagem dos ramos plagiotrópicos com mais de um par de folhas que surgiram a partir de uma marcação no ramo ortotrópico;

e) Diâmetro de caule (DC): em milímetros, medida na região do colo do novo ramo após a poda, com uso de um paquímetro eletrônico digital.

3.4 Avaliações em pós-colheita

Para avaliação da produtividade, realizou-se as colheitas dos frutos de cada parcela separadamente nos anos de 2019 e 2020, para o experimento 1 e para o experimento 2. No momento da colheita identificou-se o estágio de maturação dos frutos, de 10% em estágio verde e 90% em estágio cereja ou passa, para a maioria das parcelas. Os frutos foram colhidos somente nas plantas úteis das parcelas (6 plantas

centrais).

Após a colheita de toda a parcela foi realizada a medição em litros e retirada uma amostra de 2 litros para secagem em terreiro e cálculo das demais características a serem avaliadas. Essas amostras foram colocadas para secar ao sol, sobre peneiras quadradas de 50 cm por 50 cm de dimensão até umidade média de 11%. Em seguida, as amostras foram beneficiadas, quando foram novamente pesadas e medidas em volume (litros), obtendo-se o peso e volume da amostra beneficiada.

Com a obtenção dos pesos das amostras beneficiadas e de posse do volume inicial das amostras no momento da colheita (2 litros) e do volume obtido em cada parcela no momento da colheita foi possível obter os valores da produtividade (sacas beneficiadas por hectare) e “rendimento dos frutos no momento da colheita” (litros de café da lavoura no momento da colheita para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado).

a) Rendimento no momento da colheita (L de café no momento da colheita $\cdot 60kg$ de café beneficiado⁻¹) = calculou-se o peso do café beneficiado obtido nas amostras de 2 litros de cada parcela e, por estimativa obteve-se o volume em litros de “café no momento da colheita” necessários para se ter uma saca de 60 Kg de café beneficiado.

b) Produtividade ($scs.ha^{-1}$) = de posse do volume de café colhido em cada parcela (6 plantas) e sabendo-se o “rendimento” de cada uma, calculou-se a produtividade por hectare (no caso 8333plantas).

3.5 Avaliações fisiológicas

Para as características fisiológicas foi realizada a coleta de dados em duas épocas distintas, sendo realizadas nos meses de agosto e novembro de 2019, e em fevereiro e novembro de 2020, em duas plantas da parcela útil. As folhas utilizadas para as avaliações estavam completamente expandidas e isentas de pragas e doenças, localizadas no terço médio da planta, do terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice do ramo plagiotrópico.

3.5.1 Condutância estomática foliar ($gs - \mu mol m^{-2}s^{-1}$)

Para avaliação da condutância estomática utilizou-se o porômetro (SC-1, Decagon Devices). O aparelho determina o fluxo de vapor da folha através dos

estômatos, permitindo diferenciar as folhas que estão transpirando e as que estão fechadas para o ambiente externo.

As leituras foram feitas em dias claros, sem influência de nuvens, sempre em folhas completamente expandidas e no período compreendido entre às 9h e 11h da manhã (NETTO, 2020). O horário foi estabelecido como sendo o mais apropriado para evitar possível depressão na condutância estomática.

3.5.2 Índice de clorofila

A determinação indireta dos teores relativos das clorofilas a, b e total foram obtidas por meio do medidor portátil de clorofila ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), modelo CFL 1030, que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas. O ClorofiLOG constitui um equipamento eficaz na determinação indireta dos teores relativos das clorofilas a, b e total (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

3.6 Avaliações anatômicas

As avaliações anatômicas foram realizadas em agosto de 2019 e fevereiro de 2020, coincidindo com a época da seca e época das chuvas, respectivamente. Em cada época, foi coletada uma folha completamente expandida, no segundo ou terceiro nó do ramo plagiotrópico, do terço médio das plantas, de cada parcela experimental.

A folhas foram retiradas e as amostras foram acondicionadas em papéis germitest identificados e umedecidos com água deionizada e encaminhadas para o Laboratório de Anatomia Vegetal do Café no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

No laboratório, as secções paradérmicas foliares foram obtidas no material fresco, mediante a retirada da impressão da epiderme, na face abaxial da folha, por meio do método de impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre lâmina de vidro (SCHMIDT *et al.*, 2017).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630 para a captura das imagens. Para cada repetição dos tratamentos, foram feitas três fotografias de lâminas com secções paradérmicas, sempre em regiões distintas de cada secção da lâmina. As imagens foram

analisadas com o software específico, para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool, versão 3.0 (UTHSCSA, 2021).

As características avaliadas, nas secções paradérmicas foliares, foram: número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP) e diâmetro equatorial dos estômatos (DE), sendo calculadas a densidade estomática (DEN - número de estômatos por mm^2) e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE), segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

3.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, a fim de se verificar a normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os pressupostos foram atendidos não sendo necessária a transformação de dados.

Posteriormente, realizou-se a análise de variância, com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, os dados foram submetidos a uma análise de regressão quando quantitativos, e teste de médias de Scott-knott quando qualitativos, para melhor explicar os resultados. Esses procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS

Nos resultados apresentados a seguir não foram consideradas a dosagem de 40% do experimento 1 e 2 em função da perda parcial/total das plantas que compunham a parcela após a poda tipo recepa baixa sem pulmão. Os resultados foram significativos ao nível de 5% pelo teste F.

4.1 Crescimento do cafeeiro

4.1.1 Experimento 1: a aplicação dos tratamentos (diferentes níveis de adubação) foi realizado desde o o plantio

Avaliando-se o crescimento das plantas em janeiro de 2019, verificou-se que o comprimento de ramos plagiotrópicos, número de ramos plagiotrópicos que surgiram e o diâmetro do caule foram influenciados pelos níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2019, maio/2019 e setembro/2019 no experimento 1. UFLA, 2021.

		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Jan/2019	Dose	5	0,0337 ^{ns}	0,0145*	3,9712 ^{ns}	1,8230*	16,7594*
	Bloco	3	0,0162	0,0095	22,7424	0,5440	108,3094
	Erro	15	0,0130	0,0030	5,3865	0,5778	3,5732
	CV		6,73	7,25	7,55	19,41	5,57
	Média		1,6955	0,7575	30,7465	3,9160	33,9560
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Mai/2019	Dose	5	0,0277 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	7,7735 ^{ns}	2,5616 ^{ns}	20,9200 ^{ns}
	Bloco	3	0,0382	0,0064	9,8666	9,1387	86,3725
	Erro	15	0,0175	0,0029	4,9917	0,8540	6,3043
	CV		7,39	6,52	6,85	5,03	6,36
	Média		1,7935	0,8330	32,6145	18,3905	39,4605
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Set/2019	Dose	5	0,0798 ^{ns}	0,0093 ^{ns}	16,6148 ^{ns}	12,1456 ^{ns}	32,9471 ^{ns}
	Bloco	3	0,0039	0,0136	7,6443	8,8216	90,9592
	Erro	15	0,0196	0,0041	12,3209	7,5606	15,1897
	CV		7,63	8,43	11,02	33,05	5,78
	Média		1,8390	0,7595	31,8510	8,3195	67,3825

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

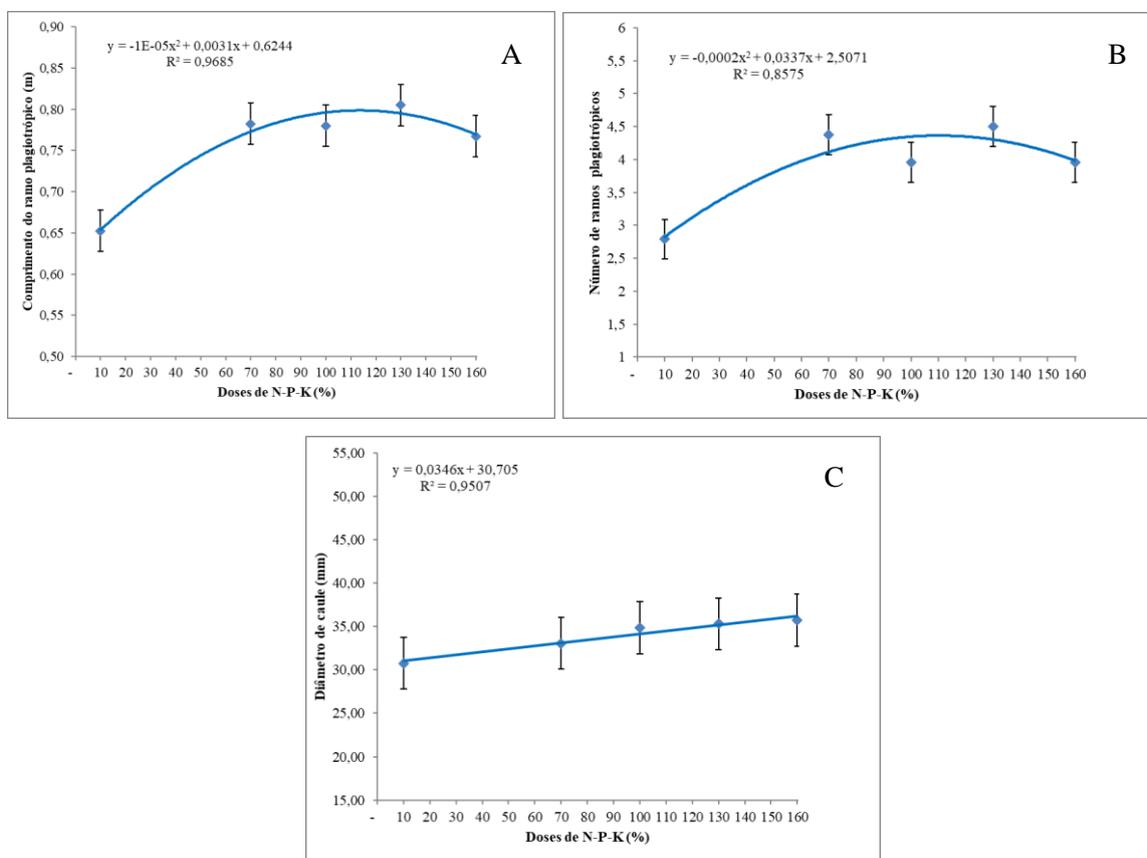
Fonte: Do autor (2021).

O comprimento dos ramos plagiotrópicos foi influenciado pelo nível de adubação seguindo um comportamento quadrático crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o comprimento dos ramos plagiotrópicos das plantas, partindo de 0,65 m a 10% da adubação padrão, atingindo maior comprimento (0,80 m) com um nível de 115% da adubação padrão (FIGURA 3A).

Na avaliação do número de ramos plagiotrópicos que surgiram, observou-se um comportamento quadrático crescente, sendo 4,25 o maior número de ramos plagiotrópicos que surgiram ao nível de 110% de adubação (FIGURA 3B).

Em relação ao diâmetro de caule do cafeeiro observou-se um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o diâmetro de caule, partindo de 31,05 mm a 10% da adubação padrão e chegando-se a 36,24 mm com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, o diâmetro de caule crescia em média 0,346 mm a cada 10% que se aumentava no nível de adubação (FIGURA 3C).

Figura 3 - Comprimento do ramo plagiotrópico (A), número de ramos plagiotrópicos (B) e diâmetro do caule (C) em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em janeiro/2019 no experimento 1. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

Pode-se notar, portanto, que o crescimento das plantas de cafeeiro foi influenciado pelo nível de adubação nas avaliações de janeiro de 2019, com diferenças de 15 cm no comprimento de ramos plagiotrópicos (23,37% de variação), 4,98 mm no diâmetro do caule (16,16% de variação) e 1,71 ramos plagiotrópicos a mais por planta (61,29% de variação), entre os piores e os melhores níveis de adubação. Tais dados mostraram que o efeito dos diferentes níveis de adubação desde o período de formação das plantas até a sua recuperação por meio da recepa tem influência, tanto na formação quanto na recuperação das plantas após recepa.

Avaliando-se o crescimento das plantas em maio e setembro de 2019, não verificou-se diferença significativa para nenhuma das características avaliadas para os diferentes níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 5).

Avaliando-se o crescimento das plantas em janeiro de 2020, verificou-se que a altura das plantas, número de ramos plagiotrópicos que surgiram e o diâmetro do caule

foram influenciados pelos níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2020, maio/2020 e setembro/2020 no experimento 1. UFLA, 2021.

		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Jan/2020	Dose	5	0,0545*	0,0026 ^{ns}	21,4603 ^{ns}	20,5528*	56,1727*
	Bloco	3	0,0298	0,0310	86,4244	7,8342	26,2974
	Erro	15	0,0166	0,0054	12,5426	5,4907	15,6691
	CV		6,51	8,78	10,78	31,69	6,08
	Média		1,9825	0,8375	32,8385	7,3950	65,1495
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Mai/2020	Dose	5	0,0407*	0,0044 ^{ns}	6,0085 ^{ns}	1,2972 ^{ns}	14,0076 ^{ns}
	Bloco	3	0,0257	0,0114	55,7449	3,0484	47,8003
	Erro	15	0,0127	0,0034	9,2142	1,2604	9,3475
	CV		5,76	6,91	8,03	29,06	4,62
	Média		1,9630	0,8555	37,8080	3,8175	66,2135
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Set/2020	Dose	5	0,0511 ^{ns}	0,0029 ^{ns}	3,9294 ^{ns}	2,6076 ^{ns}	14,1611 ^{ns}
	Bloco	3	0,0180	0,0118	38,0221	3,9545	45,6093
	Erro	15	0,0168	0,0028	11,6502	8,5192	6,6888
	CV		6,42	5,85	8,37	32,55	3,85
	Média		2,0225	0,9065	40,7735	8,9670	67,1305

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

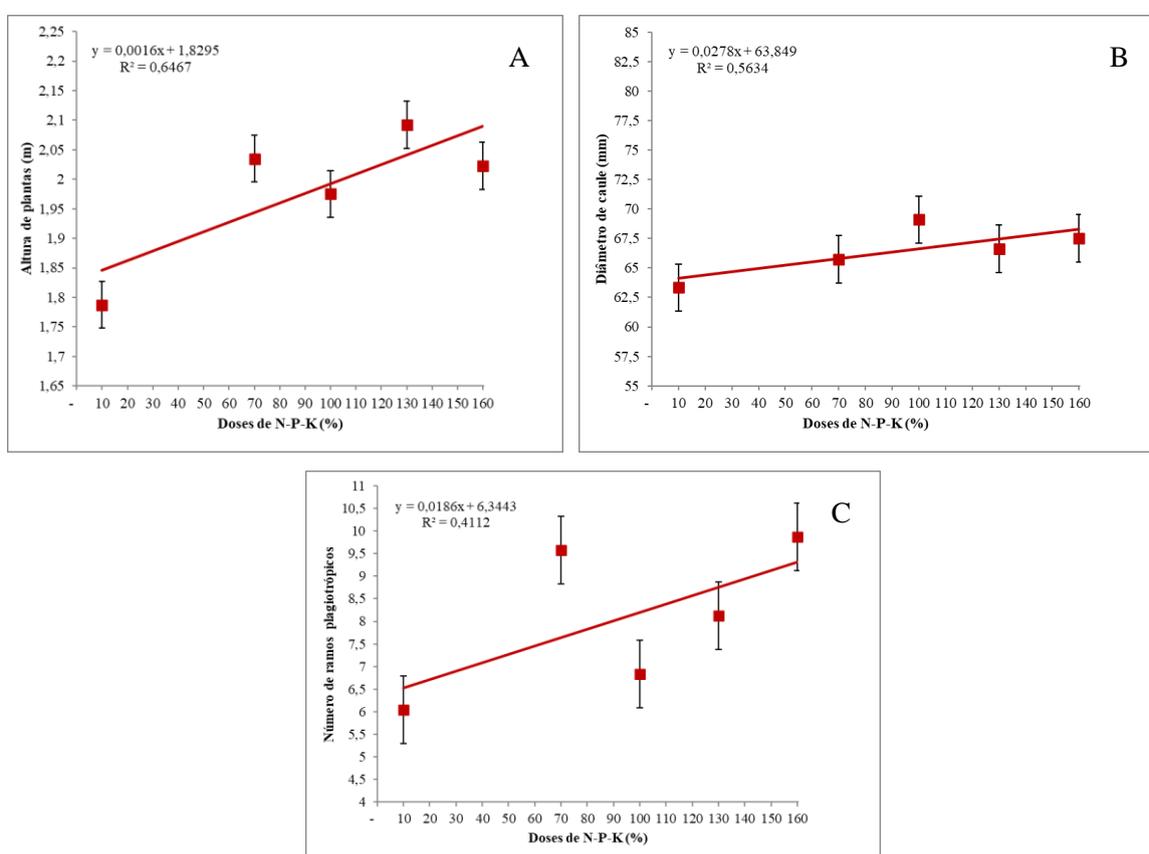
A altura de plantas foi influenciada pelo nível de adubação seguindo um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a altura das plantas, partindo de 1,8455 m a 10% da adubação padrão e chegando-se a 2,0855 m com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, as plantas cresciam em média 1,60 cm em altura a cada 10% que se aumentava no nível de adubação (FIGURA 4A).

Quando se avaliou o diâmetro de caule do cafeeiro observou-se um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o diâmetro de caule, partindo de 64,127 mm a 10% da adubação padrão e chegando-se a 68,297 mm com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, o diâmetro de caule crescia em média 0,278 mm a cada 10% que se aumentava no nível de

adubação (FIGURA 4B).

Na avaliação do número de ramos plagiotrópicos que surgiram, observou-se um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o número de ramos plagiotrópicos que surgiram, partindo de 6,5303 a 10% da adubação padrão e chegando-se a 9,3203 com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, o número de ramos plagiotrópicos que surgiam era em média 0,186 a cada 10% que se aumentava no nível de adubação (FIGURA 4C).

Figura 4 - Altura da planta (A), número de ramos plagiotrópicos (B) e diâmetro do caule (C) em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em janeiro/2020 no experimento 1. UFLA, 2021.

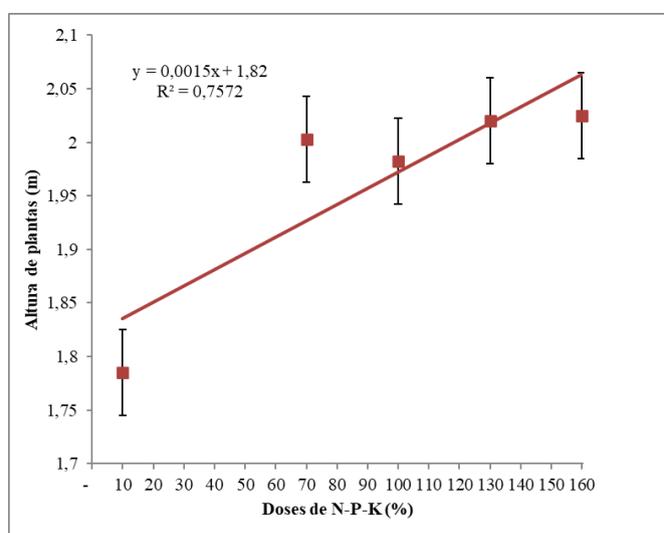


Fonte: Do autor (2021).

Pode-se notar, portanto, que o crescimento das plantas de cafeeiro foi influenciado pelo nível de adubação nas avaliações de janeiro de 2020, com diferenças de 31 cm na altura (17,06 % de variação), 5,75 mm no diâmetro do caule (9,07 % de variação) e 3,83 ramos platiotrópicos a mais por planta (63,38 % de variação), entre os piores e os melhores níveis de adubação.

Quando se avaliou o crescimento das plantas de cafeeiro em maio de 2020, verificou-se que a altura das plantas foi influenciada pelos níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 6). Seguindo um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a altura das plantas, partindo de 1,835 m a 10% da adubação padrão e chegando-se a 2,06 m com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, as plantas cresciam em média 1,5 cm em altura a cada 10% que se aumentava no nível de adubação (FIGURA 5).

Figura 5 - Altura da planta em cafeeiros sob diferentes níveis de adubação em maio/2020 no experimento 1. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

Pode-se notar, portanto, que o crescimento das plantas de cafeeiro foi influenciado pelo nível de adubação nas avaliações de maio de 2020, com diferenças de 24 cm na altura (13,44 % de variação) entre o pior e o melhor nível de adubação.

Avaliando-se o crescimento das plantas em maio e setembro de 2020, não verificou-se diferença significativa para nenhuma das características avaliadas para os diferentes níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 6).

4.1.2 Experimento 2: adubações diferenciadas após o primeiro ano de formação, sendo o primeiro ano com 100% da dose recomendada para cafeeiros de sequeiro

Avaliando-se o crescimento das plantas em janeiro, maio e setembro de 2019 e 2020, não verificou-se diferença significativa para a altura das plantas, o comprimento de

ramos plagiotrópicos, número de nós no ramo plagiotrópico, número de ramos plagiotrópicos que surgiram e o diâmetro do caule para os diferentes níveis de fertilizantes aplicados (TABELA 7 e TABELA 8).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2019, maio/2019 e setembro/2019 no experimento 2. UFLA, 2021.

		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Jan/2019	Dose	5	0,0045 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	2,9913 ^{ns}	1,2458 ^{ns}	3,3278 ^{ns}
	Bloco	3	0,0028	0,0018	45,1225	1,0428	12,0977
	Erro	15	0,0040	0,0009	4,7208	0,7577	12,8516
	CV		3,56	4,03	7,45	22,14	4,94
	Média		1,7925	0,7465	29,1755	3,9325	34,1745
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Mai/2019	Dose	5	0,0089 ^{ns}	0,0026 ^{ns}	10,7094 ^{ns}	3,0150 ^{ns}	3,9691 ^{ns}
	Bloco	3	0,0081	0,0052	8,5246	1,4220	6,0921
	Erro	15	0,0035	0,0022	7,1371	1,3125	5,8311
	CV		3,18	5,73	8,41	27,01	6,03
	Média		1,8735	0,8215	31,7490	4,2415	40,0520
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Set/2019	Dose	5	0,0109 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	2,5250 ^{ns}	2,7413 ^{ns}	68,5657 ^{ns}
	Bloco	3	0,0061	0,0068	27,0962	2,6173	145,9654
	Erro	15	0,0057	0,0024	9,6236	2,0501	28,0323
	CV		3,85	6,09	9,43	29,63	7,41
	Média		1,9755	0,8055	32,9080	4,8330	71,4605

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura (ALT), comprimento do ramo plagiotrópico (CP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), número de ramos plagiotrópicos (NP) e diâmetro de caule (DC) em janeiro/2020, maio/2020 e setembro/2020 no experimento 2. UFLA, 2021.

		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Jan/2020	Dose	5	0,0069 ^{ns}	0,0029 ^{ns}	9,4190 ^{ns}	7,5040	21,3439 ^{ns}
	Bloco	3	0,0171	0,0005	24,5769	6,8599	1,7166
	Erro	15	0,0074	0,0019	6,6485	2,2694	13,1726
	CV		4,25	5,27	7,11	19,97	5,43
	Média		2,0285	0,8345	36,2660	7,5420	66,7985
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Mai/2020	Dose	5	0,0141 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	5,1460 ^{ns}	2,0217 ^{ns}	19,6738 ^{ns}
	Bloco	3	0,0084	0,0014	12,8573	2,9956	1,3328
	Erro	15	0,0052	0,0007	3,4404	0,8454	16,0268
	CV		3,54	3,31	5,38	25,84	5,93
	Média		2,0460	0,8265	34,4655	3,5580	67,4945
		Quadrados Médios					
	FV	GL	ALT	CP	NNP	NP	DC
Set/2020	Dose	5	0,0220 ^{ns}	0,0083 ^{ns}	19,7063 ^{ns}	5,8142 ^{ns}	27,8780 ^{ns}
	Bloco	3	0,0108	0,0029	28,2110	3,3293	5,1290
	Erro	15	0,0079	0,0032	11,0715	2,4307	8,8655
	CV		4,20	6,23	8,08	19,23	4,41
	Média		2,1270	0,9100	41,1745	8,1075	67,5115

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

4.2 Produtividade e Rendimento

4.2.1 Experimento 1: a diferenciação dos níveis de adubação ocorreu apenas um ano após a implantação da lavoura

Os resultados da análise de variância para produtividade e rendimento, das colheitas ao longo dos anos no experimento 1 estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para Produtividade e Rendimento do café colhido em função das doses de N, P e K aplicadas e levando-se em consideração os anos de produção (safras) – Experimento 1. UFLA, 2021.

FV	GL	Produtividade	Rendimento
		QM	QM
DOSE	4	718,466*	18310,607
BLOCO	3	822,210	4218,526
ANO	1	581,087*	1359834,936*
DOSE*ANO	4	113,799	48695,837*
ERRO	27	125,702	13610,793
CV		29,06	15,72

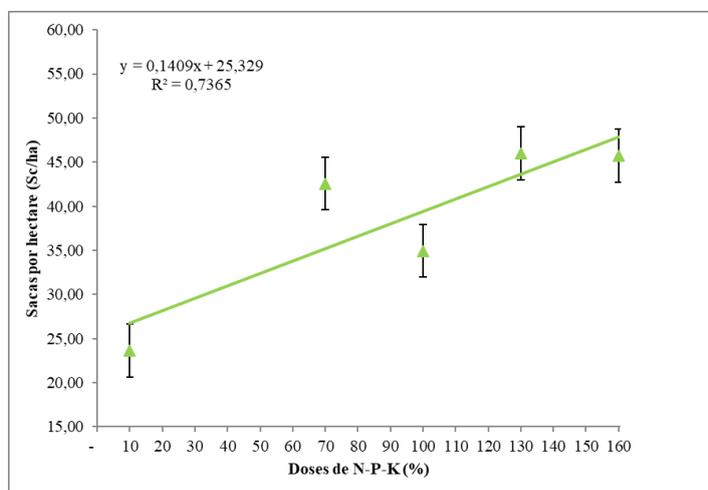
* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

Nota-se pela Tabela 9, o efeito significativo no nível de adubação e no ano analisado. Entretanto, a produtividade do cafeeiro não foi influenciada pela interação entre essas duas variáveis.

Pela da Figura 6 verifica-se a tendência da produtividade (sc/ha) em função dos níveis de adubação independentemente das safras de 2019 e 2020. Quando se observa a progressão da produtividade das plantas com diferentes níveis de adubação, o efeito é linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a produtividade dos cafeeiros, partindo de 26,738 sc/ha a 10% da adubação padrão e chegando a 47,873 sc/ha com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, a produtividade aumentava em média 1,41 sc/ha a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Figura 6 - Produtividades alcançadas em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 2021.



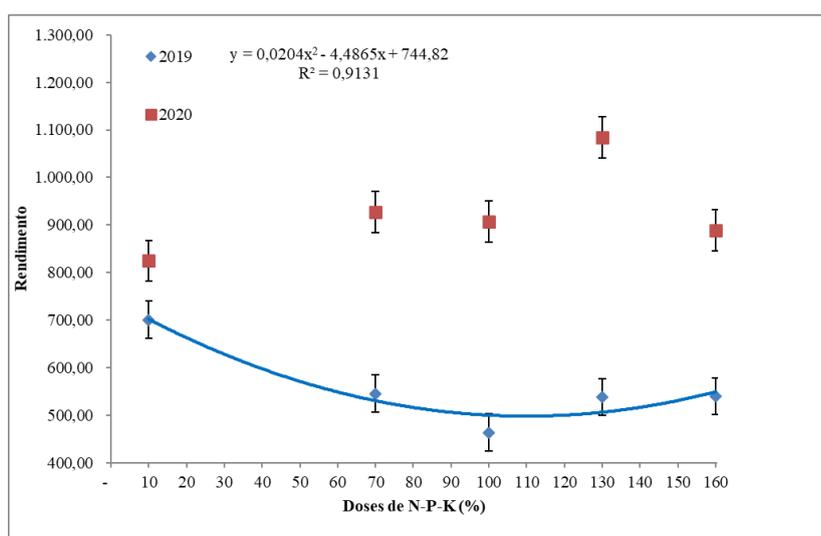
Fonte: Do autor (2021).

Observa-se pela Tabela 9 que independente da dose utilizada, houve efeito significativo do ano analisado (safra), ou seja, no ano de 2019 e 2020, durante a quarta e quinta safras as médias de produtividade foram diferentes significativamente, sendo possível perceber que o ano 2019, apresentou média foi superior ao ano 2020. Em 2019, a média foi de 42,39 e em 2020 a média foi de 34,77, isto significa que em 2019, a média foi 21,91% superior que a média em 2020.

Na Tabela 9, observa-se o efeito significativo da interação entre o ano e a dose de adubação no “rendimento do café no momento da colheita”, ou seja, o rendimento variou com as doses aplicadas, porém com resultados diferentes para cada ano avaliado.

Pode-se verificar pela Figura 7 a tendência dos “rendimentos do café no momento da colheita” (L de café da lavoura.60kg de café beneficiado⁻¹) em função dos níveis de adubação para as safras de 2019 e 2020. Verifica-se a tendência dos dados de “rendimento no momento da colheita de 2019”, o efeito quadrático decrescente, sendo o ponto de mínimo volume necessário para se obter uma saca de 60Kg de café beneficiado de 498,14 litros com um nível de adubação de 110%. Ou seja, a dose de 110% da adubação padrão proporcionou o melhor rendimento do café no momento da colheita em relação às demais doses testadas, que resultaram em rendimentos menores (maior volume necessário para se conseguir uma saca de 60 kg de café beneficiado).

Figura 7 - Rendimento dos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

No ano de 2020, não houve curva que predissesse a produtividade em função das

doses de adubação com um ajuste adequado dos dados observados. Entretanto, foi possível perceber que em 2020, o “rendimento do café no momento da colheita” foi menor que em 2019, ou seja, foi necessário maior volume de café colhido para se obter uma saca de 60Kg de café beneficiado (Figura 7).

4.2.2 Experimento 2: adubações diferenciadas após o primeiro ano de formação, sendo o primeiro ano com 100% da dose recomendada para cafeeiros de sequeiro

Os resultados da análise de variância para produtividade e rendimento, das colheitas ao longo dos anos no experimento 2 estão representados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para Produtividade e Rendimento do café no momento da colheita em função das doses de N, P e K aplicadas e levando-se em consideração os anos de produção (safras) – Experimento 2. UFLA, 2021.

FV	GL	Produtividade	Rendimento
		QM	QM
DOSE	4	1948,876*	19686,828
BLOCO	3	96,856	36693,872
ANO	1	12828,933*	3452672,964*
DOSE*ANO	4	513,634*	29232,772
ERRO	27	183,455	21588,414
CV		27,32	26,21

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

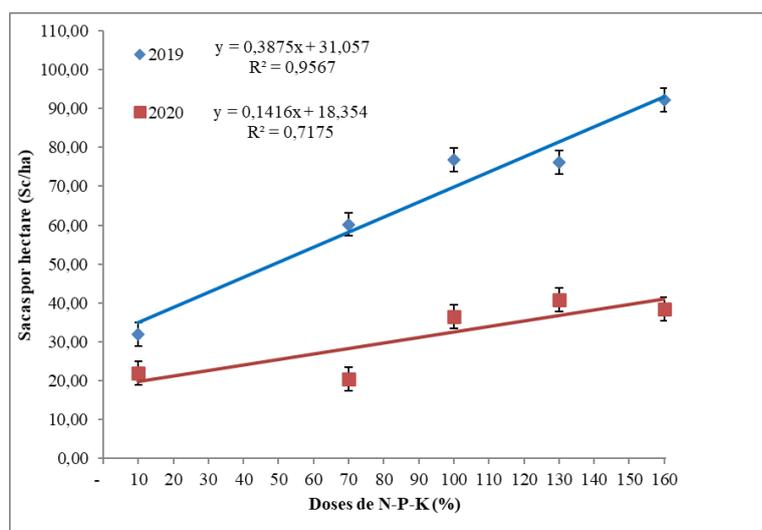
Nota-se pela Tabela 10, o efeito significativo do nível de adubação, do ano da colheita e da interação entre o nível da adubação e o ano de colheita, ou seja, os efeitos causados na produtividade dos cafeeiros dependem da dose dos fertilizantes, do ano e da sua interação. Entretanto, a produtividade do cafeeiro não teve influência do bloco.

Por meio da Figura 8 verifica-se a tendência da produtividade (scs. ha⁻¹) em função dos níveis de adubação para as safras de 2019 e 2020. Observa-se na tendência de produtividade em 2019, o efeito linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a produtividade dos cafeeiros, partindo de 34,932 sc/ha a 10% da adubação padrão, chegando a 93,057 sc/ha com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, a produtividade aumentava em média 3,87 sc/ha a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

No ano de 2020, a produtividade em função das doses de adubação também teve

um comportamento linear crescente, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a produtividade dos cafeeiros, partindo de 19,77 sc/ha a 10% da adubação padrão e chegando-se a 41,01 sc/ha com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, a produtividade aumentava em média 1,42 sc/ha a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Figura 8 - Produtividades dos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

As médias de produtividade das plantas fertirrigadas, em diferentes níveis de adubação após duas safras, foram diferentes significativamente. Quando se analisou a produtividade nota-se uma bialidade com maiores produtividades para o ano de 2019, comparado ao ano de 2020.

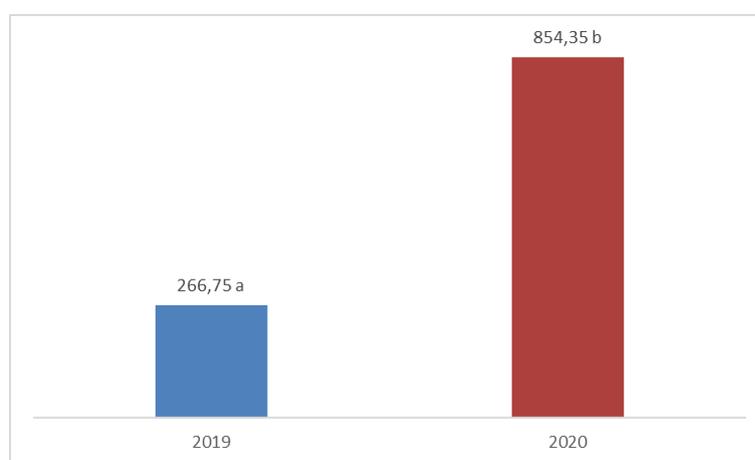
Houve também diferença significativa na produtividade das plantas tratadas com diferentes doses considerando o mesmo ano agrícola, sendo que em 2019, as plantas dos tratamentos com doses que obtiveram melhor produtividade foram de 160%, 130% e 100% (sem diferença entre si, com produtividades de 93,06 sc/ha, 81,43 sc/ha, e 69,81 sc/ha respectivamente), seguida das plantas que obtiveram produtividade inferior com dose de 70% e 10% (58,18 sc/ha e 34,93 sc/ha).

No ano de 2020, não houve diferença significativa nas produtividades das plantas com os tratamentos de diferentes doses, sendo que o menor valor foi de 19,77 sc/ha (10% da dose recomendada) e o maior valor foi de 41,01 sc/ha (160% da dose recomendada).

Considerando o “rendimento do café no momento da colheita” não foi possível

verificar diferença significativa no nível de adubação e na interação entre o nível da adubação e o ano de colheita. Porém, foi verificada diferença significativa no “rendimento do café no momento da colheita” comparando-se o ano, em que, em 2019 a média foi de 266,7505 litros e em 2020 a média foi de 854,3450 litros (Figura 9), ou seja, em 2020 foram necessários mais 587,59 litros de café no momento da colheita que em 2019, para se obter uma saca de 60Kg de café beneficiado.

Figura 9 - Média de rendimento nos anos 2019 e 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

4.3 Anatomia e Fisiologia

4.3.1 Experimento 1: a aplicação dos tratamentos (diferentes níveis de adubação) foi realizado desde a implantação da lavoura

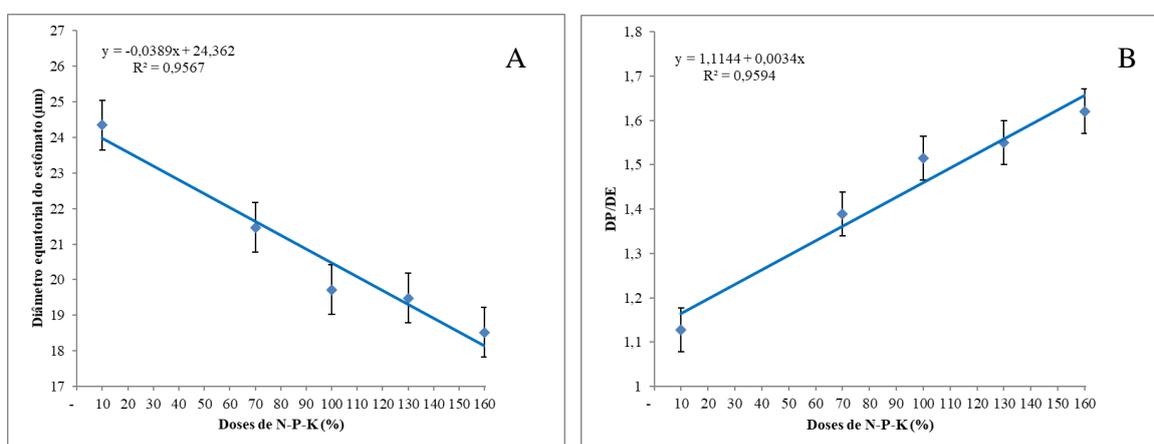
Avaliando-se a secção paradérmica foliar das plantas em agosto de 2019, verificou-se que o diâmetro equatorial dos estômatos (DE) e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) foram influenciados pelos níveis de fertilizantes aplicados, com efeito significativo ($p < 0,05$). Não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos no número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP) e densidade estomática (DEN), em agosto de 2019.

Considerando o diâmetro equatorial em agosto de 2019 (FIGURA 10A), observou-se efeito linear decrescente no comportamento da variável, ou seja, à medida que se aumentava o nível de adubação, diminuía o diâmetro equatorial dos estômatos, partindo de 23,97 μm a 10% da adubação padrão e chegando-se a 18,13 μm com um nível de 160% da

adubação padrão. Ou seja, o diâmetro equatorial dos estômatos diminui em média 0,39 μm a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Para a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos em agosto de 2019 (FIGURA 10B) observou-se efeito linear crescente da variável, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos, partindo de 1,16 a 10% da adubação padrão e chegando-se a 1,66 com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos aumenta em média 0,033 a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Figura 10 - Diâmetro equatorial dos estômatos (A) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (B) em agosto de 2019 de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K – Experimento 1. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

Considerando a secção paradérmica foliar das plantas em fevereiro de 2020, não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos no diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE), número de estômatos (NE) e densidade estomática (DEN) em fevereiro de 2020.

Avaliando-se as características fisiológicas das plantas, não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em cafeeiros fertirrigados no quarto e quinto ano após a recepa para a condutância estomática (gs), índice de ‘clorofila A’ (ClA), ‘clorofila B’ (ClB) e ‘clorofila total’ (ClT) em nenhuma época avaliada (agosto/2019, novembro/2019, fevereiro/2020 e novembro 2020).

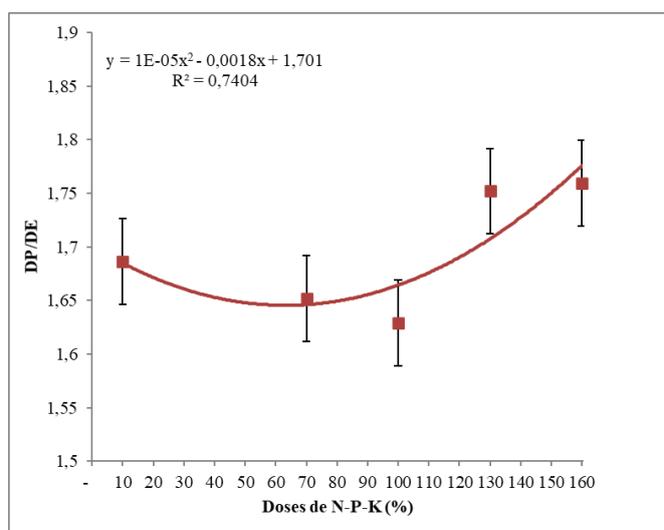
4.3.2 Experimento 2: adubações diferenciadas após o primeiro ano de formação, sendo o primeiro ano com 100% da dose recomendada para cafeeiros de sequeiro

Avaliando-se a secção paradérmica foliar das plantas em agosto de 2019, não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE), número de estômatos (NE) e densidade estomática (DEN).

Considerando a secção paradérmica foliar das plantas em fevereiro de 2020, verificou-se que a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) foi influenciada pelos níveis de fertilizantes aplicados, com efeito significativo ($p < 0,05$). Não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos no número de estômatos (NE), diâmetro polar estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE) e densidade estomática (DEN), em fevereiro de 2020.

Para a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos, em fevereiro de 2020 (FIGURA 11), observou-se efeito quadrático decrescente no comportamento da variável, sendo o ponto de mínima relação DP/DE encontrado em 65% da adubação com um valor de 1,642. O ponto de máxima relação DP/DE foi encontrado em 160% da adubação com um valor de 1,755.

Figura 11 - Relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) dos estômatos em fevereiro de 2020 de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K – Experimento 2. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

Avaliando-se as características fisiológicas das plantas, não se observou efeito significativo ($p>0,05$) dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em cafeeiros fertirrigados no quarto e quinto ano após a recepa para a condutância estomática (gs), índice de 'clorofila A' (CIA), 'clorofila B' (CIB) e 'clorofila total' (CIT) nas épocas de agosto/2019, novembro/2019, fevereiro/2020.

Considerando as características fisiológicas das plantas em novembro de 2020, verificou-se que o índice de clorofila A (CIA), clorofila B (CIB), clorofila total (CIT) e a condutância estomática (gs) foram influenciados pelos níveis de fertilizantes aplicados, com efeito significativo de 5% ($p<0,05$).

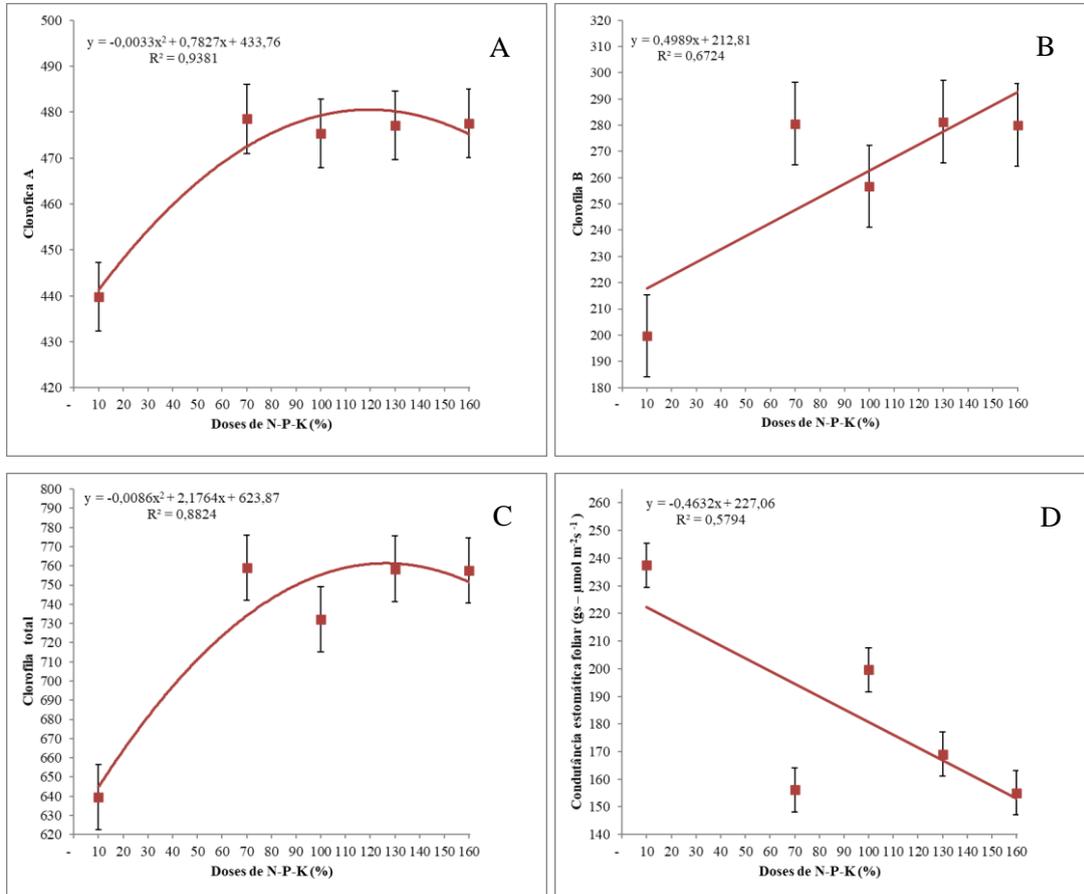
Para a relação índice de clorofila A (CIA), em novembro de 2020 (FIGURA 12A), observou-se efeito quadrático crescente no comportamento da variável, sendo os pontos de máximo índice de CIA encontrados em 120% da adubação com um valor de 479. O ponto de mínima relação do índice de CIA foi encontrado em 10% da adubação com um valor de 441.

Quando se avaliou o índice de clorofila B (CIB), em novembro de 2020 (FIGURA 12B), observou-se efeito linear crescente no comportamento da variável, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o índice de CIB dos cafeeiros, partindo de 217,79 a 10% da adubação padrão e chegando-se a 292,63 com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, índice de CIB aumentava em média 4,99 a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Na avaliação do índice de clorofila total (CIT), em novembro de 2020 (FIGURA 12C), observou-se efeito quadrático crescente no comportamento da variável, sendo os pontos de máximo índice de CIT encontrados em 125% da adubação com um valor de 761,49. O ponto de mínima da relação do índice de CIT foi encontrado em 10% da adubação com um valor de 644,75.

Para a relação condutância estomática (gs), em novembro de 2020 (FIGURA 12D), observou-se efeito linear decrescente no comportamento da variável, à medida que se aumentava o nível de adubação, diminuía a gs dos cafeeiros, partindo de 222,42 $\text{gs} - \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 10% da adubação padrão e chegando-se a 152,95 $\text{gs} - \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com um nível de 160% da adubação padrão. Ou seja, índice de CIB diminuía em média 4,63 $\text{gs} - \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a cada 10% que se aumentava no nível de adubação.

Figura 12 - Índice de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C) e condutância estomática (D) de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de adubação com N, P e K em novembro de 2020– Experimento 2. UFLA, 2021.



Fonte: Do autor (2021).

5 DISCUSSÃO

5.1 Efeitos no crescimento vegetativo

Para o cafeeiro no quarto e quinto ano após recepa, ou seja, que passou por um período de estresse físico e fisiológico, foi observada a influência da quantidade de fertilizantes aplicada via fertirrigação no solo com o crescimento da planta. As condições de oferta de nutrientes afetaram a recuperação do cafeeiro, havendo variação no crescimento das plantas nas diferentes épocas avaliadas (Tabelas 5 e 6).

No caso do presente trabalho, tratando-se de lavoura fertirrigada, sabe-se que disponibilidade hídrica afeta significativamente e positivamente o crescimento das plantas, sendo a água, fator principal nas reações metabólicas e nos processos de transporte, translocação de foto assimilados, turgescência celular e abertura e fechamento dos estômatos (TAIZ *et al.*, 2017). A irrigação também influencia o crescimento e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro irrigado por gotejamento, sendo que maior quantidade de raízes ocorre na área compreendida pelo úmido bulbo de irrigação (COVRE *et al.*, 2016).

Scalco *et al.* (2011) já suspeitavam da maior necessidade nutricional de lavouras irrigadas, pois encontraram maior bienalidade em lavouras fertirrigadas comparadas a lavouras de sequeiro, concluindo que as plantas irrigadas (com maior potencial produtivo) poderiam estar sendo limitadas pela adubação realizada com base em recomendações para lavouras não irrigadas.

A carência de estudos sobre adubação adequada de cafeeiros irrigados dificulta o manejo para uma nutrição adequada, o que pode comprometer o desenvolvimento das plantas quando conduzidas com irrigação, induzindo a uma carência ou excesso de nutrientes (RESENDE, 2019). O cafeeiro irrigado apresenta padrão de crescimento e produtividade diferenciados, conforme resultados obtidos em várias pesquisas (ARANTES; FARIA; REZENDE, 2009; CARVALHO *et al.*, 2006; RESENDE, 2019; SILVA *et al.*, 2008; SOBREIRA *et al.*, 2011; VILLELA *et al.*, 2015).

O crescimento do cafeeiro irrigado, no seu quarto e quinto ano após a poda, apresentou em sua maioria uma tendência linear crescente no comportamento das variáveis, mostrando um ponto de mínima exigência e um ponto de máxima exigência do nutriente para o crescimento da lavoura (Figuras 3 a 5).

A construção de conhecimentos sobre o manejo das adubações da lavoura

fertirrigada após a poda (recepta) é importante, pois, na cafeicultura moderna, essa tecnologia passou a ser incorporada às práticas usuais de manejo, por ser um recurso muito eficiente na regularização da safra, bem como facilita a execução das diversas operações de manejo e de colheita (MESQUITA *et al.*, 2016).

Também Matiello *et al.* (2010) e Thomaziello (2013) ressaltam que as podas nos cafeeiros são essenciais no caso de “fechamento da lavoura”, com perda dos ramos plagiotrópicos inferiores (ramos produtivos), o excesso de hastes e o esgotamento de plantas proporcionado pela alta produtividade, além de permitir maior luminosidade e estimular a produção em locais com fechamento ou autossombreamento.

Ainda Guimarães *et al.* (2013) e Japiassu *et al.* (2010) citam como vantagens da utilização das podas como manutenção da capacidade produtiva, correção de problemas relacionados à arquitetura das plantas, controle de severidade de doenças, recuperação das plantas que não atendem aos aspectos técnicos e econômicos desejáveis, ou ainda, para a minimização do efeito da alternância de produção.

No presente trabalho optou-se pela realização de “recepta baixa sem pulmão”, conforme recomendação de Thomaziello (2013), porque apesar de ser uma lavoura jovem (com 5 anos de idade) é uma lavoura muito adensada, o que aumentou o crescimento dos cafeeiros e dos ramos plagiotrópicos, levando a um fechamento precoce das entrelinhas com decorrente perda de produtividades dos ramos plagiotrópicos inferiores e até mesmo perda desses ramos.

Outra motivação para se trabalhar com níveis de adubação no presente trabalho é que se trata da cultivar Topázio MG-1190, que segundo Silva *et al.* (2016) tem boa adaptação às podas, apresentam produtividades altas aliadas a um elevado vigor vegetativo, baixo percentual de frutos chochos e alto percentual de peneira alta dos grãos.

No experimento 1, em que se avaliou as diferentes doses de N, P e K desde a implantação da lavoura, observou-se diferenças significativas em três características de crescimento das plantas em janeiro/2019 (Tabela 5). Observou-se também diferenças significativas em três características de crescimento das plantas em janeiro/2020 e em uma característica de crescimento das plantas em maio/2020 (Tabela 6).

A altura das plantas variou do menor até o maior nível de adubação em 31cm (17,06% de variação) em janeiro, e 24 cm (13,44 % de variação) em maio de 2020 (Figuras 4A e Figura 5). Ou seja, a diferença em altura das plantas com menores níveis de adubação para as de maior nível desde a sua implantação em campo foram diminuindo ao longo do tempo (de 17,06% para 13,44%), porém ainda com diferença significativa. Ou

seja, quando as plantas têm adubação deficiente desde o período de sua formação, mesmo após o quinto ano após a recepa, ainda se percebe diferença na altura das plantas. Percebe-se também pelas Figuras 4 e 5 que as plantas dos tratamentos com mais de 70% da adubação padrão foram superiores em altura às plantas dos tratamentos com níveis de adubação menores.

Quando se avaliou o crescimento em altura das plantas que tiveram 100% da adubação na implantação da lavoura (experimento 2), verificou-se que não houve diferença significativa entre as plantas de menor para as de maior nível de adubação, em nenhuma das épocas avaliadas (Tabelas 7 e 8). Ou seja, quando as plantas são formadas com adubação próxima do ideal e depois passam a ter níveis diferentes de adubação, após o quarto e quinto ano após a recepa, já não se percebe diferença no crescimento entre aquelas com maior ou menor quantidade de N, P e K.

Quando se avalia o comprimento dos ramos plagiotrópicos das plantas no experimento 1, percebe-se que os valores variaram do menor até o maior nível de adubação em 15cm (23,37% de variação) na avaliação de janeiro de 2019. Ou seja, quando as plantas têm adubação deficiente desde o período de sua formação, mesmo após o quinto ano após a recepa, ainda se percebe diferença no comprimento dos ramos plagiotrópicos. Percebe-se também pela Figura 3A que as plantas dos tratamentos com mais de 70% da adubação padrão foram superiores em comprimento dos ramos plagiotrópicos às plantas dos tratamentos com níveis de adubação menores.

O diâmetro do caule das plantas variou do menor até o maior nível de adubação em 4,98 mm (16,16% de variação) na avaliação de janeiro de 2019 e 5,75 mm (9,07% de variação) em janeiro de 2020. (Figuras 3C e 4B). Ou seja, a diferença no diâmetro do caule das plantas com menores níveis de adubação para as de maior nível desde a sua implantação em campo foram diminuindo ao longo do tempo (de 16,16% para 9,07%) porém ainda com diferença significativa. Ou seja, quando as plantas têm adubação deficiente desde o período de sua formação, mesmo após o quinto ano após a recepa, ainda se percebe diferença no diâmetro do caule das plantas.

O número de ramos plagiotrópicos das plantas variou do menor até o maior nível de adubação de 1,71 ramos (61,29% de variação) na avaliação de janeiro de 2019 e 3,83 ramos (63,38% de variação) em janeiro de 2020. (Figuras 3B e 4C). Ou seja, a diferença em número de ramos plagiotrópicos das plantas com menores níveis de adubação para as de maior nível desde a sua implantação em campo foram aumentando ao longo do tempo (de 61,29% para 63,38%) ou seja, quando as plantas têm adubação deficiente desde o

período de sua formação, mesmo após o quinto ano após a recepa, ainda se percebe diferença no número de ramos plagiotrópicos das plantas, com relação direta com a produtividade.

Quando se avaliou o número de nós nos ramos plagiotrópicos das plantas nos dois experimentos, verificou-se que não houve efeito significativo dos níveis de adubação utilizados. Ou seja, quando as plantas têm adubação deficiente, mas que tenham sido implantadas corretamente, e mesmo após o quinto ano após a recepa, não se percebe diferença no número de nós dos ramos plagiotrópicos das plantas. O número de nós nos ramos plagiotrópicos têm relação direta com a produtividade.

Desse modo, o desbalanço nutricional (especialmente quando ocorre já na implantação da lavoura) pode prejudicar o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro e, a nutrição inadequada das plantas pode ocasionar prejuízos a longo prazo, como a redução da produtividade e da longevidade da lavoura (BOTELHO *et al.*, 2010).

Os resultados para crescimento das plantas de café encontradas no presente trabalho podem estar relacionados com os efeitos acumulados nas plantas que sofreram interferência dos diferentes níveis de adubação desde a formação em campo, ou seja, plantas prejudicadas em seu crescimento no início de sua formação teria menor taxa de crescimento relativo (g / g/dia) em relação às plantas com maiores níveis de adubação (RESENDE, 2019).

Com esses resultados, percebe-se que as doses acima de 70% da adubação padrão com nitrogênio, fósforo e potássio, proporcionaram melhores crescimentos comparados com o proporcionado pelas doses inferiores de 10% . Porém, segundo Pinto (2013) quando se utiliza adubações em níveis inferiores a 100% da adubação padrão em lavouras fertirrigadas, pode haver comprometimento dos teores foliares e, conseqüentemente, o crescimento e a frutificação, caracterizando-se a “fome oculta”. Pode acontecer redução nas características de crescimento vegetativo com o excesso de nutrientes para as plantas, contrariando assim a Lei do Mínimo, a ocorrência de efeito interônicos de inibição ou antagonismo entre os vários nutrientes utilizados, ou ainda um aumento no índice de salinidade do solo, levando assim, ao prejuízo no crescimento vegetativo na fase de formação do café, como citado por Netto (2020), que também avaliou o crescimento vegetativo de cafeeiro em formação, em função dos diferentes níveis de adubação.

Outros autores também buscaram níveis ideais de adubação para lavouras irrigadas chegando em valores próximos aos encontrados no presente trabalho. Clemente *et al.* (2008), trabalhando em condições de casa de vegetação no primeiro ano após o plantio do

cafeeiro, verificaram que os níveis de adubação que proporcionaram 90% do crescimento máximo ao final de 12 meses de cultivo estavam na maioria das situações, em torno de 71 e 112,25% da adubação padrão, ou seja, próximo ao recomendado por Guimarães *et al.* (1999) que também foi utilizada como padrão no presente trabalho.

Também Vilela (2020), verificando a influência de diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, no crescimento, desenvolvimento, na nutrição, e na incidência da cercosporiose no cafeeiro na fase de formação em sequeiro, constatou que houve semelhança no padrão de crescimento das plantas nos tratamentos de 10, 40, 70 e 100% da adubação com NPK recomendada por Guimarães *et al.* (1999). A autora ressalta ainda que a recomendação de adubação não deve ser inferior à dose de 100% da recomendação padrão, pois prejudicará o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro no ano seguinte, como recomendado por Pinto *et al.* (2013).

Porém, encontra-se na literatura disponível resultados diferentes dos encontrados no presente trabalho. Sobreira *et al.* (2011), trabalhando com cafeeiro fertirrigado no primeiro ano de formação com diferentes doses de adubação nitrogenada e potássica, constataram que o incremento ou a redução na dose padrão de N e K₂O, recomendada por Guimarães *et al.* (1999) não promoveu alterações no crescimento vegetativo. Já Assis *et al.* (2015) obtiveram máximo crescimento das plantas de café irrigadas com níveis de 194,81, 191,61, 185,04, 185,43, 192,28 e 189,59% da adubação de referência proposta por Guimarães *et al.* (1999).

5.2 Efeitos na produtividade

Em função da importância da formação da lavoura com técnicas adequadas, buscando-se altas produtividades já nos primeiros anos após recuperação por poda drástica, o presente trabalho mostra a necessidade de ajustes para as adubações da cafeicultura irrigada. Outros autores também buscaram ajustar as adubações de lavouras irrigadas, como Pinto *et al.* (2013), Resende (2019) e Villela *et al.* (2015), que encontraram os melhores resultados com adubações acima de 100% da recomendação feita para lavouras de sequeiro. Em trabalhos mais recentes, vários autores também buscaram ajustar as adubações de lavouras sequeiro para lavouras irrigadas, como Netto (2020) e Vilela (2020), que buscaram adaptar os resultados recomendados por Guimarães *et al.* (1999).

Para o cafeeiro no quarto e quinto ano após recepa, ou seja, que passou por um

período de estresse físico e fisiológico, foi observada a influência da quantidade de fertilizantes aplicada via fertirrigação no solo com a produtividade das plantas (Tabelas 9 e 10). As condições de oferta de água e nutrientes afetaram a recuperação do cafeeiro, havendo variação na produtividade do café nas diferentes épocas avaliadas.

Como constatado no experimento 1, em que se variou as doses de fertilizantes desde a implantação da lavoura, as maiores produtividades são alcançadas nas plantas dos tratamentos na faixa de adubação entre 70% a 160%, independente do ano de avaliação (Tabela 9 e Figura 6). Ou seja, a partir da adubação com 70% da recomendação para lavouras de sequeiro as plantas apresentaram produtividades superiores às que receberam quantidades inferiores de fertilizantes. Infere-se, portanto, que são necessários pelo menos 37,8 g . pl⁻¹ de N (315 kg . ha⁻¹ de N); 2,8 g . pl⁻¹ de P₂O₅ (23 kg . ha⁻¹ de P₂O₅); e 14,0 g . pl⁻¹ de K₂O (117 kg . ha⁻¹ de K₂O) para lavouras no quarto ou quinto ano após a poda com produtividades de 48,36 scs . ha⁻¹ (Tabelas 3 e 4 e Figura 6).

Já no experimento 2, em que se forma a lavoura com 100% da dose recomendada (GUIMARÃES *et al.*, 1999) com variações nos níveis de adubação a partir daí, as maiores produtividades são alcançadas nas plantas dos tratamentos na faixa de adubação entre 100% a 160%, tanto na safra de 2019 quanto na de 2020 (Tabela 10 e Figura 8), alcançando produtividades de 92,85 scs . ha⁻¹ em 2019, e 40,87 scs . ha⁻¹ em 2020. Assim, são necessários pelo menos 54,0 g . pl⁻¹ de N (450 kg . ha⁻¹ de N); 4,0 g . pl⁻¹ de P₂O₅ (33,3 kg . ha⁻¹ de P₂O₅); e 20,0 g . pl⁻¹ de K₂O (166,7 kg . ha⁻¹ de K₂O) para lavouras no quarto e quinto ano após a poda com produtividades entre 40,87 scs . ha⁻¹ e 92,85 scs . ha⁻¹ (Tabelas 3 e 4 e Figura 8).

A exemplo do que foi percebido nas avaliações de crescimento, em que as plantas do experimento 2 cresceram mais, também na produtividade notou-se que as plantas que foram formadas com 100% da adubação padrão (variando doses somente a partir do ano seguinte) tiveram maiores produtividades. Esse fato permite a inferência de que a adubação durante a implantação de lavouras pode comprometer futuros crescimentos e produtividades.

Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015) também encontraram em seus trabalhos, uma maior produtividade quando se adubou os cafeeiros com os níveis de 118,33% e 122,61% da adubação recomendada com N, P e K respectivamente, ou seja, níveis de adubação acima do recomendado para lavouras sem irrigação. Já Vicente *et al.* (2018), ao avaliarem os efeitos de diferentes doses de N e K e parcelamentos da fertirrigação no desenvolvimento e na produtividade do cafeeiro irrigado por gotejamento na região Oeste

da Bahia, verificaram que as doses de 600/500 e 900/800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N/K₂O e os parcelamentos em dois e oito vezes proporcionaram as maiores produtividades do cafeeiro, ou seja, doses maiores que as encontradas no presente trabalho.

Babou *et al.* (2017), em um experimento com café Robusta estabelecido com diferentes níveis de fertirrigação por gotejamento, 75, 100, 125 e 150% da dose recomendada de fertilizantes para estudar a influência da microirrigação e da fertirrigação por gotejamento na produtividade e nos parâmetros de produtividade de café, verificaram que a fertirrigação por gotejamento com 125% da dose recomendada de fertilizantes registrou maior produção de café beneficiado. As doses encontradas por Babou *et al.* (2017) são muito próximas as encontradas por Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015).

Segundo Resende (2019), quando se varia o nível de adubação desde o plantio das mudas em campo, maiores produtividades são alcançadas (quatro primeiras safras), em lavouras que receberam níveis de adubação entre 116% e 131% do recomendado para lavouras de sequeiro. Quando a lavoura cafeeira é implantada com 100% da recomendação para cafeicultura de sequeiro, maiores produtividades poderão ser alcançadas se os níveis de adubação superarem 160% nos anos subsequentes, porém, o incremento de produtividade é pequeno acima de 130%.

Quando se avaliou as produtividades em função das doses em cada ano (safra), foi possível constatar em todas as doses testadas, um decréscimo de produtividade no ano de 2020. Echer *et al.* (2010) mencionaram que o déficit hídrico é um dos fatores abióticos mais importantes que limitam o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo. Logo, é um dos principais fatores responsáveis por acarretar reduções na produtividade agrícola (SILVA *et al.*, 2013), sobretudo, o déficit hídrico compromete praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, incluindo mudanças anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (AFZAL *et al.*, 2014; ASHRAF, 2010; BEZERRA *et al.*, 2003; DOGAN *et al.*, 2007; GALMÉS *et al.*, 2013).

Também, segundo Martins *et al.* (2015), a água e a temperatura são os elementos que mais interferem na produtividade do café. No caso do presente trabalho, por se tratar de uma lavoura irrigada, não houve restrição hídrica, portanto os elementos que mais interferiram na produtividade do café foram a utilização dos diferentes níveis de adubação e as altas temperaturas ocorridas em 2020.

Também Santini *et al.* (2015), considerando as altas temperaturas na copa dos cafeeiros, observaram que a fotossíntese, na maior parte do tempo (em 2020), operou em taxas insatisfatórias e que em certos momentos foi negativa. Esses mesmos autores ainda

comentam que, nessas condições, o ganho de carbono é suficiente apenas para a manutenção da planta viva, prejudicando o crescimento da planta e o enchimento dos frutos.

As respostas das plantas ao estresse hídrico e a altas temperaturas são altamente complexas, pois o estado da água nas plantas e o potencial hídrico das folhas são afetados, o que ocasiona uma baixa pressão de turgescência nas células (JALEEL *et al.*, 2007; SHAO *et al.*, 2008), e desencadeia uma série de adaptações fisiológicas que tem efeitos deletérios, tais como: comprometimento metabólico da fotossíntese, dano oxidativo, alterações hormonais e o acúmulo de proteínas relacionadas ao estresse, o que leva à interrupção dos processos fisiológicos e bioquímicos nas vias celulares e moleculares (AFZAL *et al.*, 2014; ASHRAF, 2010; ASHRAF; HARRIS, 2013; GALMÉS *et al.*, 2013).

Tais informações podem explicar a queda de produtividade dos cafeeiros em todos os tratamentos (doses de fertilizantes) na safra de 2020, pois ainda que neste experimento as plantas tenham sido irrigadas, as altas temperaturas possivelmente comprometeram a produtividade e o rendimento dos grãos. Aliado a isto, Matiello *et al.* (2020) verificaram efeito negativo de altas temperaturas na característica tamanho dos frutos de café, ou seja, foi necessário maior quantidade de frutos colhidos para se obter uma saca de café beneficiada.

Outra evidência da importância do nível de adubação nos primeiros anos de formação da lavoura foi encontrada por Scalco *et al.* (2011) que constataram aumento da produtividade de cafeeiros irrigados superadensados (com 20000 plantas ha⁻¹) em relação a cultivos de sequeiros por 7 safras, porém, ao longo das safras, se observava bienalidade acentuada nas produtividades dos cultivos irrigados. Essa bienalidade também foi observada no presente trabalho durante a avaliação das produtividades em 2019 e 2020, após recepa, por se tratar também de plantas fertirrigadas, diferentemente do normalmente observado em lavouras sem irrigação com uma tendência de produtividades crescentes nas primeiras safras.

5.3 Rendimento do café no momento da colheita

Para o cafeeiro no quarto e quinto ano após recepa, ou seja, que passou por um período de estresse físico e fisiológico, foi observada a influência da quantidade de fertilizantes aplicada via fertirrigação no solo com o rendimento do café no momento da colheita (Tabelas 9 e 10). As condições de oferta de água e nutrientes afetaram a

recuperação do cafeeiro, havendo variação no rendimento do café no momento da colheita, nas diferentes épocas avaliadas.

Como constatado no experimento 1 do presente trabalho, em que se forma a lavoura com a restrição de nutrientes no primeiro ano, o rendimento foi significativo considerando as diferentes doses de adubo para as safras de 2019 e 2020, sendo que em 2019 o maior valor observado foi de 701,99 L/sc na dose de 10% o menor valor (maior rendimento) na dose de 110% da adubação padrão (498,14 litros de café no momento da colheita, necessários para se obter uma saca de 60kg de café beneficiado) e em 2020 os dados foram inconsistentes, não permitindo inferências (Figura 7).

Já no experimento 2, em que se forma a lavoura sem a restrição de nutrientes no primeiro ano, seguindo a recomendação para cafeicultura de sequeiro, o “rendimento do café no momento da colheita” em 2019 foi de 266,75 litros e em 2020 de 854,35 litros, ou seja, em 2020 foram necessários mais 587,6 litros de café no momento da colheita que em 2019, para se obter uma saca de 60Kg de café beneficiado.

Esse valor é muito superior ao volume encontrado por Scalco *et al.* (2011), que ao avaliarem o rendimento de cafeeiros irrigados e não irrigados, superadensados (com 20000 plantas ha⁻¹), ao longo de sete anos agrícola verificaram um rendimento de 280 Litros/saca 60 kg para o regime hídrico irrigado. Também Sobreira *et al.* (2016), ao avaliarem o rendimento de cultivares de café arábica, após esqueletamento, em ano de estresse térmico-hídrico no sul do Espírito Santo obtiveram um valor médio de rendimento para as cultivares avaliadas de 579,71 L/sc e a cultivar que apresentou maior valor apresentou 708,33 L/sc, ou seja, valor necessário para se obter uma saca de café.

Resende (2019) verificou que em lavouras com a restrição de nutrientes no primeiro ano, a média dos rendimentos das safras de 2012 a 2015 foi de 508,12 L/sc e que o maior valor observado foi para safra de 2014 foi de 615,5 L/sc. Esses resultados permitem inferir que o rendimento (litros de café no momento da colheita, necessários para fazer uma saca de 60 kg de café beneficiado), a exemplo da produtividade, sofreu influência das altas temperaturas do ano de 2020.

Também Martins *et al.* (2015) constataram que um dos principais fatores que influenciam as safras em condições de estresse é a temperatura do ar na região de cultivo das lavouras. Santini *et al.* (2015) também constataram que a fotossíntese, na maior parte do tempo, opera em taxas insatisfatórias e em certos momentos negativa, sobrando muito pouco, ou quase nada, para o crescimento da planta em condições de altas temperaturas. No presente trabalho foi observada queda também no rendimento (litros colhidos

necessários para se obter uma saca de 60 kg de café beneficiado), possivelmente devido às altas temperaturas do período (2020).

5.4 Anatomia e fisiologia

Para o cafeeiro no quarto e quinto ano após recepa, ou seja, que passou por um período de estresse físico e fisiológico, foi observada a influência da quantidade de fertilizantes aplicada via fertirrigação no solo com a anatomia e a fisiologia da planta. As condições de oferta de água e nutrientes afetaram a recuperação do cafeeiro, havendo variação na anatomia e na fisiologia das plantas nas diferentes épocas avaliadas.

Queiroz-Voltan *et al.* (2014) afirmaram que a anatomia foliar varia em função da radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e dos nutrientes do solo, conferindo assim características adaptativas para que a planta tenha um ótimo desenvolvimento. No presente trabalho, por se tratar de uma área fertirrigada, a quantidade de água disponível no ambiente foi sempre mantida em condições ideais, portanto, as variações apresentadas na anatomia foliar desse cafeeiro foram influenciadas pelos diferentes níveis de nutrientes presente no solo, em função da diferenciação das doses de N, P e K.

No experimento 1, em que as plantas tiveram a variação de doses desde a implantação da lavoura, em agosto de 2019, os maiores diâmetros equatoriais dos estômatos foram observados nas folhas das plantas que tiveram menores níveis de fertilizantes aplicados (10 e 70%) e os menores valores para essa característica nas folhas das plantas com maiores níveis de adubação (100, 130 e 160%) (Figura 10A). Já no experimento 2, em que as plantas receberam dose de 100% dos fertilizantes por ocasião da implantação, não foi possível identificar diferenças quanto aos diâmetros equatoriais dos estômatos.

Maiores diâmetros equatoriais podem conferir às plantas alta adaptabilidade a ambientes xéricos (RIBEIRO *et al.*, 2012) o que não é o caso do presente estudo, mas que indiretamente afetam também a nutrição das plantas nos referidos ambientes.

Quando se avaliou a relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos nas folhas das plantas submetidas a diferentes níveis de adubação, verificou-se que houve diferença significativa com bom ajuste dos dados (tendência linear crescente) no experimento 1 em agosto de 2019, em que as plantas tiveram diferentes níveis de

adubação desde a implantação (Figura 10B). Ou seja, níveis de adubação abaixo de 100% em relação ao padrão para lavouras não irrigadas provocam adaptações nos estômatos para uma menor relação DP/DE. Já as plantas fertirrigadas com níveis de adubação de 100% ou mais, em relação à adubação padrão, tendem a apresentar maiores valores de DP/DE.

Em fevereiro de 2020, a relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos nas folhas das plantas submetidas a diferentes níveis de adubação apresentou efeito quadrático decrescente (Figura 11), com maior relação DP/DE em 10% do nível de adubação padrão, ou seja, apresentou um comportamento diferente do apresentado em agosto de 2019.

A maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos indica o formato elipsoide do estômato (BATISTA *et al.*, 2010; GRISI *et al.*, 2008). A maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos pode favorecer as trocas gasosas, pois possibilita maior absorção de dióxido de carbono com menor abertura estomática, evitando assim grande perda de água por transpiração (SOUZA *et al.*, 2010).

Netto (2020), avaliando níveis de adubação na anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação verificou que a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, também em agosto de 2019, foram maiores nos níveis com 122,39% e 138,62% da adubação padrão, e os menores valores encontrados nos níveis de 45,88% e 40,04% da adubação padrão. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

Assim, pode-se inferir que as doses de fertilizantes abaixo da recomendada influenciam negativamente os valores do diâmetro equatorial dos estômatos e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, enquanto uma planta com a nutrição equilibrada, ou seja, com a dose recomendada ou com níveis de adubação acima dessa dose apresentam maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, fato esse que pode otimizar as trocas gasosas das folhas do cafeeiro. Ainda, uma maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos tornam-se mais elípticos (BATISTA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010).

Resultados semelhantes aos encontrados foram relatados por Gama (2015) na mesma área experimental do presente trabalho, no primeiro ano após a implantação, verificando ser o nível de 100% da adubação padrão com N, P e K, o que proporcionou maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos.

No experimento 1, não foi observada diferença significativa no índice de clorofila

a, clorofila b, clorofila total e condutância estomática em nenhuma das épocas avaliadas (agosto de 2019, novembro de 2019, fevereiro de 2020 e novembro de 2020) em função dos níveis de adubação com N, P e K em lavouras fertirrigadas no quarto e quinto ano após a recepa.

No experimento 2, não foi observada diferença significativa no índice de clorofila a, clorofila b, clorofila total e condutância estomática entre agosto de 2019, novembro de 2019 e fevereiro de 2020, em função dos níveis de adubação com N, P e K em lavouras fertirrigadas no segundo ano após a recepa.

Sabe-se que a clorofila apresenta em sua constituição os nutrientes N e magnésio (Mg), sendo o último considerado a molécula central desse pigmento, participando efetivamente do processo fotossintético das plantas, refletindo no crescimento e na adaptação das plantas em diferentes ambientes de cultivo (STREIT *et al.*, 2005; TAIZ *et al.*, 2017).

Uma possível explicação para não ter havido diferença nos índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total nessas épocas é que, ao se observar a análise de solo realizada durante a condução dos experimentos (TABELA 1 e 2) o valor de Mg é considerado ‘médio’ no experimento 1 e considerado ‘alto’ no experimento 2, segundo Guimarães *et al.* (1999) e Sobral *et al.* (2015), o que pode explicar a falta de resposta significativa em relação aos índices de clorofila nas épocas avaliadas.

Resultado similar a esse foi relatado por Paula Neto (2009), que ao avaliar o metabolismo do nitrogênio e a concentração de nutrientes no cafeeiro irrigado, verificou que a concentração de clorofila a, clorofila b e clorofila total não respondeu às doses de N. Em trabalhos mais recentes, Netto (2020), ao avaliar os níveis de adubação na fisiologia de cafeeiros em formação, não observou diferença significativa no índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total entre abril e outubro de 2019 e, fevereiro de 2020, em função dos níveis de adubação com N, P e K.

Em novembro de 2020, o índice de clorofila a e clorofila total apresentaram comportamento quadrático, com pontos de máxima observados próximos do nível de 120% e 125%, da adubação padrão com N, P e K, respectivamente (Figuras 12A e 12C). Os índices de clorofila b seguiram tendência linear crescente com pontos de máxima observados próximos do nível de 160% (Figura 12B) e os dados de condutância estomática apresentaram comportamento linear decrescente com ponto de máximo em 10% e de mínimo em 160% da adubação padrão com N, P e K (Figura 12D). Resultados esses coincidentes com os de Reis *et al.* (2006) que verificaram haver efeito de doses

crescentes de nitrogênio em relação a maiores índices de clorofila nas folhas.

Também Netto (2020), em junho de 2019, verificou maiores índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total com níveis de adubação próximos de 100% da adubação padrão com N, P e K. Resende (2019), trabalhando com cafeeiros no segundo e terceiro ano após a poda por recepa, na mesma área experimental do presente trabalho, notou que, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o índice de clorofila b e clorofila total nas folhas das plantas de cafeeiro de forma linear, atingindo o ponto máximo no nível de 160% da adubação padrão com N, P e K.

Outros trabalhos também encontraram diferenças nos teores de clorofila em função do aumento da adubação, como o de Godoy *et al.* (2008) em cafeeiro fertirrigado em que os valores do índice relativo de clorofila variaram com as doses de N aplicadas via fertirrigação, com efeito linear para todas as datas avaliadas. Os autores Lima Filho, Malavolta e Cabral (1997) encontraram respostas lineares no índice relativo de clorofila de cafeeiro com 12 meses de idade em relação à dose de N.

Também Netto (2020), ao avaliar a característica fisiológica condutância estomática, não verificou diferença significativa em função dos níveis de adubação com N, P e K em cafeeiro em fase de formação. Resposta similar foi encontrada em outros trabalhos realizados na mesma área experimental do presente trabalho, porém em outras fases de crescimento dos cafeeiros, como Resende (2019) que não verificou diferença significativa dos dados de condutância estomática em função dos níveis de adubação com N, P e K (no primeiro ano após a recepa) e por Gama *et al.* (2017) que também não observaram diferença significativa na condutância estomática, transpiração e na taxa fotossintética com diferentes níveis de adubação com N, P e K, no segundo ano após o plantio.

Em condições de estresse, Peloso *et al.* (2017) verificaram que o déficit hídrico afetou negativamente a fotossíntese do cafeeiro, seja por meio da menor eficiência de utilização de energia pelo aparato fotoquímico, quanto por decréscimos significativos obtidos em condutância estomática, os quais, estiveram associados à diminuição nos valores da assimilação líquida de CO₂. Segundo Taiz *et al.* (2017) o potencial hídrico foliar diminui à medida que o solo seca e a reidratação reverte o processo. Seguindo essa lógica, períodos com maior distribuição de chuvas ocasionam maiores potenciais hídricos foliares quando comparados com a época de escassez de água.

Entretanto, condutância estomática não foi diferente com os diferentes níveis de adubação, possivelmente devido ao fato de que no presente trabalho não houve grandes

variações da umidade do solo dentro das parcelas experimentais nas épocas avaliadas por se tratar de uma área fertirrigada.

6 CONCLUSÕES

- Apenas doses de N, P e K acima de 100% da adubação padrão, proporcionaram melhores crescimentos dos cafeeiros.

- Maiores produtividades após recepa, são alcançadas com pelo menos 100% da adubação padrão de produção.

- Para produtividades de cerca de 93,05 scs /ha, são necessários pelo menos 54,0 g/planta de N (450 kg/ha de N); 4,0 g/planta de P_2O_5 (33,3 kg/ha de P_2O_5); e 20,0 g/Planta de K_2O (166,7 kg/ha de K_2O).

- Em cafeeiros com níveis de adubação de 110% da adubação padrão, é possível se obter o rendimento no quarto e/ou quinto ano após a recepa de 498,14 litros de café/sc 60 kg.

- Em condições de deficiência nutricional podem ser necessários 701,99 L/sc.

- Maiores diâmetros equatoriais dos estômatos e menor relação DP/DE, foram observados em plantas com menores níveis de fertilizantes (10 e 70%).

- Menores valores de diâmetros equatoriais e maiores valores DP/DE foram encontrados com maiores níveis de adubação (100, 130 e 160%).

REFERÊNCIAS

- AFZAL, A. *et al.* Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Gottingen, v. 87, n. 1 p. 147-156, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- AMARAL, J. A. T. do *et al.* Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1624-1629, 2007.
- ARANTES, K. R.; FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamentos de adubação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, 2009.
- ASHRAF, M. *et al.* Inducing drought tolerance in plants: recent advances. **Biotechnology Advances**, New york, v. 28, n. 1, p. 169-183, 2010.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**, Prague, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.
- ASSIS, G. A. *et al.* Critical ranges for leaf nitrogen and potassium levels in coffee fertigated at the production phase1. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 126- 134, 2015.
- ASSIS, G. A. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado em produção**. 2012. 98 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ASSIS, G. A. *et al.* Níveis de adubação n e k em cafeeiros fertirrigados e sua função de resposta. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 16, n. 3, p. 65-73, 2018.
- BABOU, C. *et al.* Influence of micro irrigation and drip fertigation practices on yield and quality parameters of robusta Coffee (*Coffea canephora*). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v. 6, n. 2, p. 701-706, 2017.
- BALIZA, D. P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 250-258, 2012.
- BARBIERI JUNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.

BATISTA, L. A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.

BOTELHO, C. E. *et al.* **Clima e solo para o cultivo do cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2010. 4 p. (Circular Técnica, 87).

BOUGUYON, E.; GOJON, A.; NACRY, P. Nitrate sensing and signaling in plants. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, London, v. 23, p. 648-654, 2012.

CARVALHO, C. H. M. *et al.* Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, 2006.

CARVALHO, J. G. *et al.* Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J. *et al.* (ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 31-68.

CASTANHEIRA, D. T. **Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro**. 2018. 125 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CASTRO, R. D.; MARRACCINI, P. Cytology biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 175-199, 2006.

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, jan./jun. 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café: primeiro levantamento**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, safra 2021, p. 1-71, jan. 2021.

COSTA, E. L. **Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influência em características químicas do solo**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

COVRE, A. M. *et al.* Vegetative growth of Conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 535- 545, Oct./Dec. 2016.

CURI, N. C. *et al.* **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa, MG: SBCS, 2017.

- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, p. 55-81, 2006.
- DAVIS, A. P. *et al.* An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.
- DECHERT, G.; VELDKAMP, E.; BRUMME, R. Are partial nutrient balances suitable to evaluate nutrient sustainability of land use systems? Results from a case study in Central Sula wesi, Indonesia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, p. 201-212, 2005.
- DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. variedade *Typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 315-366, 1957.
- DOGAN, E. *et al.* Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 154-159, 2007.
- DUBBERSTEIN, D. *et al.* Influência da adubação no crescimento vegetativo de cafeeiros na amazônia sul ocidental. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 50-59, 2017.
- ECHER, F. R. *et al.* Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 638-645, out./dez. 2010.
- EMPRESA BRAASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Evolução da cafeicultura brasileira nas últimas duas décadas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.
- EPSTEIN, M.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- FAGUNDES, A. V. **Adubação líquida na implantação da lavoura Cafeeira (*Coffea arabica* L.)**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, p. 529-535, 2019.
- FERREIRA, E. P. B. *et al.* Crescimento vegetativo de *Coffea arabica* L. influenciado por irrigação e fatores climáticos no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3235-3244, 2013.
- GALMÉS, J. *et al.* Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*: anatomical adaptations in relation to gas exchange parameters. **Plant, cell & environment**, Oxford, v. 36, n. 5, p. 920-935, 2013.
- GAMA, T. C. P. **Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação**. 2015. 78 p. Tese (Doutorado em gronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

- GAMA, T. C. P. *et al.* Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 42-48, 2017.
- GARCIA, A. L. A.; CARVALHO, C. H. S.; GARCIA, A. W. R. Extração de nutrientes em cafeeiros da espécie *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 34., 2008, Caxambu. **Anais [...]**. Brasília: MAPA/ PROCAFÉ, Embrapa Café; Lavras: UFLA; Uberaba: UNIUBE; Varginha: Fundação Procafé, 2008. p. 53-55.
- GATIBONI, L. C. *et al.* Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, p. 141-187, 2013.
- GODOY, L. J. G. de *et al.* Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 217-226, 2008.
- GOMES, I. A. C. *et al.* Alterações morfológicas em folhas de *Coffea arábica* L. cv “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia Mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38 n. 1, p. 109-115, 2008.
- GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 564-570, 2007.
- GRISI, F. A. *et al.* Avaliações anatômicas foliares em mudas de café “Catuaí” e “Siriema” submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, 2008.
- GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFLA, 1999. p. 289-302.
- GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 347- 414.
- GUIMARÃES, R. J. *et al.* Cafeicultura adensada implica manejo e investimentos específicos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 8, p. 27-28, 2013.
- HAVLIN, J. L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7. ed. New Jersey: Pearson Education, 2005. 515 p.
- HEUER, S. *et al.* Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. **The Plant Journal**, Oxford, v. 90, n. 5, p. 868-885, 2017.
- INSELSBACHER, E. *et al.* A novel ¹⁵N tracer model reveals: plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 57, p. 301-310, 2013.

JALEEL, C. A. *et al.* Alterations in lipid peroxidation, electrolyte leakage, and proline metabolism in *Catharanthus roseus* under treatment with triadimefon, a systemic fungicide. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 330, n. 12, p. 905-912, 2007.

JAPIASSU, L. B. *et al.* Ciclos de poda e adubação nitrogenada em lavouras cafeeiras conduzidas no sistema “safra zero”. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 28-37, 2010.

JIANG, J. Mobilization of phosphate in variable-charge soils amended with biochars derived from crop straws. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 146, p. 139-147, 2015.

KARASAWA, S.; FARIA, M. A.; GUIMARÃES, R. J. Influência da irrigação e do parcelamento de fertirrigação sobre a produtividade, rendimento e qualidade do café (*Coffea arabica* L. cv. Topázio mg-1190). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1427-1438, 2002. Edição especial.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.

MARTINAZZO, R. *et al.* Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 563-570, 2007.

MARTINS, E. *et al.* Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, 2015.

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

MATIELLO, J. B. *et al.* **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha: Fundação Procafé, 2020. 716 p.

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

MEURER, E. J.; TIECHER, T.; MATTIELO, L. Potássio. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 429-464.

MORAIS, H. *et al.* Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, Nov./Dec. 2004.

NASCIMENTO, E. A. do *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.

- NAZARENO, R. B. *et al.* Crescimento inicial do cafeeiro ‘Rubi’ em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 903-910, 2003.
- NETTO, P. M. **Níveis de adubação no crescimento, índice de vegetação, anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação**. 2020. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.
- NEVES, P. Y. **Conteúdo foliar de zinco, produção, qualidade de grãos e plasticidade foliar do cafeeiro em resposta ao suprimento do nutriente**. 2009. 87 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- NOVAIS, R. F. *et al.* (ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 471-537.
- PARTELLI, F. L. *et al.* Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 5, n. 8, p. 108-116, 2013.
- PAULA NETO, A. **Metabolismo do nitrogênio e concentração de nutrientes no cafeeiro irrigado em razão da dose de N**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- PELOSO, A. F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.
- PEREIRA, M. G. *et al.* Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 508-514, 2010.
- PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.
- PINTO, C. G. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado para o primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, p. 530-538, 2013.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B. *et al.* Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- RAMALHO, J. C. *et al.* Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 26, p. 5-18, 2014.
- REIS, A. R. *et al.* Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

- REZENDE, F. C. *et al.* Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro em diferentes regimes hídricos e dosagens de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 447-458, 2010.
- 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.
- RIBEIRO, M. N. O. *et al.* Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, abr./jun. 2012.
- RODRIGUES, W. P. *et al.* Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biology**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 415-431, 2016.
- ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 477-483, 2007.
- ROY, E. D. *et al.* The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, London, v. 2, p. 16043, 2016.
- SÁ JÚNIOR, A. de. *et al.* Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1/2, p. 1-7, Apr. 2012.
- SANTANA, J. A. V. *et al.* Evolução do índice de área foliar de cafeeiro arábica sob diferentes níveis e formas de parcelamentos de adubação. **PesquisAgro**, Confresa, v. 2, n. 2, p. 3-17, 2019.
- SANTINI, P. T. *et al.* Mapeamento da temperatura e taxas fotossintéticas no dossel do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Resumos [...]**. Curitiba: SPCB, 2015. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3570/23_IX-SPCB-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 maio 2021.
- SCALCO, M. S. *et al.* Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio superadensado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 193-202, 2011.
- SCHMIDT, D. *et al.* Leaf morphoanatomy of ryegrass in the tree species understory in agroforestry systems. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 64, n.4, p. 368-375, July/Ago. 2017.
- SHAO, H. B. *et al.* Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 6, p. 433-441, 2008.

SILVA, A. C. *et al.* Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 21-25, 2008.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 37-44, 2003.

SILVA, A. R. A. *et al.* Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVA, C. A.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 387- 394, 2008.

SILVA, V. A. *et al.* Recuperação de cultivares de café submetidas ao esqueletamento aos quatro anos e meio de idade. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 55 - 64, jan./mar. 2016.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo**. Aracaju: Embrapa – Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

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, n. 1, p. 9- 16, jan. 2011.

SOBREIRA, F. M. *et al.* Divergence among arabica coffee genotypes for sensory quality. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 10, n. 10, p. 1442-1448, 2016.

SOUZA, A. J. J. *et al.* Levels of phosphorus in the initial development of coffee in soils with different textures. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 284-288, Apr./June 2014.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. *In*: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 309- 376.

SOUZA, T. C. *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, 2010.

SOUZA, V. H. S. **Investigação da interação entre a haste de uma colhedora e o ramo de um cafeeiro utilizando modelagem computacional**. 2017. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, maio/jun. 2005.

TAIZ, L. *et al.* **Physiology and plant development**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

THOMAZIELLO, R. A. *et al.* **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 82 p. (Boletim Técnico, 187).

THOMAZIELLO, R. A. Uso da poda no cafeeiro: por que, quando e tipos utilizados. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 12, p. 33-36, 2013.

VANCE, C. P. *et al.* Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Cambridge, v. 157, p. 423-447, 2003.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: . Embrapa, 2017. 163 p.

VILELA, D. J. M. *et al.* Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 552 - 561, 2017.

VILLELA, G. M. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados em formação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 271-279, 2015.

VILELA, M. S. **Nitrogen, phosphorus and potassium in coffee crop in vegetative stage and on brown eye spot management**. 2020. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, Tokyo, v. 8, p. 2537, 2018.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.