



CAROLINA ALVES PARDNI

**CONDUTÂNCIA E DENSIDADE ESTOMÁTICA DE
CAFEEIROS JOVENS EM RELAÇÃO A NÍVEIS DE
ADUBAÇÃO COM N, P e K**

LAVRAS-MG

2022

CAROLINA ALVES PARDINI

**CONDUTÂNCIA E DENSIDADE ESTOMÁTICA DE CAFEEIROS JOVENS EM
RELAÇÃO A NÍVEIS DE ADUBAÇÃO COM N, P e K**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira

Orientadora

Dra. Marina Scalioni Vilela

Coorientadora

LAVRAS-MG

2022

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

Pardini, Carolina Alves.

Condutância e densidade estomática de cafeeiros jovens em
relação a níveis de adubação com N, P e K / Carolina Alves Pardini.
- 2022.

30 p.

Orientador(a): Dalysse Toledo Castanheira.

Coorientador(a): Marina Scalioni Vilela.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. cafeicultura. 2. níveis de adubação. 3. Coffea arabica. I.
Castanheira, Dalysse Toledo. II. Vilela, Marina Scalioni. III. Título.

CAROLINA ALVES PARDINI

**CONDUTÂNCIA E DENSIDADE ESTOMÁTICA DE CAFEEIROS JOVENS EM
RELAÇÃO A NÍVEIS DE ADUBAÇÃO COM N, P e K**

**STOMATAL CONDUCTANCE AND DENSITY OF COFFEE CROP IN
VEGETATIVE STAGE IN RELATION TO FERTILIZATION WITH N, P AND K**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de maio de 2022.

Dra. Ana Cristina de Souza

Dra. Nagla Maria Sampaio de Matos – INCT/ Café

Prof. Dra. Dalysse Toledo Castanheira

Orientadora

Ms. Marina Scalioni Vilela

Coorientadora

LAVRAS-MG

2022

*Aos meus pais Leda e Antônio Maurício por
todo apoio e cuidado ao longo de toda minha
caminhada; à minha irmã Clara por todo
companheirismo; à Fábio por toda força,
compreensão e amor.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que possibilitou a conclusão de mais essa etapa em minha vida, por todas as bênçãos e desafios em meu caminho.

Aos meus pais Leda e Antônio Maurício por todo amor, zelo e por serem meu maior exemplo de determinação e união.

À minha irmã Clara pela companhia e apoio em minha caminhada.

Ao meu namorado Fábio por todo incentivo e apoio incondicional, que foram essenciais para meu desenvolvimento pessoal, e por todo amor, companheirismo e amizade de sempre.

À professora Dalysse, pela orientação, atenção e disposição que contribuíram em minha formação.

À Marina pela coorientação, paciência e dedicação em sempre ajudar e esclarecer dúvidas.

À todos os colegas e professores que contribuíram com meu conhecimento técnico e científico.

À todos os membros do Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF) e Grupo de Estudos em Herbicidas, Plantas Daninhas e Alelopatia (GHPD) por todos conhecimentos e vivências ensinadas.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Agricultura, por todos os ensinamentos.

À todos que de alguma maneira contribuíram em minha vida acadêmica.

Muito obrigada!

RESUMO

A cafeicultura é uma das atividades agrícolas mais antigas e tradicionais no território brasileiro e apresenta grande expressão na produção total mundial. O café é uma das commodities de maior expressão para o agronegócio no Brasil. Assim como toda cultura, o café necessita de adubações para um desenvolvimento vigoroso e satisfatório, com o fornecimento correto de nutrientes. Objetivou-se com o presente estudo avaliar a condutância e densidade estomática de cafeeiros jovens, lavoura com idade de três anos, em relação a adubação com N, P e K em diferentes níveis. O experimento foi instalado no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA) no ano de 2018. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, observando a variação dos níveis de adubação em 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da dose padrão recomendada de N, P e K. As doses recomendadas em manuais e boletins para a implantação de lavouras são 80 g/cova de P_2O_5 no plantio, 20 g/planta de K_2O em um ano e 05 g/planta de N em cada aplicação divididas em duas vezes. No primeiro ano após a implantação utilizou-se 10 g/planta de K_2O e de N em cada aplicação. Foram avaliadas no mês de março de 2021 a condutância usando o aparelho de medição porômetro foliar e a densidade estomática das plantas de café por meio do método de impressão foliar com uso de adesivo instantâneo. As análises estatísticas foram realizadas nos softwares R[®] e Sisvar[®]. Concluiu-se que houve diferenças significativas para densidade estomática e condutância estomática nos diferentes níveis de adubação com N, P e K.

Palavras-chave: Cafeicultura. Níveis de adubação. *Coffea arabica*, Análise fisiológica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Importância e botânica do cafeeiro	10
2.2	Essencialidade dos nutrientes minerais	11
2.3	Nitrogênio	11
2.4	Fósforo	13
2.5	Potássio	14
2.6	Densidade e condutância estomática	15
3	METODOLOGIA	17
3.1	Caracterização da área experimental	17
3.2	Implantação e condução experimental.....	18
3.3	Delineamento experimental e tratamentos	19
3.4	Condutância estomática foliar (gs – $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	20
3.5	Densidade estomática.....	20
3.6	Análise estatística	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5	CONCLUSÕES	22
	REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

Há vários anos, a cafeicultura brasileira vem se tornando destaque na agricultura nacional e internacional. A produção de café no Brasil corresponde a um terço da produção mundial, sendo ele o maior produtor do mundo. Além disso, é o segundo maior consumidor e o maior exportador de café do mercado mundial (ABIC, 2021).

Para a safra brasileira de 2022 a estimativa para a produção de café beneficiado arábica (*Coffea arabica L.*) é de 38.783,9 mil sacas e 16.959,2 mil sacas de canephora (*Coffea canephora*Pierre), o que representa um aumento de 16,8% a mais do que na safra anterior. Estima-se que sejam destinados 2.236,99 mil hectares para a cafeicultura nacional, com aumento de 1,7% em relação ao ano anterior, sendo 1.820,21 mil hectares para as lavouras em produção e 416,77 mil hectares de área em formação (CONAB, 2022).

Minas Gerais destaca-se no cenário nacional como o principal estado produtor de café, respondendo por cerca de 50% da produção do país. A estimativa de produção da safra de 2022 no estado é de 26.997 mil sacas de café beneficiado, sendo a grande maioria do tipo arábica. A área total de café cultivado na região é de cerca de 1,33 milhão de hectares (CONAB, 2022).

As lavouras de café de Minas Gerais estão, em sua maioria, implantadas em solos naturalmente pobres, de baixa a média fertilidade natural (GUIMARÃES e REIS, 2010). Com o aumento da produtividade e de áreas cultivadas, aliado a exigência do mercado consumidor para um grão de qualidade, a adubação correta juntamente com a implementação de tecnologia se faz necessária para que a produção nacional continue em expansão.

A nutrição mineral é essencial para promover produtividade e melhorar a qualidade dos grãos, além de exercer funções fundamentais no metabolismo da planta, influenciando fatores relacionados à fisiologia e ao crescimento vegetal (DAMATTA, 2006).

Pela essencialidade na fisiologia do cafeeiro, o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são os macronutrientes mais exigidos pela cultura, principalmente em sua fase de formação (EMATER, 2016).

As modificações no ambiente podem afetar o metabolismo da planta, como a fotossíntese, abertura e fechamento dos estômatos, metabolismo dos carboidratos na folha, entre outros fatores (PINHEIRO; CHAVES, 2011). A nutrição mineral contribui para a composição da organização celular. Entende-se, portanto, que quando a planta recebe ou deixa de receber macro e micronutrientes, ocorrem modificações em sua estrutura anatômica que podem alterar

a espessura de tecidos. Deficiências minerais limitam a capacidade fotossintética da folha e aumentam a concentração de CO₂, induzindo o fechamento dos estômatos (CONTIN, 2009).

Desse modo, objetivou-se nesse estudo a avaliação da condutância e densidade estomática de cafeeiros jovens, em lavoura com idade de três anos, em relação a adubação com N, P e K em diferentes níveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância e botânica do cafeeiro

O cultivo do café está entre as atividades socioeconômicas de maior importância no agronegócio mundial, sendo o Brasil o maior produtor e o segundo país maior consumidor do mundo. Economicamente no Brasil, as duas espécies mais importantes são o café arábica (*Coffea arábica L.*), que responde por mais de 60% da produção mundial, e o café canephora (*Coffea canephora Pierre*) (ICO, 2021). As espécies são originárias das terras altas da Etiópia e das florestas baixas da África Equatorial, na bacia do rio Congo, respectivamente (CHARRIER, 1978).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café mundial, e estima-se colher na safra de 2022 cerca de 38.783,9 mil sacas beneficiadas de café arábica e 16.959,2 mil sacas de café beneficiado canephora (CONAB, 2022).

As folhas do cafeeiro em plantas adultas estão presentes somente nos ramos plagiotrópicos, no mesmo plano e em posições opostas. A lâmina foliar de 12 a 24 cm é delgada e ondulada de forma elíptica, apresentando pequenas variações entre as variedades. A lâmina foliar possui uma ou mais camadas de células externas que constituem a epiderme, especializada na absorção de luz (EMBRAPA, 2007).

A epiderme é revestida por uma camada de cutícula (formada por cutina, ceras e pectinas) que reduz a perda espontânea de água e protege contra danos mecânicos. Possui grande diversidade anatômica e morfológica, compondo-se por diferentes tipos de células, entre elas as do parênquima paliádico e lacunoso, e a dos estômatos.

As folhas de café, são hipoestomáticas, ou seja, os estômatos estão presentes apenas na epiderme inferior ou abaxial e são do tipo paracítico (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

A transpiração estomática é responsável por mais de 90% da água transpirada (CARVALHO et al., 2008).

Dentre os fatores de produção, a nutrição mineral é essencial para elevar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, além de exercer importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando fatores relacionados à fisiologia e crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Se um dos elementos químicos essenciais à planta está disponível em quantidades insuficientes ou em combinações químicas que são menos absorvidos, a deficiência deste elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Esses desarranjos podem afetar a estrutura interna da planta, podendo provocar alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar e celular, bem como a perda da integridade da parede celular (DICKISON, 2000).

A nutrição mineral, por sua vez, pode ter efeito secundário sobre a resistência de plantas ao ataque de pragas e doenças, ou seja, quando os efeitos da nutrição se realizam nas características físicas que possibilitam mais resistência (MARSCHNER, 1995).

2.2 Essencialidade dos nutrientes minerais

Existem três critérios para um elemento ser considerado essencial, sendo eles: se sua ausência impede que a planta complete o seu ciclo vital; se o elemento não pode ser substituído por outro elemento com propriedades similares; o elemento deve participar diretamente do metabolismo da planta, e seu benefício não deve estar somente relacionado ao fato de melhorar as características do solo, por meio do crescimento da microflora, mas também de possibilitar outro efeito benéfico à planta (ARNON; STOUT, 1939).

A nutrição mineral é essencial para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos. Exerce funções fundamentais no metabolismo vegetal, influenciando fatores relacionados à fisiologia e crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006).

2.3 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes minerais consumidos em maiores quantidades pelo cafeeiro, tanto na formação quanto na fase de produção (CARVALHO et al., 2010). Na planta, o N atua como um importante regulador de processos fisiológicos e bioquímicos, tais como, expansão foliar, desenvolvimento radicular e expressão gênica (BOUGUYON et al., 2012). É

um componente fundamental de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, hormônios vegetais e clorofila (SOUZA; FERNANDES, 2018).

Além disso, ele afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHRODER et al., 2000).

Proporciona aumento da área foliar e no número de gemas floríferas por planta, promove incremento da ramificação dos ramos plagiotrópicos e uma maior produção de carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; REIS, 2010).

Geralmente, utilizam-se fertilizantes nitrogenados, pois o N disponível no solo, por meio da matéria orgânica (MOS) e por fixação biológica, ocorre no solo em sua forma orgânica. Assim sendo, ele não é diretamente aproveitado pelas plantas, devendo ser mineralizado para produzir NH_4^+ (amônio), o qual pode ser, posteriormente, nitrificado, gerando NO_3^- (nitrato), ambos, íons disponíveis para absorção das plantas (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

O processo de mineralização vai depender das condições de clima e solo, e, assim, a fração efetivamente tornada disponível para as plantas pode não ser suficiente para suprir a quantidade de N requerida pela planta em cultivos comerciais (MALAVOLTA, 1986).

As recomendações de adubação mineral com N disponíveis em manuais e boletins, para cafeeiros em pós-plantio varia de 3 a 5 g.planta⁻¹ de N, em cada aplicação, em cobertura, após o ‘pegamento’ no campo. No primeiro ano (12 a 24 meses após o plantio) e segundo ano (24 a 36 meses após o plantio) de formação, as doses variam de 8 a 30 g.planta⁻¹ e 20 a 60 g.planta⁻¹ de N em cada aplicação, respectivamente. Para cafeeiros em produção, as doses de N baseiam-se na produção esperada e no teor do nutriente na folha. A recomendação deste nutriente situa-se entre 50 a 450 kg.ha⁻¹ por ano agrícola. As adubações nitrogenadas nesses estádios devem ser realizadas no período chuvoso, parceladas em três a quatro vezes (GUIMARÃES et al., 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO et al., 2014).

Sob deficiência de nitrogênio, geralmente desenvolvem-se folhas pequenas, com estômatos com problemas no mecanismo de abertura e fechamento. Em muitas espécies, altas taxas de trocas gasosas estão associadas a altas concentrações de nitrogênio foliar (ELLSWORTH; REICH, 1992; ALMEIDA, 2001).

O sintoma indicativo da deficiência de N ocorre em folhas velhas, as quais apresentam clorose uniforme, com amarelecimento inclusive das nervuras, evoluindo para necrose e queda das folhas. Isso ocorre devido ao nutriente possuir grande mobilidade no floema (CARVALHO et al. 2010). Em cafeeiros, a deficiência de N pode resultar em clorose generalizada, redução

da síntese de clorofila, redução drástica no desenvolvimento da planta, desfolha de ramos medianos, seca de ponteiros e diminuição do tamanho e aumento na queda dos frutos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; GUIMARÃES; REIS, 2010; CARVALHO et al., 2010).

O excesso de N provoca desequilíbrio nas relações de N/P e N/K, estimula um crescimento vegetativo intenso, causando prejuízo à produção. Acarreta no atraso de amadurecimento dos frutos e perda na qualidade da bebida. Provoca, ainda, deficiência de zinco, boro, cobre, ferro, e maior susceptibilidade da planta ao ataque por doenças (EMATER, 2016).

2.4 Fósforo

O fósforo (P) é o nutriente menos prontamente disponível no solo devido à interação desse nutriente com constituintes do solo como cálcio (Ca), óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Ocorre em formas orgânicas e a tem lenta taxa de difusão na solução do solo (MALAVOLTA, 2006).

Na cultura do cafeeiro, é um macronutriente pouco exigido pela cultura quando comparado aos demais macronutrientes, sendo também pouco exportado para os grãos (GUIMARÃES et al., 2011). Por ser pouco disponível na rizosfera vegetal é aplicado em quantidades várias vezes superiores a aquelas requeridas pela planta (FURTINI NETO et al., 2001).

O P tem papel essencial na fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, respiração simbiótica e ativação de proteínas por meio de fosforilações. Participa de vários processos metabólicos em plantas na síntese de moléculas, como ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA), adenosina trifosfato (ATP) e NADPH, e de fosfolipídeos das membranas (POIRIER; BUCHER, 2002; VANCE.; STONE; ALLAN, 2003).

As plantas absorvem a maior parte de seu fósforo na forma de ânion monovalente-ortofosfato biácido (HPO_4^-) e em pequenas quantidades na forma ânion bivalente-ortofosfato monoácido (H_2PO_4^-), sendo o pH o principal fator determinante na relação em que as duas formas estão disponíveis para absorção (NOVAIS;SMYTH; NUNES, 2007).

O fornecimento adequado de P é importante já nas fases iniciais das plantas, pois as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no crescimento (GRANT et al., 2001), visto que, juntamente com o N, representam os nutrientes que comumente mais limitam a produtividade das culturas em solos de regiões tropicais

(MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O P atua na estruturação das raízes e do lenho, daí a importância da sua presença na adubação de plantio. (EMBRAPA, 2016).

As recomendações de adubação mineral com P para a cultura do cafeeiro sugerem, na implantação, doses de 20 a 80 g de P_2O_5 cova de plantio, em uma aplicação. No primeiro e segundo ano de formação (cerca de 36 meses após o plantio) não ocorre a aplicação de P_2O_5 , pois espera-se que o P fornecido no plantio atenda a demanda nutricional nesses estágios fenológicos. Na fase de produção, a recomendação é baseada na produtividade esperada e a quantidade de P disponível no solo, onde as recomendações variam de 0 a 160 $kg\cdot ha^{-1}$ (GUIMARÃES et al., 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO et al., 2014).

Em situação de deficiência, por ser um elemento de alta mobilidade na planta, os sintomas começam pelas folhas mais velhas, que, mudam de cor na ponta e no meio, passando do verde ao amarelo brilhante, amarelo róseo, vermelho escuro e marrom arroxeadado devido à formação de pigmentos de antocianinas. Uma forma característica dos sintomas é a necrose em forma de “V” invertido, às vezes irregular, acompanhando toda a largura do limbo foliar, a partir da sua extremidade, e que avança no sentido do pecíolo. Quando não ocorre a queda da folha, a necrose pode atingir toda a sua extensão (EMBRAPA, 2016).

As plantas afetadas por deficiência têm pequeno desenvolvimento do sistema radicular e paralisação do crescimento, onde folhas e caule são bem menores do que nas plantas normais. Observa-se também queda prematura das folhas e nestas condições, associa-se uma menor produção e menor qualidade do café produzido (MALAVOLTA, 1980; CARVALHO et al., 2010).

2.5 Potássio

As exigências do cafeeiro em potássio (K) são equivalentes às de N (MALAVOLTA, 1993). O K é fundamental na fotossíntese, ativa mais de 60 sistemas enzimáticos (sintetases, oxidoredutases, desidrogenases, transferases, cinases), é essencial para a produção de ATP, regula abertura e fechamento estomático mantém o turgor celular, promove absorção de água, regula a translocação de nutrientes na planta, favorece o transporte e o armazenamento de carboidratos, incrementa a absorção do N e a síntese de proteínas, além de participar da síntese de amido nas folhas (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2017). De acordo com a EMBRAPA, sua importância se estende, ainda, na resistência ao frio, por conferir maior concentração em solutos na planta, como resultado de uma maior eficiência fotossintética.

A absorção de K na planta é dada pelo íon monovalente K^+ . A exigência de K no cafeeiro aumenta com a idade e, principalmente, na fase de frutificação, na qual ocorre a translocação do K das folhas para os frutos em função da alta mobilidade do nutriente na planta (GUIMARÃES; REIS, 2010).

As recomendações de adubação mineral com K, para cafeeiros em pós-plantio, a dose varia de 0 a 30 g.planta⁻¹ de K em um ano, em cobertura, após o ‘pegamento’ das mudas no campo. No primeiro ano (12 a 24 meses após o plantio) e segundo ano (24 a 36 meses após o plantio) de formação as doses variam de 0 a 40 g.planta⁻¹ e 0 a 60 g.planta⁻¹ de K por ano, respectivamente. Para cafeeiros em produção, a recomendação é entre 0 a 450 kg.ha⁻¹ por ano agrícola. As adubações nesses estádios devem ser realizadas no período chuvoso, parceladas em três a quatro vezes (GUIMARÃES et al., 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO et al., 2014). Em cafeeiros, altos teores de K estão associados com altas produtividades (MALAVOLTA, 1993).

O sintoma de deficiência é expresso inicialmente em folhas velhas, por meio de clorose, seguida de necrose das margens externas e pontas das folhas. Pode ocasionar aumento de sensibilidade a doenças, déficit hídrico, injúrias pelo frio e chochamento de frutos. Em excesso, o K pode levar a deficiência de magnésio e, possivelmente, manganês, zinco e ferro, devido a competição pelo mesmo sítio de absorção (CARVALHO, 2010).

2.6 Densidade e condutância estomática

A anatomia foliar varia em função de diversos fatores, como radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e nutrientes do solo. Constitui-se, portanto, características adaptativas para que a planta tenha seu pleno desenvolvimento (ROSOLEM; LEITE, 2007), apresentando alterações nas espessuras dos parênquimas esponjoso e paliçádico, e dimensões estomáticas (BALIZA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005).

As transformações no ambiente podem afetar processos essenciais da fisiologia da planta, como a fotossíntese, metabolismo dos carboidratos na folha, a abertura estomática, bem como a expressão gênica (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

As folhas também se modificam a depender do ambiente que são expostas, alterando sua área, espessura, forma, síntese de nutrientes e capacidade de trocas gasosas (SACK;

HOLBROOK, 2006), de forma a ajustá-las de acordo com a fotossíntese líquida e assim garantir uma alta condutância hidráulica (BRODRIBB; FEILD; JORDAN, 2007).

Para o cafeeiro, existem estudos que associam as modificações nas estruturas anatômicas, com suas respectivas funções (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; GOMES et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2006), contudo, são necessários mais estudos que verifiquem a possibilidade de utilizar essas características anatômicas e fisiológicas.

Em um estudo feito por Rosolem e Leite (2007) trabalhando com a deficiência de boro no cafeeiro, observou-se que plantas deficientes em boro apresentaram uma menor densidade estomática, e à medida que se aumentou a adubação, aumentou-se também o número de estômatos/mm².

A nutrição mineral é de extrema importância para o pleno desenvolvimento vegetal, principalmente nas doses corretas de nitrogênio, fósforo e potássio. Se um dos elementos químicos essenciais à planta estiver disponível em quantidades insuficientes ou em combinações químicas que são menos absorvidos, a deficiência deste elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Esses desarranjos podem afetar a estrutura interna da planta, podendo provocar alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar, e ultraestrutura celular, bem como a perda da integridade da parede celular (DICKISON, 2000). A anatomia da planta pode, além de tudo, influenciar na translocação de nutrientes (ROSOLEM; LEITE, 2007).

O N, como já foi mencionado, é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (CANTARELLA, 1993). Sob deficiência de nitrogênio, geralmente desenvolvem-se folhas pequenas, com estômatos com problemas no mecanismo de abertura e fechamento. Em muitas espécies, altas taxas de trocas gasosas estão associadas a altas concentrações de nitrogênio foliar (ELLSWORTH; REICH, 1992; ALMEIDA, 2001)

O potássio atua na regulação osmótica, no balanço cátion/ânions, nas relações hídricas na planta, no movimento dos estômatos, no alongamento celular, na estabilização do pH do citoplasma, na ativação enzimática para grande número de enzimas, na síntese de proteínas, na fotossíntese e no transporte de açúcares no floema (FURLANI, 2004).

O fósforo tem função importante como elemento estrutural dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), compostos orgânicos e absorção ativa de nutrientes (FURLANI, 2004).

O fechamento dos estômatos é um processo regulado por vários fatores como a concentração celular de CO₂ nas folhas, concentração de solutos celulares, íons específicos, pH e ABA produzido na folha ou importados a partir da raiz (BLUM, 2009). O estresse hídrico é

um dos fatores ambientais mais limitantes à planta em todo o mundo. A resposta fotossintética de plantas C3 ao estresse hídrico tem sido bem estudada e avaliada, conforme indicado pelo grande número de pesquisas (CORNIC; FRESNEAU, 2002; FLEXAS et al., 2004).

Esses desarranjos podem afetar a estrutura interna da planta, podendo provocar alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar, e ultraestrutura celular, bem como a perda da integridade da parede celular (DICKISON, 2000).

A anatomia foliar do cafeeiro demonstra alterações para fatores como as condições de radiação (BALIZA et al., 2012; MORAIS et al., 2004), deficiência hídrica (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008) e deficiências nutricionais (NEVES, 2009; POLTRONIERI et al., 2011) apresentando alterações nas espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso, dimensões estomáticas entre outras (NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental de 0,11 hectares, do Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG), na Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras – MG, situada em latitude 21°22'57.51" Sul e longitude 44°97'17.84" oeste, e altitude média de 918 metros. O clima do local, de acordo com a classificação climática de Koppen é do tipo Cwa, caracterizado por duas estações distintas: seca no período de abril a setembro e chuvosa, no período de outubro a março. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférrico (EMBRAPA, 2018) de textura argilosa, cujos resultados das análises físicas e químicas das camadas de 0 a 20 e 20 a 40 centímetros (cm) de profundidade antes da instalação do ensaio, em agosto de 2018, são observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e análise física do solo da área experimental antes da implantação do experimento. Lavras – MG

Característica	0-20 cm	20-40 cm	Característica	0- 20 cm	20-40 cm
pH (H ₂ O)	6,1	5,6	V - (%)	64,46	48,08
P-rem - (mg L ⁻¹)	24,88	24,21	m - (%)	1,04	2,41
P - (mg.dm ⁻³)	19,55	4,33	MO. - dag.kg ⁻¹	1,90	1,54
K - (mg.dm ⁻³)	108,04	61,18	Zn - (mg.dm ⁻³)	4,52	3,50
Ca - (cmol _c .dm ⁻³)	3,67	2,24	Fe - (mg.dm ⁻³)	38,18	37,84
Mg - (cmol _c .dm ⁻³)	0,81	0,44	Mn - (mg.dm ⁻³)	23,07	11,65
Al - (cmol _c .dm ⁻³)	0,05	0,07	Cu - (mg.dm ⁻³)	3,65	3,77
H + Al - (cmol _c .dm ⁻³)	2,62	3,06	B - (mg.dm ⁻³)	0,12	0,12
T - (cmol _c .dm ⁻³)	7,38	5,90	S - (mg.dm ⁻³)	18,16	78,98

P-rem = fósforo remanescente; SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio; M.O = matéria orgânica.

Fonte: do Autor (2022)

3.2 Implantação e condução experimental

A implantação do experimento ocorreu em 11 de dezembro de 2018, com mudas da cultivar ‘Mundo Novo IAC 379/19’, da espécie *Coffea arabica* L., com espaçamento de 3,50 metros nas entrelinhas e 0,55 metros entre as plantas na linha de plantio.

Três meses antes da instalação do experimento, foi realizada a correção do solo da área experimental, composta de uma calagem em área total, na dose de 750 kg. ha⁻¹, conforme recomendações de Guimarães et al. (1999), sucedida de uma aração e duas gradagens. No sulco de plantio, foi feita a aplicação do calcário complementar, na dose de 40g m⁻¹, e posteriormente, uma operação de subsolagem. As garantias do calcário empregado foram: 38,5% de CaO, 10,9% de MgO e PRNT de 80%. Para o plantio das mudas, as covas foram feitas com enxadão nas dimensões de 40x40x40 cm de comprimento, largura e profundidade.

O monitoramento de pragas e doenças foi feito conforme o calendário agrícola da cultura e, quando atingiam os níveis de controle, foi realizado o manejo fitossanitário, com produtos registrados para a cultura, seguindo as orientações dos fabricantes. A aplicação foliar de micronutrientes seguiu as especificações de Guimarães et al. (1999).

O manejo de plantas daninhas na linha de plantio foi realizado durante todo período de condução do experimento por meio de capinas e uso de herbicidas em pré-emergência (oxyfluorfen) e pós-emergência (glyphosate). Nas entrelinhas do cafeeiro, o controle foi feito com a utilização de roçadora mecânica.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com seis níveis de adubação e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta de oito plantas, com as seis plantas centrais úteis para as avaliações, distribuídas em uma única linha de plantio, onde os tratamentos foram alocados conforme sorteio. Utilizou-se, em ambas as laterais, uma linha de bordadura.

Os níveis de adubação estabelecidos foram: 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão para nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), conforme o manual Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação (GUIMARÃES et al., 1999) para a formação e produção do cafeeiro, em função da análise do solo.

As doses estabelecidas de N, P e K como padrão foram: 80 g de P_2O_5 por muda na cova de plantio, 20 g de K_2O e 5 g de N por planta, ambos em cobertura, divididos em dois parcelamentos, nos meses de janeiro e fevereiro de 2019. As doses de cada tratamento estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das doses de NPK empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2019/2020. Lavras – MG.

Tratamentos	Doses de N (g.planta ⁻¹)	Doses de P_2O_5 (g.planta ⁻¹)	Dose de K_2O (g.planta ⁻¹)
T1 (10%)	0,50	8,00	2,00
T2 (40%)	2,00	32,00	8,00
T3 (70%)	3,50	56,00	14,00
T4 (100%)	5,00	80,00	20,00
T5 (130%)	6,50	104,00	26,00
T6 (160%)	8,00	128,00	32,00

Fonte: do Autor (2022)

A adubação fosfatada foi realizada com o uso da fonte superfosfato simples (18% de P_2O_5). O fornecimento de N e K foi feito utilizando-se as fontes ureia (44% N) e cloreto de potássio (58% K_2O), respectivamente.

Em setembro/2019 e outubro/2020, para a reaplicação dos tratamentos, foram realizadas amostragens de solo de cada tratamento. A dose padrão (100%), em 2019, foi 10g de N e 10g de K_2O por planta, divididas em 3 aplicações. Em 2020 a dose padrão foi 86g de N e 33g de K_2O por planta, divididas em 3 aplicações.

Para a reaplicação dos tratamentos foram realizadas análises de solo em setembro/2019 e outubro/2020 (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise de solo da área experimental para reaplicação dos tratamentos.

Característica	0-20 cm	Característica	0- 20 cm
pH (H ₂ O)	5,6	V - (%)	65,69
P-rem - (mg L ⁻¹)	19,90	m - (%)	1,77
P - (mg.dm ⁻³)	10,41	MO. - dag.kg ⁻¹	ns
K - (mg.dm ⁻³)	170,53	Zn - (mg.dm ⁻³)	ns
Ca - (cmol _c .dm ⁻³)	4,08	Fe - (mg.dm ⁻³)	ns
Mg - (cmol _c .dm ⁻³)	1,04	Mn - (mg.dm ⁻³)	ns
Al - (cmol _c .dm ⁻³)	0,10	Cu - (mg.dm ⁻³)	ns
H + Al - (cmol _c .dm ⁻³)	2,90	B - (mg.dm ⁻³)	ns
T - (cmol _c .dm ⁻³)	8,46	S - (mg.dm ⁻³)	ns

P-rem = fósforo remanescente; SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio; M.O = matéria orgânica.

Fonte: Do Autor, 2022

Para a reaplicação dos tratamentos foram realizadas análises de solo em setembro/2019 e outubro/2020 (Tabela 2). As adubações com N e K foram realizadas em cobertura e parceladas em intervalos de aproximadamente 45 dias entre as aplicações. Os cálculos da necessidade de N e K foram realizados com base nos resultados da análise de solo do nível de 100% da adubação padrão recomendada, para cafeeiros no primeiro ano após o plantio em 2019 e cafeeiros em produção em 2020 (GUIMARÃES et al., 1999). Para a adubação de 2019, as doses estabelecidas como padrão (100%) foram: 10 g de K₂O e 10 g de N por planta, divididas em três aplicações. Em 2020, as doses consideradas padrão (100%) foram: 86g de N e 33g de K₂O por planta, divididas em três aplicações.

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

As medições foram realizadas no mês de março de 2021, 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.

Para avaliação da condutância estomática utilizou-se o porômetro (SC-1, Decagon Devices). O aparelho determina o fluxo de vapor real da folha através dos estômatos para o ambiente externo. As leituras foram feitas em dias claros no período compreendido entre às 9h e 11h da manhã.

3.5 Densidade estomática

As coletas para as avaliações das secções paradérmicas, foram realizadas em março de 2021, coletando-se uma folha completamente expandida, no segundo ou terceiro nó do ramo plagiotrópico, do terço médio das plantas, de cada parcela experimental. Após o procedimento, 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, para obtenção das secções paradérmicas foliares foram obtidas no material fresco, mediante a retirada da impressão da epiderme, na face abaxial, por meio do método de impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre lâmina de vidro (SCHMIDT et al., 2017). As características avaliadas, nas secções paradérmicas foliares, foram: número de estômatos (NE), para posterior obtenção da densidade estomática (DEN - número de estômatos/ mm²), segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

3.6 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software R[®]. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e quando significativos foram ajustados modelos de regressão lineares e não lineares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tratamentos (doses de NPK) apresentaram efeito significativo para as variáveis analisadas, densidade e condutância estomática.

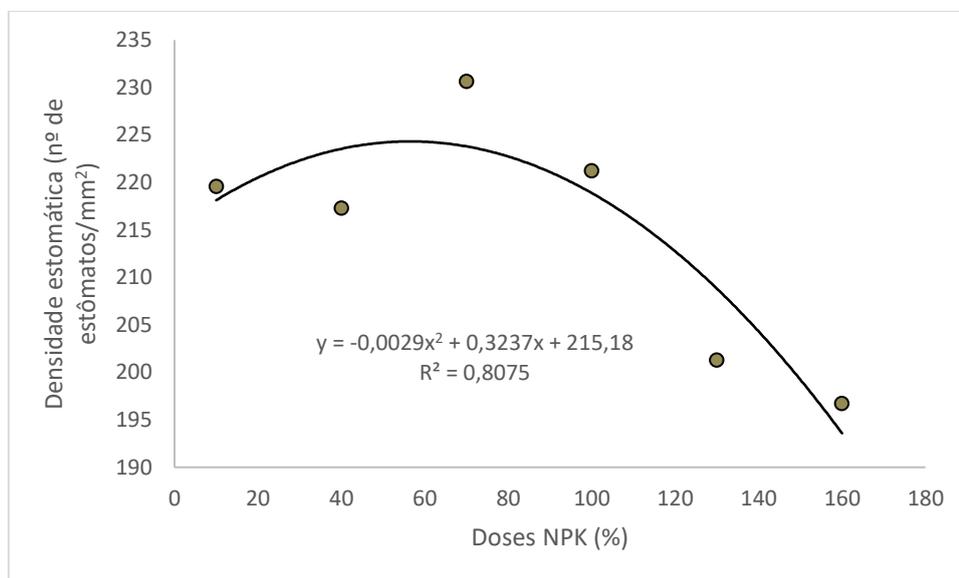
Houve diferença significativa entre as doses de adubação com NPK utilizadas em relação à densidade estomática (número de estômatos/mm²) como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para densidade estomática (número de estômatos/mm²) de cafeeiros cultivados com diferentes níveis de adubação com N, P e K. Lavras - MG, 2022.

FV	GL	QM	Pvalor
DOSE	5	664.185159	0.0424*
BLOCO	3	255.531606	0.3519
erro	15	217.297246	
Total corrigido	23		
CV(%)		6.87	
Média geral		214.4611856	

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Figura 1 – Densidade estomática (número de estômatos por mm^2) em função dos diferentes níveis de adubação com NPK.



Com base nos resultados observados na Figura 1, maiores valores de densidade estomática foram observados próximo a dose de 70%, com redução em doses superiores a 100% da adubação recomendada para NPK. Desta maneira a adubação com NPK possivelmente foi responsável por esse aumento já que estes nutrientes estão relacionados ao crescimento, diferenciação e desenvolvimento da planta (ROSOLEN; LEITE, 2007).

Em um estudo feito por Netto (2021) com níveis de adubação no crescimento, índice de vegetação, anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação, resultados semelhantes foram encontrados. No mesmo estudo, foi observado redução nas características de crescimento vegetativo nas doses superiores a 100% de NPK, podendo ser associado ao fato de os nutrientes estarem disponíveis em excesso para as plantas, contrariando assim a Lei de Liebig ou Lei do Mínimo, cujo a ocorrência de efeito interiônicos de inibição ou antagonismo entre os vários

nutrientes utilizados no experimento (CARVALHO et al. 2010) ou, mesmo, causando um aumento no índice de salinidade do solo, levando assim, a prejuízo no crescimento vegetativo na fase de formação do café.

Entende-se pela Lei do Mínimo que a produção de uma cultura é limitada pelo nutriente que está em menor disponibilidade no solo, ainda que todos os outros elementos estejam disponíveis e na quantidade adequada.

A redução da densidade estomática nas doses mais baixas pode ser entendida também pela deficiência de Mg induzida pelo excesso de K na adubação, o que é bastante comum na cultura do cafeeiro (FAQUIN, 2005). O Mg faz parte da molécula de clorofila, que é fundamental para a fotossíntese, logo nas trocas gasosas realizadas pela abertura e fechamento dos estômatos e entre outras funções como no transporte de carboidrato, na respiração e na regulação enzimática (FAVARIN et al, 2013).

Resultados similares foram encontrados no estudo de Rosolem e Leite (2007) que ao trabalharem com a deficiência de boro no cafeeiro observaram que plantas deficientes em boro apresentaram uma menor densidade estomática, assim como pode ser observado nesse estudo, com as doses menores de NPK e possivelmente inibição nutricional nas doses maiores.

A contagem do número de estômatos é de grande importância, pois tem relação direta com a realização da fotossíntese nas plantas e, assim, com a fixação de carbono e, conseqüentemente, a produtividade (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Os estômatos são poros na epiderme que tem como função diminuir a resistência para a difusão e circulação de gases e vapor de água entre a planta e o ambiente. O desenvolvimento do estômato e o ajuste da abertura do poro estomático são regulados por complexas redes reguladoras que incorporam estímulos ambientais para otimizar a capacidade de fotossíntese e minimizar a perda de água. Alguns genes envolvidos na regulação, diferenciação ou densidade estomática também estão envolvidos em respostas a estresses hormonais e ambientais, sendo que estes podem fornecer uma ligação entre a modulação do desenvolvimento estomático ou função, em resposta às alterações no ambiente (PILLITTERI; DONG, 2013).

No estudo de Netto (2021) não se observou efeito significativo no número de estômatos e na densidade estomática.

Já em um estudo de características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação, observou aumento da densidade estomática e o número de estômatos, conforme se aumentavam as doses de NPK (GAMA et al.,2015).

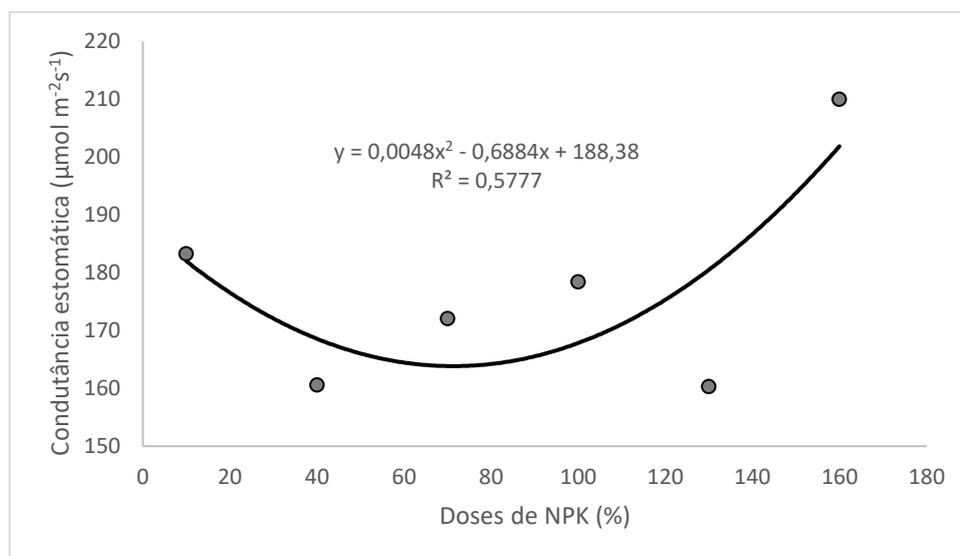
Para a condutância estomática houve diferença significativa em função das diferentes doses de NPK utilizadas (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para densidade estomática (número de estômatos por mm²) de cafeeiros cultivados com diferentes níveis de adubação com N, P e K. Lavras - MG, 2022.

FV	GL	QM	Pvalor
BLOCO	3	50.559292	0.7538
DOSE	5	139.338299	0.0002*
erro	15	125.860857	
Total corrigido	23		
CV(%)		6.32	
Média geral		177.4270833	

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05).

Figura 2 – Condutância estomática ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de cafeeiros em função dos diferentes níveis de adubação com NPK. Lavras-MG, 2022.



Observou-se o aumento da condutância estomática com o aumento do nível de adubação com NPK. A mínima condutância estomática foi observada na dose de 70% da adubação com NPK.

Em um estudo feito por Knupell et al (2017) sobre taxa fotossintética e condutância estomática de cafeeiros cultivados com diferentes tipos de manejo observou-se que o uso de fertilizante de liberação controlada proporcionou maior condutância estomática, quando

comparado ao convencional. Resultado esse confirma a relação direta entre a condutância estomática e a nutrição das plantas, principalmente em relação ao N e K.

A fotossíntese aumenta de acordo com o aumento da condutância estomática, este aumento na condutância está relacionado a uma maior abertura estomática o que consequentemente ocasiona uma maior taxa de transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2004).

DaMatta et al. (2002), utilizando plantas de *Coffea canephora* cultivadas em diferentes regimes de umidade do solo e de nutrição nitrogenada, mostraram que quando bem hidratadas, a taxa fotossintética e a condutância estomática foram maiores nas plantas com alto teor de nitrogênio.

ATKINSON et al. (1989), mostraram que plantas inteiras cultivadas com doses normais de cálcio em solução nutritiva apresentam maior condutância do que plantas cultivadas com doses menores desse elemento. Provavelmente essa diminuição da taxa fotossintética das plantas deficientes em cálcio, em relação às plantas com suprimento normal desse elemento, não está somente relacionada ao componente físico correspondente ao efeito estomático, mas também às alterações no funcionamento fotossintético do mesófilo, atuando no fotossistema II (PS II) (RAMALHO, 1995).

DaMatta et al. (2002) demonstraram que plantas de *C. canephora* supridas com elevados níveis de nitrogênio e água no solo, apresentaram melhor atividade do PS II do que plantas supridas com pouco nitrogênio.

5 CONCLUSÕES

Os diferentes níveis de adubação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro.

Em geral, os melhores resultados nos parâmetros avaliados foram encontrados próximos à dose de 100% da adubação, corroborando assim para a importância da nutrição mineral equilibrada, pois doses acima desse nível prejudicaram a densidade estomática e doses abaixo proporcionaram a redução da condutância estomática.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, M.D. et al. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. **Ecology**, Washington, v.75, n.1, p.123-133, 1994.
- ALMEIDA, L.P. Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* Mez. sob diferentes níveis de radiação. 96p. **Dissertação Mestrado em Fisiologia Vegetal** – Curso de Agronomia/Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, 2001.
- ANDRADE, L. R. M. A. Café. In: Sousa, D. M. G. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. EMBRAPA. 2004. p. 339-342.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 14, p.371-375, 1939.
- 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.
- BATISTA, L.A.; GUIMARÃES, R.J.; PEREIRA, F.J.; CARVALHO, G.R.; CASTRO, E.M. de. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BLUM, A. Sorghum physiology. In: Nguyen HT, Blum A (eds) **Physiology and biotechnology integration for plant breeding**, Marcel Dekker, New York. 2009.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.28, p.355-377, 1977.
- BOUGUYON, E; GOJON, A; NACRY, P. Nitrate sensing and signaling in plants. In: **Seminars in Cell & Developmental Biology**. Academic Press, p. 648-654, 2012.
- BRODRIBB, T. J.; FEILD, T. S.; JORDAN, G. J. J. Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 144, p. 1890-1898, 2007
- 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. p. 31-68. 2010
- CARVALHO, L. M. et al. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí-Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 411-416, mar. 2015.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234 p.
- CANTARELLA, H. 1993. **Calagem e adubação do milho**. In: BÜL, L.T.,1993.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.;

CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI). V. 2, p. 15-65, 2010.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafes>>.

CORNIC, G.; FRESNEAU, C. Photosynthetic carbon reduction and oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 887–894, 2002.

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

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. de N. et al. **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 92-132.

DEDDECA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 6, p. 315-366, 1957.

DICKISON, W.C. Integrative plant anatomy. **San Diego**: Academic Press, 2000. 533 p.

ELLSWORTH, D.S.; REICH, P.B. 1992. Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contrasting forest light environments. **Functional Ecology** 6: 423-435.

EPSTEIN, M.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras-MG: Centro de Editoração/Faepe, 2005. 186 p.

FAVARIN, J. L.; NETO, A. P.; TEZOTTO, T.; MARTINS, P. O.; TEIXEIRA, P. P. C. **Correção do magnésio no solo é essencial ao cafeeiro**. *Visão Agrícola*, ed. 12, p. 76-78, Jan/Jul 2013.

FLEXAS, J. et al. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 5, p. 1–11, 2004.

FURLANI, A.M.G. 2004. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**, Rio de Janeiro: Guanabara Kooga S.A; p.40-75

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GAMA, T. C. P. da. Características Anatômicas e Fisiológicas de Cafeeiros Irrigados em Diferentes Níveis de Adubação. Orientador: Rubens José Guimarães. 2015. 78 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2015.

GAMA, T. C. P. da *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.

GOMES, I. A. C. *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008.

GRANT, C. A. *et al.* **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, 2001.

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.

GUERREIRO FILHO, O. *et al.* Café Arábica. In: AGUIAR, A. T. E. *et al.* (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas: boletim 200**. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 90-104.

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, UFV, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, 2011.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. In: REIS, P. R.; DA CUNHA, R. L. *Café arábica do plantio à colheita*. Lavras, MG: EPAMIG, 2010. p. 347-414.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon (B. rodr.) (Choussy) cultivados em solução nutritiva. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 35, n.4, p. 273-289, dez. 1960.

ICO. International Coffee Organization. Estatísticas do comércio: produção: total production by all exporting countries. London: ICO, 2022.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KNUPPEL, C. A. *et al.* Taxa fotossintética e condutância estomática de cafeeiros cultivados com diferentes tipos de manejo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS**, 43., 2017, Poços de Caldas. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2017. (1 CD-ROM), 2 p

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

_____. **Nutrientes e nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

_____. **Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro.** In: RENA, A. B. et al. (Ed.). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.* Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.

_____. *Elementos de nutrição mineral de plantas.* São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2nd ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MELO, B. de. et al. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo.* Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

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**, [S.l.], v.38, p. 903-910, 2003.

NETTO, Pedro Menicucci. Níveis de adubação no crescimento, índice de vegetação, anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação. Orientador: Élberis Pereira Botrel. 2021. 81 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2021.

Novais, R.F., Smyth, T.H. and Nunes, F.N. (2007) Fósforo. In: Novais, et al., Eds., *Fertilidade do solo*, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, 470-550

PILLITTERI, L. J.; DONG, J. Stomatal Development in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, 2013

PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Ann. Bot.*, v. 96, p. 101-108. 2005.

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

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. **The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists**, v. 1, 2002

ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 477-483, 2007.

SACK, L.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulics. **The Annual Review of Plant Biology**, Palo

Alto, v. 57, p. 361-381, 2006.

SCHMIDT, D. et al. Leaf morphoanatomy of ryegrass in the tree species understory in agroforestry systems. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.4, p. 368-375, jul./ago.2017

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

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

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. São Paulo: Artmed, 2017.

VANCE C. P.; STONE, C.H.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, [S.l.], v. 157, p. 423-447, 2003.