



MARINA SCALIONI VILELA

**NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN COFFEE
CROP IN VEGETATIVE STAGE AND ON BROWN EYE SPOT
MANAGEMENT**

**LAVRAS – MG
2020**

MARINA SCALIONI VILELA

**NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN COFFEE CROP IN
VEGETATIVE STAGE AND ON BROWN EYE SPOT MANAGEMENT**

Dissertação 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 Mestre.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

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

Vilela, Marina Scalioni.

Nitrogen, phosphorus and potassium in coffee crop in
vegetative stage and on brown eye spot management / Marina
Scalioni Vilela. - 2020.

117 p.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Coorientador(a): Élderis Pereira Botrel.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. Mineral nutrition. 3. *Cercospora
coffeicola* Berkeley & Cooke. I. Guimarães, Rubens José. II. Botrel,
Élderis Pereira. III. Título.

MARINA SCALIONI VILELA

**NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN COFFEE CROP IN
VEGETATIVE STAGE AND ON BROWN EYE SPOT MANAGEMENT**

**NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO CAFEIEIRO EM FORMAÇÃO E NO
MANEJO DA CERCOSPORIOSE**

Dissertação 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 Mestre.

APROVADA em 20 de agosto de 2020.

Dra. Danielle Pereira Baliza IFSUDESTE MG

Dr. Edson Ampélio Pozza UFLA

Dr. Élberis Pereira Botrel UFLA

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

*Aos meus pais, Nelson Gandini Vilela e Maria
Heloisa Scalioni Vilela, por todo apoio e suporte
durante todo o caminho até aqui.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força e determinação proporcionados a mim para que fosse possível superar todos os obstáculos e concluir essa etapa.

Aos meus pais, Heloisa e Nelson, por todo apoio e suporte, e por sempre me incentivarem a seguir meus objetivos. Por todo o ensinamento e educação proporcionados.

Às minhas avós, Maria (que mesmo não estando em condições eu sei que sempre torceu por mim) e Benedita, por todas as orações e ensinamentos.

Ao meu namorado, Marcelo, por seu companheirismo e por todo apoio para que eu alcançasse meus sonhos.

Aos meus irmãos, Marcelo e Mateus, por todos os ensinamentos, inspirações e conhecimentos compartilhados.

A minha família, por serem minha base e por todo apoio e inspiração para que fosse possível alcançar todas as minhas metas.

Ao professor Rubens José Guimarães, por toda orientação, carinho, confiança e incentivo na busca por meus sonhos.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade e condições oferecidas durante o curso.

Ao Setor de Cafeicultura, por toda a ajuda e aprendizado, e por todas as amizades conquistadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e à Agência de Inovação do Café (INOVACAFÉ), pelo apoio no projeto.

Ao NECAF e ao GHPD, por todo o conhecimento proporcionado e por meu engrandecimento pessoal e profissional.

A todas as amigas e amigos que fizeram parte do meu dia a dia, por todo o suporte, lições, alegrias e histórias compartilhadas.

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

Muito obrigada!

RESUMO

O cultivo do cafeeiro apresenta grande importância na agricultura brasileira, e um dos fatores mais limitantes para o alcance de altas produtividades é a nutrição adequada das plantas, principalmente em suas fases iniciais. A nutrição mineral também interfere na incidência de doenças como a cercosporiose, a qual é favorecida por desordens nutricionais. Objetivou-se com este trabalho, determinar a influência de diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento, desenvolvimento, incidência da cercosporiose e nutrição do cafeeiro em formação conduzido em sequeiro. O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido em campo, no setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, MG. Foram utilizadas mudas de cafeeiro da cultivar Mundo Novo IAC 379/19 plantadas no espaçamento de 3,50 x 0,55 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os níveis de adubação utilizados foram: 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão recomendada. Foram avaliadas características de crescimento, potencial hídrico foliar, incidência da cercosporiose e também análises químicas de solo e de folhas. Foram constatadas diferenças no crescimento de plantas a partir de outubro/2019. O menor potencial hídrico foliar foi observado em julho. As condições climáticas influenciaram o cafeeiro e a incidência da cercosporiose. A maior área abaixo da curva de progresso da incidência da cercosporiose (AACPIC) foi detectada nos menores níveis de adubação utilizados. Porém, observou-se redução no número de folhas devido ao aumento da dose de NPK. Os níveis de NPK utilizados influenciaram nas concentrações dos mesmos nas folhas, bem como nos teores foliares de outros nutrientes. Portanto, no nível de 100% houve equilíbrio na concentração de nutrientes nas folhas, sem ocasionar prejuízos no crescimento da planta, além de proporcionar menor incidência da cercosporiose e manutenção da quantidade de folhas.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

ABSTRACT

Coffee crop has great importance in Brazilian agriculture, and one of the most limiting factors for achieving high productivity is balanced plant nutrition, especially in vegetative stage. Mineral nutrition also interferes on the incidence of diseases such as brown eye spot (BES – *Cercospora coffeicola*), which is favored by nutritional balance. Thus, the aim of this study was to evaluate the different effects of fertilization levels with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), denominated NPK, on growth, development, plant nutrition and on the incidence of BES on coffee crop in vegetative stage. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. The experimental design was randomized blocks, with six treatments and four replications. The fertilization levels used were: 10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization recommended for NPK. Growth characteristics, leaf water potential, incidence of BES and also chemical analyzes of soil and leaves were evaluated. Differences in plant growth were found from October/2019. The lowest leaf water potential was occurred in July. Climatic conditions influenced the development of coffee and incidence of BES. A reduction in area under the incidence progress curve (AUIPC) was observed with the increase in the dose of NPK. There was also a reduction in the number of leaves due to the increase in the dose of NPK. The levels of NPK fertilization influenced their concentrations in the leaves, as well as other nutrients. Therefore, on the fertilization level of 100% the plants showed balanced foliar contents of nutrients, without harm the growth of coffee crop, besides that, this level favored the reduction of AUIPC, maintaining more leaves and the nutritional balance in coffee plants.

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	10
1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	A cultura do cafeeiro e a importância da fase de formação da lavoura	12
2.2	Critérios da essencialidade dos nutrientes	13
2.2.1	Nitrogênio	14
2.2.2	Fósforo	15
2.2.3	Potássio	16
2.3	Análise química das folhas.....	17
2.4	Faixas e níveis críticos de adubação.....	18
2.5	Cercosporiose e os nutrientes	19
	REFERÊNCIAS.....	22
	CAPÍTULO 2 NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA FASE DE FORMAÇÃO DO CAFEIEIRO EM SEQUEIRO.....	28
1	INTRODUÇÃO	30
2	MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1	Caracterização da área experimental	32
2.2	Tratamentos e delineamento experimental	33
2.3	Avaliações	34
2.3.1	Crescimento Vegetativo	35
2.3.2	Potencial hídrico foliar	35
2.3.3	Dados meteorológicos	35
2.3.4	Características químicas das folhas	35
2.4	Análises estatísticas.....	36
3	RESULTADOS	37
4	DISCUSSÕES	47
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	52
6	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A	58
	CAPÍTULO 3 NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA INCIDÊNCIA DA CERCOSPORIOSE NO CAFEIEIRO EM FORMAÇÃO	60

1	INTRODUÇÃO	62
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1	Caracterização da área experimental	64
2.2	Tratamentos e delineamento experimental	65
2.3	Avaliações	66
2.3.1	Incidência da Cercosporiose e contagem do número de folhas	67
2.3.2	Potencial hídrico foliar	67
2.3.3	Análise foliar	68
2.3.4	Dados meteorológicos	68
2.4	Análises estatísticas.....	68
3	RESULTADOS	70
4	DISCUSSÕES	79
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS	84
6	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS.....	86
	APÊNDICE B.....	90
	CAPÍTULO 4 NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON THE INCIDENCE OF BROWN EYE SPOT IN COFFEE CROP IN VEGETATIVE STAGE.....	92
1	INTRODUCTION	94
2	MATERIAL AND METHODS	95
2.1	Experimental area characterization	95
2.2	Treatments and experimental design.....	97
2.3	Disease assessments	98
2.4	Statistical analysis.....	99
3	RESULTS.....	100
4	DISCUSSIONS.....	108
5	CONCLUSION	112
6	ACKNOWLEDGMENTS.....	112
7	REFERENCES	113

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande relevância na agricultura brasileira, pois o país ocupa posição de destaque mundial como maior produtor e exportador. Estima-se em 2020, a produção de 62,02 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado em área estimada de 2,16 milhões de hectares, sendo o estado de Minas Gerais, a principal região produtora, com 1,22 milhão de hectares ocupados com café arábica, aproximadamente 72% da área nacional cultivada com a espécie (CONAB, 2020).

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, ressalta-se o incremento da produtividade média nacional de 8 scs.ha⁻¹ em 1997, para mais de 30 scs.ha⁻¹ na última safra (EMBRAPA, 2019; CONAB, 2020). Entretanto, há necessidade de se ajustar as recomendações de adubação em função do aumento das necessidades nutricionais da cultura ao longo do tempo pela constante evolução nas tecnologias geradas. De acordo com a Conab (2020), estima-se que em 2020 haja acréscimo de 34% na quantidade de sacas produzidas em relação ao ano anterior, acompanhada do aumento de 1,4% da área total cultivada, sendo cerca de 12,8% das lavouras em fase de formação e 87,2% em produção.

O ciclo fenológico do cafeeiro compreende dois anos, sendo a fase vegetativa ou de formação no primeiro, e a reprodutiva no segundo. No caso da formação da lavoura cafeeira, no primeiro ano em campo, ocorre crescimento vegetativo e somente no ano subsequente, a lavoura entra na fase reprodutiva. Logo, no primeiro ano de formação do cafeeiro ocorre o crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos preparando a planta para iniciar o período reprodutivo no segundo ano de formação, embora com produtividade reduzida. Nesse contexto, destaca-se a importância dessa fase, pois nela haverá o acúmulo dos nutrientes necessários para suprir as necessidades da planta na fase seguinte. Portanto, os padrões de absorção de nutrientes são diferentes dos da fase reprodutiva, havendo aumento das concentrações de N, P e K de forma linear e crescente (CAMARGO; CAMARGO, 2001; CARVALHO *et al.*, 2010).

Desse modo, diversos fatores podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro, com destaque para a disponibilidade de água e a nutrição inadequadas. Assim, como no primeiro ano em campo o cafeeiro é mais sensível, condições de escassez hídrica podem prejudicar o transporte e translocação de nutrientes na planta, provocando desequilíbrios

nutricionais (ASSAD *et al.*, 2004; TAIZ *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019). Esses fatores podem ocasionar prejuízos a longo prazo, como a redução da produtividade e da longevidade da lavoura (BOTELHO *et al.*, 2010). Com isso, há necessidade do aumento da eficiência do uso dos fertilizantes, principalmente na fase de formação da lavoura cafeeira, de modo a fornecer os nutrientes de maneira equilibrada.

Além do crescimento e desenvolvimento do cafeeiro, a nutrição mineral interfere na suscetibilidade das plantas a patógenos devido a seu papel secundário no metabolismo vegetal, no qual auxilia na formação de barreiras de resistência horizontais. Essas barreiras estão relacionadas ao engrossamento da parede celular, aumento da camada de cera na cutícula e recuperação de injúrias. Devido a isso, lavouras mal conduzidas possuem maior tendência à incidência de doenças (MARSCHNER, 2012; BELAN *et al.*, 2015; POZZA *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Dentre elas, destaca-se a cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo cujo agente etiológico é o fungo *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

Portanto, a sanidade dos cafeeiros está intimamente ligada ao fornecimento de nutrientes de forma equilibrada, sendo importante no manejo da cercosporiose. Desse modo, o conhecimento dos efeitos de se adubar acima ou abaixo das necessidades da cultura na fase de formação, poderá contribuir para recomendações mais precisas, reduzindo prejuízos e possibilitando o bom estabelecimento inicial da cultura.

Logo, o presente trabalho irá contribuir com informações acerca da nutrição, adubação e manejo da cercosporiose do cafeeiro não encontradas na literatura, visto que, em sua maioria, são trabalhos voltados para cafeeiros em produção (MALAVOLTA *et al.*, 1997; MARTINEZ, 2003; BATAGLIA, 2004; VASCO *et al.*, 2015; 2018; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Além do exposto, possibilitará também a aplicação prática para os profissionais da agronomia ligados à cadeia produtiva do cafeeiro, auxiliando nas recomendações seguras para o fornecimento mais eficiente de nutrientes e no manejo sustentável da cercosporiose.

Diante deste contexto, objetivou-se com este trabalho, determinar 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.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do cafeeiro e a importância da fase de formação da lavoura

O cafeeiro é originário da Etiópia e sua exploração teve início nos países árabes, sendo introduzido no Brasil no ano de 1727 (MATIELLO *et al.*, 2010). Devido as condições favoráveis à cultura, seu cultivo expandiu-se para diversas regiões do país, favorecendo-o a se tornar o maior produtor e exportador mundial de café. Espera-se para a safra de 2020, a produção e exportação de 62,02 e 37,45 milhões de sacas de 60 Kg, respectivamente. Com isso, estima-se o acréscimo de 34% na quantidade de sacas produzidas em relação ao ano anterior, acompanhada do aumento de 1,4% da área total cultivada, sendo cerca de 12,8% das lavouras em fase de formação e 87,2% em produção (CONAB, 2020).

A planta de café pertence ao gênero *Coffea* no qual se tem mais de 100 espécies descritas, sendo *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café robusta), as duas cultivadas comercialmente (DAVIS *et al.*, 2006). As duas espécies se contrastam em características agrônomicas e morfológicas como o tipo de caule, tamanho de folhas e frutos e na composição química, a qual proporciona bebidas com características sensoriais distintas, ocasionando a preferência de consumo do café arábica (FERNANDES *et al.*, 2003). Desse modo, há no país, o predomínio do cultivo da espécie *Coffea arabica* (CONAB, 2020).

O cafeeiro apresenta ciclo bienal de produção, no qual ocorre um ano de alta, e no ano subsequente, baixa, devido à competição por fotoassimilados ocorrida na planta, pois o cafeeiro necessita vegetar em um ano para produzir bem no seguinte, e ao mesmo tempo suprir os frutos (RENA; MAESTRI, 1986). Assim, em ano de alta produtividade, o maior dreno de fotoassimilados pelos frutos permitirá menor crescimento dos ramos plagiotrópicos, definindo menor quantidade de nós produtivos e, conseqüentemente, menor produtividade no ano seguinte.

Nesse contexto, destaca-se a importância da fase de formação da lavoura cafeeira, pois, a partir dessa, haverá o acúmulo dos nutrientes necessários para suprir as necessidades da planta na fase seguinte.

Portanto, o ciclo fenológico do cafeeiro compreende dois anos, sendo a fase vegetativa ou de formação no primeiro, e a reprodutiva no segundo. Assim, em um ano ocorre o crescimento da parte dos ramos plagiotrópicos que vão frutificar apenas no ano seguinte. No caso da formação da lavoura cafeeira, no primeiro ano em campo, ocorre crescimento vegetativo, e somente no ano subsequente a lavoura entra na fase reprodutiva. Logo, no

primeiro ano de formação do cafeeiro ocorre o crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos preparando a planta para iniciar o período reprodutivo no segundo ano de formação, embora com produtividade reduzida. Dessa forma, o primeiro ano em campo é o período mais sensível do cafeeiro, no qual há acúmulo de matéria seca e os padrões de absorção de nutrientes são diferentes dos da fase reprodutiva, havendo aumento das concentrações de N, P e K de forma linear e crescente (CAMARGO; CAMARGO, 2001; ASSAD *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2010).

Desse modo, diversos fatores podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento da lavoura, com destaque para a disponibilidade de água e a nutrição inadequadas. A água está entre os principais constituintes do tecido vegetal, portanto, o transporte e a translocação de nutrientes ocorrem somente na presença de água, devido a diferença de potencial (TAIZ *et al.*, 2017). Logo, a escassez hídrica provoca o desbalanço nutricional, o que pode causar prejuízos à cultura, pois, a nutrição mineral interfere na suscetibilidade das plantas a patógenos devido ao seu papel secundário no metabolismo vegetal, no qual auxilia na formação de barreiras de resistência horizontais (MARSCHNER, 2012; BELAN *et al.*, 2015; POZZA *et al.*, 2015; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Essas barreiras estão relacionadas ao engrossamento da parede celular, aumento da camada de cera na cutícula e recuperação de injúrias (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017; SILVA, 2019).

Devido a isso, lavouras mal conduzidas possuem maior tendência à incidência de doenças, ocasionando prejuízos a longo prazo como redução da produtividade, da longevidade da lavoura e também a bienalidade acentuada (BOTELHO *et al.*, 2010; SILVA, 2019). Portanto, o fornecimento de nutrientes de maneira equilibrada, principalmente em fases iniciais da cultura, é essencial para seu pleno crescimento e desenvolvimento. Assim, esse trabalho possibilitará aos profissionais da agronomia e aos cafeicultores, acesso a informações seguras para realizar as adubações de forma eficiente, racional e econômica, por meio da otimização do uso de fertilizantes na fase de formação da lavoura cafeeira.

2.2 Critérios da essencialidade dos nutrientes

As plantas necessitam de nutrientes para a manutenção de seu crescimento e desenvolvimento, sendo esses, definidos como essenciais. Para isso, existem alguns critérios propostos por Arnon e Stout (1939), são eles: a) Um elemento é essencial se a planta não conseguir completar seu ciclo de vida em sua deficiência; b) O elemento não pode ser substituído por outro com propriedades semelhantes e; c) O elemento deve participar

diretamente do metabolismo da planta e seu benefício não pode estar somente relacionado ao fato de melhorar características do solo.

Com base nesses critérios, os elementos considerados essenciais são carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cloro, cobre, manganês, ferro, molibdênio, níquel e zinco (MALAVOLTA, 2006). Esses nutrientes podem ser divididos em macro e micronutrientes. Dessa forma, pode-se citar a importância dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, os quais serão mencionados neste trabalho.

2.2.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas e se encontra 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). Atua na expansão da área foliar, no crescimento vegetativo e de raízes, na formação de botões florais e na expressão de diversos genes (CARVALHO *et al.*, 2010; BOUGUYON *et al.*, 2012).

É constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos e da clorofila, sendo assim, localizado principalmente nos cloroplastos, apresentando extrema importância nos processos fotossintéticos da planta (CARVALHO *et al.*, 2010; BOUGUYON *et al.*, 2012; LÓPEZ-ARREDONDO *et al.*, 2013). Além disso, segundo Waraich *et al.* (2011), o N quando na forma de nitrato pode ser armazenado no vacúolo se sua concentração na planta ultrapassar 100 mM, e assim apresentar a função de regulador osmótico, contribuindo para a manutenção da turgescência celular e da quantidade de água na planta.

É encontrado no solo em diversas formas, principalmente as orgânicas, porém, é absorvido pelas plantas preferencialmente em formas inorgânicas como amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), o qual pode apresentar concentrações de 1 μM a 10mM na solução do solo (CRAWFORD *et al.*, 1998; WILLIAMS; MILLER, 2001). 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 da folha (MALAVOLTA, 2006). Para a manutenção do crescimento e desenvolvimento do cafeeiro recomenda-se de 3 a 5 g de N por planta aplicados em cobertura após o plantio, assim, sua concentração pode variar de 20 a 50 g.Kg⁻¹ de matéria seca (GUIMARÃES *et al.*, 1999; CARVALHO *et al.*, 2010).

A utilização dos fertilizantes nitrogenados de forma indiscriminada, sem levar em consideração as necessidades da cultura, pode causar sérios danos ao meio ambiente devido a 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 do mesmo em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera, contribuindo para o aumento dos gases do efeito estufa (CANTARELLA, 2007; 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. Devido a ser um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento e desenvolvimento das culturas e estar sujeito a perdas devido a 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) 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 nossos 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, 2016; WITHERS, 2018).

As perdas de P para o solo são extremamente 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 (VANCE *et al.*, 2003; TAIZ *et al.*, 2017).

O fósforo é absorvido em maiores quantidades na faixa de pH 4,5 e 6,0, na qual há o predomínio da forma H₂PO₄⁻ na solução do solo, preferencialmente absorvida pelas plantas (SENTENAC; GRIGNON, 1998). O elemento é pouco móvel no solo, porém, possui alta mobilidade na planta apresentando sintomas de deficiência em folhas velhas, as quais ficam arroxeadas devido ao acúmulo do pigmento denominado antocianina (CARVALHO *et al.*,

2010). A falta de P pode também causar a redução da parte aérea e alterações no sistema radicular, como aumento de raízes adventícias e laterais e da densidade e comprimento da zona pilífera, a fim de explorar maior volume de solo, além de promover o aumento da exsudação de ácidos orgânicos e enzimas para facilitarem a absorção (LYNCH; BROWN, 2001; LANG *et al.*, 2014).

As quantidades deste nutriente consideradas adequadas na folha encontram-se entre 2 e 5 g.Kg⁻¹, enquanto sua recomendação para o plantio é de 20 a 80 g.cova⁻¹ (GUIMARÃES, 1999; AUGUSTO, 2007). 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, 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.

Com base no exposto pode-se enfatizar a necessidade do aumento da eficiência da adubação fosfatada e conseqüente redução do uso excessivo das fontes de fósforo, por meio do maior aproveitamento do fertilizante pela planta.

2.2.3 Potássio

O potássio (K) 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 *et al.*, 2018). Segundo Taiz *et al.* (2017), o K 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. Além de ser o principal responsável por desenvolver as raízes, controlar a turgidez das células, o transporte de açúcares e regular a abertura e fechamento dos estômatos (DORDAS, 2008; PERDIGÃO *et al.*, 2010).

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 *et al.*, 2014). Ademais, possui importante efeito na fase reprodutiva do cafeeiro, principalmente no desenvolvimento dos frutos, por participar da síntese e transporte de carboidratos para os mesmos (CARVALHO *et al.*, 2010).

O potássio possui a capacidade de reduzir o extravasamento de açúcares e aminoácidos, além de aumentar a espessura da parede celular da epiderme, sendo fundamental para a lignificação e manutenção de maior estabilidade da membrana plasmática. Portanto, promove maior resistência à penetração de diversos patógenos e ainda proporciona recuperação mais rápida das injúrias causadas por esses organismos (DORDAS, 2008; MARSCHNER, 2012).

Nesse sentido, Lima *et al.* (2010) observaram que os desequilíbrios nutricionais na relação entre nitrogênio e potássio aumentaram a suscetibilidade de cafeeiros à *Cercospora coffeicola* e favoreceram a infecção de *Phoma tarda* em mudas. Além disso, Vasco *et al.* (2018) constataram interação entre os nutrientes potássio e boro na incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro sob condições controladas. Assim, a maior sensibilidade à infecção por patógenos é um dos sintomas característicos da deficiência desse nutriente, bem como a clorose de folhas velhas com posterior necrose das margens e ápice (CARVALHO, 2010).

A necessidade de potássio para o bom crescimento e desenvolvimento vegetal encontra-se entre 20-50 g.Kg⁻¹ de matéria seca. Todavia, as plantas conseguem absorver quantidades superiores às suas necessidades, recebendo a denominação de ‘consumo de luxo’ (MEURER *et al.*, 2018). No entanto, o excesso do nutriente pode induzir à deficiência de outros, tais como cálcio, magnésio, manganês e ferro (VITTI *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2010). Desse modo, é necessário cuidado no momento das recomendações, as quais podem variar de 0 a 30 g.cova⁻¹ para lavouras recém-implantadas (GUIMARÃES, 1999).

2.3 Análise química das folhas

A absorção de nutrientes depende de fatores como a disponibilidade de água e interações entre os elementos presentes no solo. Para verificar se houve o aproveitamento da adubação pela planta, é necessário realizar a análise química dos tecidos foliares, a qual fundamenta-se na existência de uma correlação entre o fornecimento de nutrientes e suas concentrações na planta, relacionada com seu crescimento e desenvolvimento (RAIJ, 2011). Utiliza-se a folha, pois essa é mais representativa do estado nutricional das plantas devido a ocorrência dos principais processos metabólicos neste órgão (FAQUIN, 2002).

Nesse contexto, a amostragem de folhas para análise é o processo mais importante na qual erros poderão subestimar ou superestimar o teor de nutrientes. Portanto, para sua realização, deve-se coletar folhas não senescentes e com o crescimento finalizado, nas quais haja relação quase constante entre acúmulo de matéria seca por intervalo de tempo e a concentração dos elementos (MALAVOLTA, 2006). Após a coleta, o material vegetal deverá ser limpo, seco e homogeneizado, a fim de remover impurezas e interromper reações enzimáticas (JONES JR. *et al.*, 1991).

Na interpretação do resultado da análise foliar deve-se comparar os teores de cada nutriente da amostra analisada com padrões ou normas. Os métodos de interpretação podem ser estatísticos, os quais consistem na comparação entre a concentração de um elemento na amostra testada com: o nível crítico, faixa de suficiência, fertigramas e o desvio percentual ótimo (DOP), ou dinâmicos, os quais utilizam a relação entre dois ou mais elementos, como o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) (MARTINEZ *et al.*, 1999).

2.4 Faixas e níveis críticos de adubação

A recomendação, eficiência da adubação e fornecimento de nutrientes de maneira adequada não são resultados somente da definição das doses a serem aplicadas (FURTINI NETO *et al.*, 2001). Com isso, torna-se relevante o uso de algumas tecnologias no auxílio dessas recomendações, como o nível e a faixa crítica de teores foliares de nutrientes.

O nível crítico é definido como a concentração de parte específica, em determinada fase de desenvolvimento da planta, na qual ocorre redução de 5% ou 10% do máximo crescimento e produtividade, sendo esses, muito próximos do seu máximo potencial (ROUTERS; ROBSON, 1988; FONTES, 2001). As faixas críticas de teores foliares, apesar de causarem redução na precisão da recomendação, podem melhorar a flexibilidade da diagnose e, por isso, é o método mais utilizado em cafeeiros (MARTINEZ *et al.*, 1999).

Assim, as faixas ou níveis críticos são uma forma de fornecer à cultura as quantidades ideais de nutrientes exigidos pela mesma, por possibilitarem a correção e identificação de deficiências antes mesmo do surgimento de sintomas e, por consequência de prejuízos ao crescimento, desenvolvimento e futuras produções do cafeeiro (MARTINEZ *et al.*, 2003). Além disso, é ideal que o estabelecimento de faixas ou níveis críticos seja empregado de forma regional de acordo com as particularidades de cada região (MARTINEZ *et al.*, 2000).

Dessa forma, é possível exemplificar algumas faixas críticas e níveis críticos de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para cafeeiros, compiladas de diversos autores

(TABELA 1). Porém, os resultados a seguir são de lavouras fertirrigadas no primeiro (PINTO *et al.*, 2013) e segundo ano após o plantio (VILLELA *et al.*, 2015) e trabalhos em casa de vegetação (CLEMENTE *et al.*, 2008), diferentes deste trabalho realizado em cafeeiros sem irrigação em fase de formação.

Tabela 1- Teores foliares de N, P e K para cafeeiros no primeiro e segundo ano após o plantio.

Autores	Nutrientes	Faixas críticas (g.Kg ⁻¹)					
		Nov/Dez	Jan/Fev	Mar/Abr	Mai/Jun	Jul/Ago	Set/Out
Villela <i>et al.</i> , 2015	N	26,1-31,0	27,9-29,3	28,4-31,6	27-28,4	27,7-28,6	28,8-30,4
	P	1,6-1,7	1,9	1,6-1,7	1,4-1,6	1,6-1,9	2-2,3
	K	18,9-19,2	23,8-24,6	19,1-20,5	16,9-18,8	24,7-27,7	23,9-25,4
Pinto <i>et al.</i> , 2013	N	28,9-31,5	27,3	27,5-30,6	30,8-32,9	34,2-34,8	31,5
	P	1,8	1,6	1,5	2,6-3,3	1,9	1,5-1,6
	K	25,5	25,3	23,2	21,8-22,1	23,6	28,2-28,1
Clemente <i>et al.</i> , 2008	N	19,2 - 23,2					
	P	1,1 - 1,2					
	K	17,4 - 19,0					

Fonte: Da autora (2020).

2.5 Cercosporiose e os nutrientes

A cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo, cujo agente etiológico é o fungo *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke está entre as doenças mais antigas do cafeeiro, sendo descrita pela primeira vez em 1881 (BERKELEY; COOKE, 1881). É favorecida por maior intensidade luminosa e por temperaturas entre 10 e 25 °C (POZZA *et al.*, 2010; CUSTÓDIO *et al.*, 2010; BALIZA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2016). A toxina cercosporina responsável pela necrose da célula vegetal só é ativada em condições de alta intensidade luminosa, e a infecção causa o aumento da síntese de etileno e, por consequência, do ácido abscísico favorecendo a desfolha (VALENCIA, 1970; DAUB; EHRENSHAFT, 2000; DAUB *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2016).

Desse modo, a cercosporiose pode causar danos em todas as fases da cultura (SILVA *et al.*, 2016). Em viveiros causa desfolha e raquitismo das mudas, em lavouras na fase de formação ocasiona atraso no crescimento e queda das folhas. Na fase de produção observa-se desfolha, seca de ramos, chochamento, amadurecimento precoce e queda prematura de grãos, quebra e aderência da casca aos frutos (POZZA *et al.*, 2010). Além disso, ocasiona prejuízos na pós colheita, afetando a qualidade da bebida (LIMA *et al.*, 2012).

A intensidade da cercosporiose depende da disponibilidade de água e nutrientes, bem como das condições climáticas (CHAVES *et al.*, 2018; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Logo, a fertilidade do solo e a nutrição de plantas são importantes no manejo da

doença, pois auxiliam na formação das barreiras de resistência horizontais. Essas barreiras estão relacionadas ao engrossamento da parede celular, aumento da camada de cera na cutícula e recuperação de injúrias (MARSCHNER, 2012; BELAN *et al.*, 2015; POZZA *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017; BARBOSA JR *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o potássio e o cálcio são estudados por diversos autores em relação a sua influência na cercosporiose. De acordo com Garcia Junior *et al.* (2003), Santos *et al.* (2008) e Marschner (2012) o fornecimento desses nutrientes de maneira equilibrada apresentou efeito positivo no manejo da doença. Além disso, segundo Belan (2015) os dois elementos apresentaram diferenças na concentração em tecidos infectados por patógenos necrotróficos, nos quais houve acúmulo de cálcio nas lesões e de potássio ao redor delas. Ainda, a penetração da *Cercospora coffeicola* no hospedeiro ocorre por fissuras, portanto, o potássio é importante no manejo da doença, pois promove o engrossamento da parede celular e recuperação de injúrias (DORDAS, 2008; SOUZA *et al.*, 2011; TAIZ *et al.*, 2017).

O excesso de nitrogênio e a deficiência de potássio aumentam o teor de aminoácidos nos exsudados, e quando associados a menores teores de P comprometem a síntese de metabólitos secundários, aumentando a suscetibilidade do hospedeiro (MARSCHNER, 2012; MARTINEZ *et al.*, 2014). Em contrapartida, doses de K acima de 3 mmol.L⁻¹ em solução nutritiva e o fornecimento de N em doses abaixo de 7 mmol. L⁻¹ ocasionam o aumento da severidade da cercosporiose (POZZA *et al.*, 2001). Porém, maiores teores de K não causam o aumento da doença quando o Ca se encontra dentro da faixa considerada adequada (MARSCHNER, 2012). Ademais, o fornecimento de P em doses acima de 720 Kg.ha⁻¹ associados a níveis de irrigação correspondentes ao coeficiente de cultura igual a 0,7 proporcionaram aumento da incidência da cercosporiose, possivelmente por terem provocado o desequilíbrio nutricional (CHAVES *et al.*, 2018).

Alguns micronutrientes como B e Cu também apresentam efeito na incidência da doença. Ambos apresentam função importante nos mecanismos de resistência horizontal de plantas a infecções fúngicas, por estarem envolvidos em diversos processos fisiológicos, como no transporte de açúcares para a fotossíntese. Ainda, o B auxilia o Ca na estruturação da parede celular e estabilidade da membrana plasmática, e proporciona maior área abaixo da curva de progresso da doença quando seu fornecimento em doses abaixo de 1 Kg.ha⁻¹ é associado a doses de K acima de 200 Kg.ha⁻¹ (MALAVOLTA *et al.*, 1997; DORDAS, 2008; CARVALHO *et al.*, 2010; CHAVES, 2015).

Em vista disso, a intensidade da cercosporiose depende da disponibilidade de água e nutrientes de maneira adequada, bem como boa fertilidade do solo e nutrição de plantas e

também das condições climáticas (POZZA; POZZA, 2012; CHAVES *et al.*, 2018; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019). Portanto, a adubação equilibrada é essencial no manejo da doença, pois é uma forma sustentável e acessível para todos os profissionais ligados à cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- ARNON, D.I.; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiol.**, [s.l.], v. 14, p. 371-375, 1939.
- ASSAD, E.D. *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1057-1064, 2004.
- AUGUSTO, H.S. *et al.* Concentração foliar de nutrientes em cultivos de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 973-981, 2007.
- BALIZA, D.P. *et al.* Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 37-43, 2012.
- BARBOSA JUNIOR, M.P. *et al.* Brown eye spot in coffee subjected to different drip irrigation and fertilization management. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.], v. 48, n. 3, p. 245-252, 2019.
- BATAGLIA, O.C. *et al.* Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 253-263, 2004.
- BELAN, L.L. *et al.* Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 105-111, 2015.
- BERKELEY, J.M.; COOKE, M.C. *Cercospora coffeicola*. **Grevillea**, [s.l.], v. 9, n. 49-52, p. 99, 1881.
- 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. In: **Seminars in cell & developmental biology**. Academic Press, 2012. p. 648-654.
- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: SBCS. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V.H., BARROS, N. F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. p. 375-470.
- CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Amostragem de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 13-20.

CARNEIRO, J.G.A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, J.G. de.; LOPES, A.S.; BRASIL, E.; JÚNIOR, R.A.R. **Diagnose da Fertilidade do Solo e do Estado Nutricional de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 95 p.

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

CHAVES, E. *et al.* Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. **Journal of Phytopathology**, [s.l.], v. 166, n. 9, p. 613-622, 2018.

CHAVES, E. **Potássio, fósforo, boro e irrigação na distribuição espaço-temporal da cercosporiose do cafeeiro**. 2015. 157 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2015.

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Café**. Levantamento de safra de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/cafes>. Acesso em: 01 abr. 2020.

CRAWFORD N.M. *et al.* Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends Plant Sci.**, [s.l.], v. 3, p. 389-95. 1998.

DAUB, M.E. *et al.* Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **Fems Microbiol Lett**, [s.l.], n. 252, p.197-206, 2005.

DAUB, M.E.; EHRENSHAFT, M. The photoactivated Cercospora toxin cercosporin: Contributions to plant disease and fundamental biology. **Annu Rev Phytopathol**, [s.l.], n. 38, p. 461, 2000.

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.

DORDAS, C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, n.1, p. 33-46, 2008.

ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke. **Turrialba**, San José, v. 9, n. 2, p. 54-67, 1959.

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

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

FREDEEN, A.L. *et al.* Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glicine Max*. **Plant Physiol.**, [s.l.], n. 89, p. 225-230, 1989.

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

GUIMARÃES, P.T.G. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, CFSEMG, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BALIZA, D.P. In: GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BALIZA, D.P (Eds.). **Semiologia do Cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais**. Lavras: UFLA, 2010, p. 31-59. 1 v.

HEUER, S. *et al.* Improving phosphorus use efficiency: A complex trait with emerging opportunities. **The plant journal**, [s.l.], 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**, [s.l.], v. 57, p. 301-310, 2013.

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

JONES JR., B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant análise handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Georgia-USA: Micro-Macro Publishing, 1991. 213 p.

KROHLING, C.A. *et al.* Adaptation of progenies/cultivars of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in mountainous edafoclimatic conditions. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 198-209, 2018.

LANG, S.I. *et al.* Mapping nutrient resorption efficiencies of subarctic cryptogams and seed plants onto the Tree of Life. **Ecology and evolution**, v. 4, n. 11, p. 2217-2227, 2014.

LIMA, L.M. de *et al.* Relationship between nitrogen/potassium with Phoma spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. **Tropical Plant Pathology**, [s.l.], v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

LIMA, L.M. Relationship between incidence of brown eye spot of coffee cherries and the chemical composition of coffee beans. **Journal of Phytopathology**, [s.l.], v. 160, n. 4, p. 209-211, 2012.

LÓPEZ-ARREDONDO, D.L. *et al.* Biotechnology of nutrient uptake and assimilation in plants. **International Journal of Developmental Biology**, v. 57, n. 6-7-8, p. 595-610, 2013.

LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. Topsoil foraging—an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 237, n. 2, p. 225-237, 2001.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

_____. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.
MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2010. p. 1993.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. London Academic, 2012.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Faixas críticas de macro e micronutrientes para o cafeeiro em diferentes regiões do estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Poços de Caldas: CBP&D/Café, 2000.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, nov./dez. 2014.

MARTINEZ, H.E.P.C. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

MATIELLO, J.B. *et al.* Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações. **Mapa/Procafe**, Rio de Janeiro. p. 7-10. 542, 2010.

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

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

PERDIGÃO, P.C.N. *et al.* Efeitos de níveis de água e adubação potássica no desenvolvimento do cajueiro anão-precoce, BRS - 189. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n.1, p. 90-94, jan./mar. 2010.

PINTO, C.G. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio, 2013.

POZZA, A.A.A. *et al.* Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, A.A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; POZZA, E.A.; CAIXETA, S.L.; ZAMBOLIM, L. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, [s.l.], v. 26, p. 29-34, 2000.

POZZA, E. A. *et al.* Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R.J. *et al.* (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-101.

POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A.K.F.M.; OGOSHI, C.; PERINA, F.J.; SILVA, G.M.; NEENTO, H.S.; COSTA, L.S.A.S.; ALENCAR, N.E.; MARTINS, S.J.; TERRA, W.C.; ZANCAN, W. L.A. (Eds.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos, SP: Suprema, 2012. p. 259- 282.

POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, v. 62, n.3, p. 323-331, mai./jun. 2015.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. *et al.* (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1986. 447 p.

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

ROY, E.D. *et al.* The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [s.l.], v. 2, p. 16043, 2016.

SENTENAC, H.; GRIGNON, C. Effect of pH on ortophosphate uptake by corn roots. **Plant Physiol.**, [s.l.], n. 77, p. 139-141, 1985.

SILVA, M. G. da *et al.* Spatio-temporal aspects of brown eye spot and nutrients in irrigated coffee. **European journal of plant pathology**, [s.l.], v. 153, n. 3, p. 931-946, 2019.

SOUZA, A.G.C. *et al.* Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. **J Phytopathol.**, n. 159, p. 6-11, 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. *et al.* **Physiology and plant development**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 v.

USDA. Foreign Agricultural Service. Coffee: World Markets and Trade. **Coffee: World Markets and Trade**, April, p. 1-9, 2019. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

- VALENCIA, A.G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 21, n. 3, p. 105-114, Sept. 1970.
- VANCE, C. P. *et al.* Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytol.**, [s.l.], 157:423-447, 2003.
- VASCO, G.B. *et al.* Incidência da cercosporiose em frutos de café: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38 - 45, jan./mar. 2015.
- VASCO, G.B. *et al.* Interaction of K and B in the Intensity of Coffee Rust in Nutrient Solution. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 238 - 244, abr./jun. 2018.
- VILLELA, G.M. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafés fertirrigados em formação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 271-279, 2015.
- VITTI, G.C. *et al.* Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: SBCS. FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS L.A. (Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa, 2006. p. 299-326.
- WARAICH, E.A. *et al.* Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Austral J Crop Sci.**, [s.l.], v. 5, p. 764-77, 2011.
- WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **Plant Mol. Biol.**, [s.l.], v. 52, p. 659-688, 2001.
- WITHERS, P.J.A. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 8, p. 2537, 2018.
- ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of plant physiology**, [s.l.], v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

CAPÍTULO 2 NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA FASE DE FORMAÇÃO DO CAFEIEIRO EM SEQUEIRO

NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION IN RAINFED COFFEE CROP IN VEGETATIVE STAGE

RESUMO

A cafeicultura destaca-se entre as atividades de maior importância econômica do Brasil, e o equilíbrio no fornecimento de nutrientes, principalmente nas fases iniciais do crescimento do cafeeiro, é fundamental para o sucesso do empreendimento. No entanto, há necessidade de se conhecer os teores de nutrientes mais adequados ao manejo atual das lavouras, para que as recomendações de adubação sejam mais precisas, equilibradas e eficientes. À vista disso, objetivou-se com este trabalho determinar a influência de diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento, desenvolvimento e nutrição do cafeeiro em formação conduzido em sequeiro. O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e foi conduzido em campo no setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, MG. Foram utilizadas mudas de cafeeiro da cultivar Mundo Novo IAC 379/19 plantadas no espaçamento de 3,50 x 0,55 m. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os níveis de adubação utilizados foram: 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão recomendada para lavouras de sequeiro. As avaliações foram realizadas em abril, julho, outubro/2019 e fevereiro/2020. Foram avaliadas características de crescimento, potencial hídrico foliar, além de análises químicas de solo e de folhas. Houve diferença significativa no potencial hídrico foliar do cafeeiro em relação as épocas de avaliação. Observou-se diferença no crescimento das plantas a partir de outubro/2019. Constatou-se também a presença de correlação entre os teores foliares de nutrientes e as características de crescimento analisadas. Os diferentes níveis de adubação com NPK influenciaram as concentrações dos mesmos nas plantas, bem como nas de outros nutrientes. As condições climáticas influenciaram no desenvolvimento do cafeeiro. De acordo com os resultados obtidos, na dose de 100% as plantas apresentaram equilíbrio nos teores foliares de nutrientes sem haver prejuízos ao seu crescimento.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. Análise foliar.

ABSTRACT

Coffee crop is one of the most economically important activities in Brazil. The balance plant nutrition, mainly in vegetative stage, is essential for the development and coffee production. However, there is a need to know the appropriate nutrient levels for the current management of coffee growing, so that fertilization recommendations are more accurate, balanced and efficient. So, the aim of this study was to evaluate the different effects of fertilization levels with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), denominated NPK, on growth, development and plant nutrition on coffee crop in vegetative stage. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. The experimental design was randomized blocks, with six treatments and four replications. The fertilization levels used were: 10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization recommended for NPK. The evaluations were carried out in April/2019, July/2019, October/2019 and February/2020. Growth characteristics, leaf water potential and chemical analyzes of soil and leaves were evaluated. There was a significant effect of the evaluation period in leaf water potential. Differences in plant growth were found from October/2019. A negative correlation was found between the foliar levels of nutrients and the growth characteristics analyzed. The levels of NPK fertilization influenced their concentrations in the leaves, as well as other nutrients. Climatic conditions influenced coffee plants growing. Therefore, on 100% of the fertilization level the plants showed balanced foliar contents of nutrients, without harm the growth of coffee crop.

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. Foliar analysis.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais *commodities* agrícolas do Brasil, sendo o país responsável por produzir e exportar cerca de 30% do total mundial na safra de 2019 (USDA, 2019). Em 2020, estima-se a produção de 62,02 milhões de sacas beneficiadas, em área estimada de 2,16 milhões de hectares. Dentre os estados produtores destaca-se Minas Gerais, o qual contribui com cerca de 52% da produção nacional, havendo o predomínio do cultivo com a espécie *Coffea arabica* L (CONAB, 2020).

Devido a grande representatividade mundial, torna-se importante a constante evolução da cafeicultura visando o estabelecimento de lavouras cada vez mais produtivas. Nesse contexto, ressalta-se o incremento da produtividade média nacional de 8 scs.ha⁻¹, em 1997, para mais de 30 scs.ha⁻¹ na última safra (EMBRAPA, 2019; CONAB, 2020). Esse aumento de cerca de 275% em produtividade pode ser explicado devido ao uso de novas tecnologias geradas por meio das instituições de pesquisa, da difusão feita pelas instituições de extensão e devido a adoção por parte dos(as) cafeicultores(as).

Entretanto, há necessidade de se ajustar as recomendações de adubação para o cafeeiro em formação, em função do aumento das necessidades nutricionais da cultura ao longo do tempo, devido a evolução das práticas de manejo adotadas, procurando aumentar a produtividade, pois a maioria dos trabalhos nessa linha de pesquisa foram realizados em cafeeiros na fase de produção (MALAVOLTA *et al.*, 1997; MARTINEZ, 2003; BATAGLIA, 2004).

A fase de formação do cafeeiro é importante nesse contexto, pois nela haverá o acúmulo de matéria seca e de nutrientes necessários para suprir as demandas da cultura na fase reprodutiva. Dessa forma, o ciclo fenológico do cafeeiro compreende dois anos, sendo a fase vegetativa ou de formação no primeiro e a reprodutiva no segundo. No primeiro ano de formação do cafeeiro ocorre somente a fase vegetativa, com o crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos preparando a planta para iniciar o período reprodutivo no segundo ano de formação, embora com produtividade reduzida. Portanto, em um ano, ocorre o crescimento da parte dos ramos plagiotrópicos que vão frutificar apenas no ano seguinte. Assim, devido a necessidade do acúmulo de matéria seca, no primeiro ano em campo há o aumento das concentrações de N, P e K de forma linear e crescente, sendo diferente dos padrões de absorção de nutrientes da fase reprodutiva (CAMARGO; CAMARGO, 2001; CARVALHO *et al.*, 2010).

Desse modo, diversos fatores podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro, com destaque para a escassez hídrica e o desbalanço nutricional. No primeiro ano em

campo, o cafeeiro é mais sensível, por isso, condições de seca irão afetar o crescimento de raízes e da cultura, além de prejudicar a absorção, transporte e translocação de nutrientes na planta provocando desequilíbrios nutricionais (ASSAD *et al.*, 2004; DAMATTA; RAMALHO, 2006; TAIZ *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019). À vista disso, 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). Logo, o fornecimento de nutrientes de maneira adequada e a melhor eficiência do uso dos fertilizantes, principalmente na fase de formação da lavoura cafeeira, são essenciais para o pleno crescimento e desenvolvimento da cultura.

Este trabalho é também justificado pela importante contribuição aos profissionais da agronomia e cafeicultores, por sua aplicação direta na recomendação equilibrada e suficiente da adubação das lavouras cafeeiras, evitando-se prejuízos causados devido as deficiências nutricionais, desequilíbrios, ou mesmo devido ao excesso de adubação. Em períodos de crise na cafeicultura, o(a) cafeicultor(a) busca diminuir os custos de produção por meio da redução da quantidade de fertilizantes aplicados na cultura. O contrário também ocorre quando o café alcança bons preços no mercado, o que incentiva ao aumento do uso de fertilizantes. Ambos os casos são prejudiciais para o desenvolvimento e futuras produtividades do cafeeiro como relatado por Pinto *et al.* (2013) e Resende (2019). Além disso, o custo de implantação da lavoura é alto e o retorno econômico ocorre somente cerca de três ou quatro anos após o plantio, portanto, o bom estabelecimento inicial da cultura é ideal para o sucesso no empreendimento (CAIXETA *et al.*, 2008).

Dado o exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a influência de diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, na nutrição, crescimento e desenvolvimento de lavoura cafeeira de sequeiro em fase de formação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido no campo, em área experimental de 0,11 hectares no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras-MG (altitude de 970 m, latitude 21°13'33.2" Sul e longitude 44°58'18.7" 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 distroférrico de textura argilosa (CURI *et al.*, 2017).

Antes de implantar o experimento, em agosto de 2018, foram coletadas na área experimental de 0,11 hectares, amostras de solo para análise química nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 centímetros de profundidade (TABELA 1). Foram coletadas cerca de 10 amostras simples para formar uma composta, em cada profundidade de coleta. A análise foi realizada antes da caracterização dos tratamentos.

Tabela 1 - Caracterização química do solo antes da diferenciação dos tratamentos, na área onde o experimento está instalado.

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	Matéria org. - 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

pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; SB = soma de bases; 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: Da autora (2020).

Em setembro de 2018, realizou-se a calagem em área total para correção da acidez do solo, conforme recomendações de Guimarães *et al.* (1999). Foram aplicados 750 Kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT igual a 80% e 38,5% de CaO, 10,9% de MgO mantendo a

relação de Ca:Mg no solo de 4:1. O calcário foi incorporado à profundidade de 30 centímetros por meio de uma aração e duas gradagens.

Para realizar o plantio, o solo foi sulcado a 30 cm de profundidade e 50 cm de largura, seguindo o nível do terreno. Nos sulcos foi aplicado o calcário complementar na dose de 40g por metro linear, de acordo com as recomendações de Guimarães *et al.* (1999), sendo incorporado ao solo de forma homogênea com subsolador de 3 hastes. As covas de plantio foram feitas com enxadão nas dimensões de 40x40x40 cm de comprimento, largura e profundidade respectivamente. A implantação do experimento foi realizada no dia 11 de dezembro de 2018, com mudas de *Coffea arabica* L., cultivar IAC 379/19 do grupo Mundo Novo, no espaçamento de 3,5 m entre linhas por 0,55 m entre as plantas na linha.

Foi realizado o tratamento fitossanitário visando o manejo de plantas invasoras com a aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes registrados e indicados para as plantas-alvo predominantes no local, além de capinas e roçadas mecânicas. Para controlar as pragas do cafeeiro, utilizou-se produtos registrados para a cultura do café, seguindo as orientações para a sustentabilidade da agricultura (REIS; CUNHA, 2010).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, contendo seis níveis de adubação e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela com 24 plantas (três fileiras de oito plantas), sendo as seis centrais a parcela útil. Dessa forma, o experimento contou com 576 plantas em área de 0,11 ha.

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 de formação da lavoura em função da análise do solo. Os níveis considerados padrão foram de 80 gramas de P_2O_5 por muda na cova de plantio e em cobertura, 10 gramas de K_2O e 5 gramas de N por planta divididas em duas aplicações, a primeira em janeiro e a segunda em fevereiro de 2019. As fontes utilizadas foram super fosfato simples (18% de P_2O_5), ureia (44% de N) e cloreto de potássio (58% de K_2O).

Tabela 2 - Teores de super fosfato simples (SS), ureia e cloreto de potássio (KCl) por aplicação utilizados em cada tratamento na implantação da lavoura.

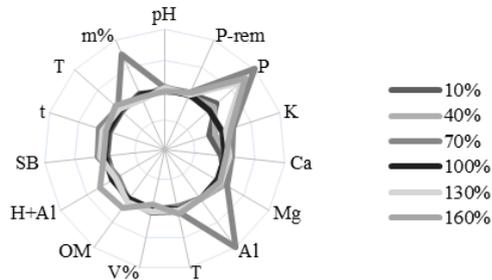
Tratamentos	SS (g.cova ⁻¹)	Ureia (g.planta ⁻¹)	KCl (g.planta ⁻¹)
10	44	1,1	1,7
40	177	4,4	6,8
70	311	7,7	12,0
100	444	11	17,2
130	577	14,3	22,3
160	710	17,6	27,5

Fonte: Da autora (2020).

Em setembro/2019 realizou-se a amostragem de solo para análise de cada tratamento, sem repetições (FIGURA 1).

O cálculo da dose de N e K foi realizado com base no nível de 100% da adubação padrão recomendada para cafeeiros no primeiro ano após o plantio (GUIMARÃES *et al.*, 1999). A dose padrão (100%) foi 10g de N e 10g de K₂O divididas em 3 aplicações. As fontes utilizadas foram ureia (44% de N) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Figura 1- Fertigrama da caracterização química do solo após a diferenciação dos tratamentos na profundidade de 0-20 cm.



pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; SB = soma de bases; V% = porcentagem de saturação por bases; m% = porcentagem de saturação por alumínio; MO = matéria orgânica.

Fonte: Da autora (2020).

2.3 Avaliações

Foram avaliados o crescimento vegetativo, o potencial hídrico foliar e também realizadas as análises químicas de solo e de folhas em abril, julho e outubro/2019 e fevereiro/2020, devido ao pequeno período da fase de formação do cafeeiro.

2.3.1 Crescimento Vegetativo

Foram avaliados a altura de plantas (cm), medida do colo das plantas até a gema terminal do ramo ortotrópico, utilizando-se régua graduada, diâmetro de caule (mm) medido na região do colo da planta com paquímetro digital, contagem de todos os pares de folhas com mais de 2,5 cm de comprimento (GOMIDE *et al.*, 1977), contagem de todos os ramos plagiotrópicos com mais de um par de folhas, medição do comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm) acima do colo da planta com régua graduada, contagem de todos os nós de ramos plagiotrópicos previamente marcados e contagem dos pares de folhas no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta, considerando apenas as folhas com mais de 2,5 cm de comprimento (GOMIDE *et al.*, 1977).

2.3.2 Potencial hídrico foliar

Avaliou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_w - MPa) no período antemanhã (3:00h às 5:00h), com câmara de pressão tipo Scholander[®] (modelo 1000, PMS Instrument Company) de operação de até 70 bar. Foi coletada uma folha por parcela útil, sendo essa totalmente expandida localizada no terceiro ou quarto pares e livre de injúrias. Os dias para a coleta dos dados foram aqueles sem a ocorrência de chuvas.

2.3.3 Dados meteorológicos

Os dados de temperaturas (°C) máxima, média e mínima, insolação (horas.dia⁻¹), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) foram obtidos da estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, do convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a UFLA.

2.3.4 Características químicas das folhas

Para a análise foliar foram coletadas folhas do ramo localizado no terço médio das plantas, com aparência sadia e totalmente expandidas, sendo amostradas 15 a 20 folhas por parcela de forma casualizada, localizadas no terceiro ou quarto pares, contadas a partir da gema terminal dos ramos plagiotrópicos (MARTINEZ *et al.*, 1999). Após a coleta, as amostras foram

acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para análise química. As coletas foram feitas em abril, julho e outubro/2019 e fevereiro/2020.

2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, a fim de se verificar a normalidade, homocedasticidade e independência dos erros e aditividade do modelo por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett, Durbin-Watson e Aditividade de Tukey, respectivamente. Os pressupostos foram atendidos não sendo necessário a transformação de dados.

Em virtude da natureza dos dados de análise de solo obtidos (média geral de cada tratamento), optou-se por realizar análise gráfica por meio de componentes principais para verificar a distribuição dos teores de nutrientes no solo e nas folhas nas quatro épocas avaliadas. Assim, verificou-se o agrupamento dos dados com bases nos escores do primeiro e segundo componentes, os quais devem capturar no mínimo 80% da variação existente nos dados (CRUZ *et al.*, 2011). As análises foram realizadas utilizando o software GENES (CRUZ, 2013).

As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 3.6.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020). Os dados de crescimento, teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Quando significativos foram ajustados modelos de regressão lineares e não lineares. Devido a realização de avaliações por quatro períodos distintos, foi realizado o estudo em esquema fatorial entre as épocas e os níveis de adubação para a variável potencial hídrico foliar.

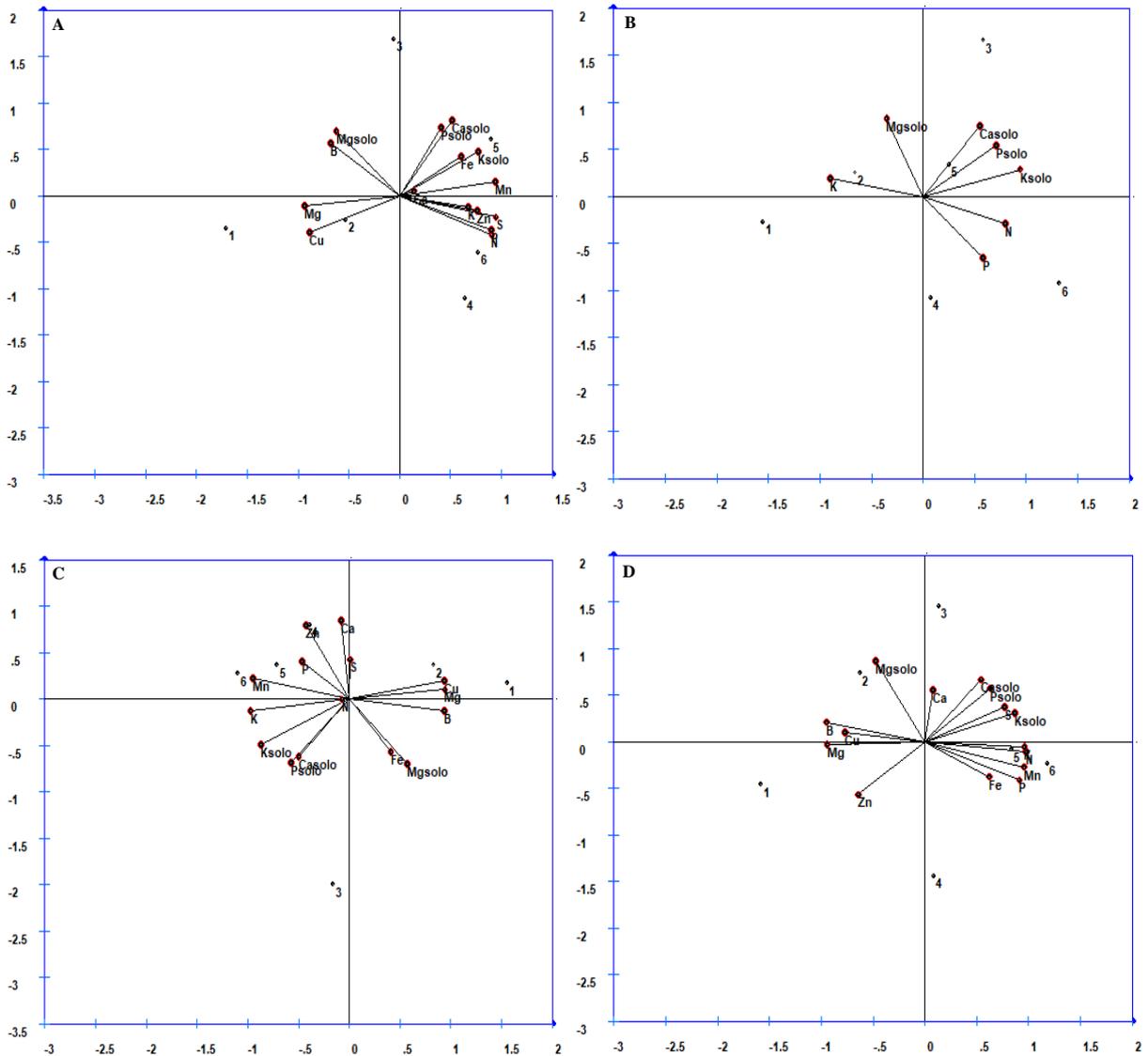
Como todas as características de crescimento analisadas em outubro/2019 e fevereiro/2020 obtiveram resposta significativa ($p < 0,05$), foi realizado o descarte de variáveis de crescimento coletadas nessas duas épocas, a fim de selecionar uma variável resposta em cada período de avaliação de melhor representatividade da variação dos dados coletados. Para isso, utilizou-se o método proposto por Jolliffe (1972), baseado na técnica de componentes principais. O método consiste no descarte de variáveis com maiores coeficientes em valores absolutos em relação ao componente de menor variância. As análises foram realizadas utilizando o software GENES (CRUZ, 2006).

Realizou-se também a análise de correlação de Pearson entre o número de folhas e concentrações foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, em abril, julho e outubro/2019 e fevereiro/2020.

3 RESULTADOS

Para os cafeeiros em formação, na análise de componentes principais para os nutrientes no solo e nas folhas, verificou-se que os teores de enxofre (S) foliar e de cálcio (Ca) no solo em abril, potássio (K) e magnésio (Mg) no solo em julho, Ca e K foliar em outubro/2019 e N foliar e Mg no solo em fevereiro/2020 explicaram cerca de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos. Portanto, a dispersão gráfica dos resultados foi realizada com base nos escores dos dois primeiros componentes de cada época analisada (FIGURA 2).

Figura 2 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro e segundo componente com base nos atributos químicos de solo e folhas do cafeeiro em formação em abril (A), julho (B) e outubro/2019 (C) e fevereiro/2020 (D).



1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de NPK, respectivamente, K solo = teor de potássio no solo; P solo = teor de fósforo no solo; Ca solo = teor de cálcio no solo; Mg solo = teor de magnésio no solo; N = nitrogênio foliar; P = fósforo foliar; K = potássio foliar; Ca = cálcio foliar; Mg = magnésio foliar; S = enxofre foliar; Cu = cobre foliar; B = boro foliar; Mn = manganês foliar; Zn = zinco foliar e Fe = ferro foliar.

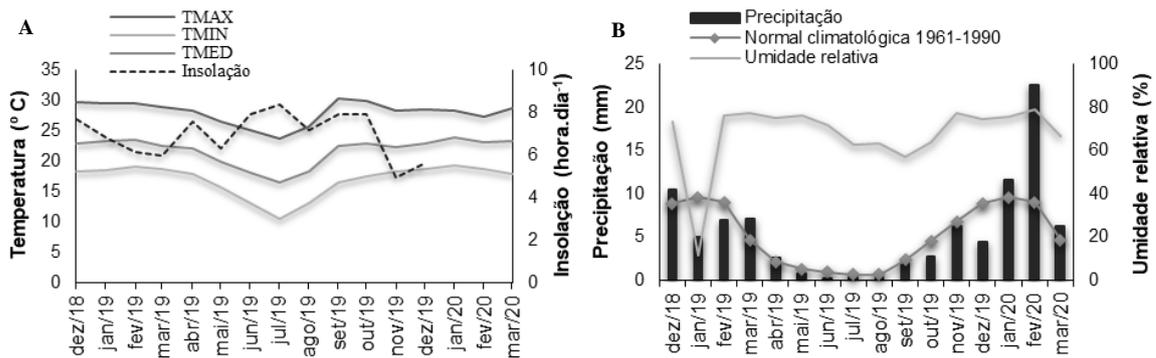
Fonte: Da autora (2020).

Em abril e outubro/2019 e fevereiro/2020 os tratamentos referentes aos menores níveis de adubação (1, 2 e 3) foram agrupados mais próximos do B e Cu foliar e do Mg no solo, e também do Fe e do Zn nas folhas em outubro e fevereiro, respectivamente, enquanto os maiores (4, 5 e 6) reuniram-se mais distantes dessas variáveis.

Houve comportamento semelhante em julho, com exceção do K foliar, o qual ficou mais próximo do tratamento 2.

Além disso, a eficiência de absorção de nutrientes e suas concentrações nos tecidos foliares foram influenciados por variações climáticas, causando também interferência no crescimento e no desenvolvimento do cafeeiro (FIGURA 3).

Figura 3 - Dados de temperatura máxima (TMAX), média (TMED), mínima (TMIN) (°C), insolação (horas.dia⁻¹) (A), umidade relativa (%) e precipitação (mm) (B) mensais no período de dezembro/2018 a março/2020 e normal climatológica da precipitação mensal média de 1961 a 1990 (B) obtidos da estação climatológica principal de Lavras.



Fonte: Da autora (2020).

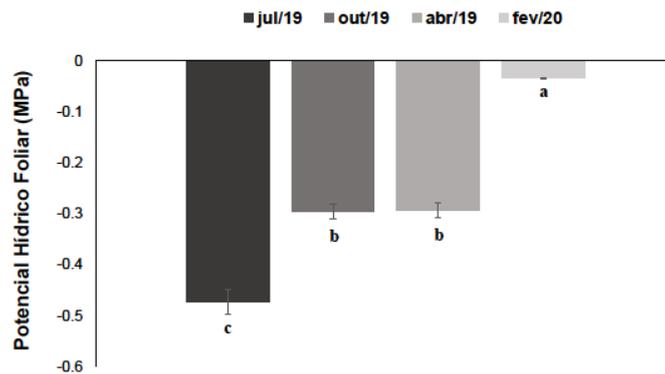
O período após a implantação da lavoura (janeiro/2019) foi caracterizado por alta média de insolação (6,8 horas.dia⁻¹) e temperatura máxima de 29,6 °C, média de 23,3 °C e mínima de 18,6 °C, com precipitação média mensal de 4,9 mm e mal distribuída ao longo do mês, além de menores valores de umidade relativa, chegando a média de 11,4%. Nos meses seguintes (fevereiro, março e abril/2019) houve aumento do índice pluviométrico e da umidade relativa com médias de 5,6 mm e 76%, respectivamente. Os dados de temperatura e insolação se mantiveram estáveis.

A partir de junho/2019 houve queda significativa da pluviosidade atingindo níveis inferiores a 0,1 mm e média de 0,3 mm em julho e agosto/2019. Ainda em julho, a umidade relativa foi de 62,5%, com alta insolação (8,4 horas.dia⁻¹) e baixas temperaturas com média de 16,5 °C, máxima de 23,8 °C e mínima de 10,6 °C. Em outubro/2019, ocorreram condições mais favoráveis ao desenvolvimento do cafeeiro devido ao início do período chuvoso, atingindo média mensal semelhante ao observado em abril/2019 (2,7 mm).

Além disso, em novembro houve redução do período de exposição ao sol com médias de 5 horas.dia⁻¹ de insolação, umidade relativa de 64% e precipitação de 6,3 mm. As chuvas mantiveram-se constantes e bem distribuídas atingindo média mensal de 22,5 mm em fevereiro/2020, houve também aumento da umidade relativa (78,7%), e temperaturas máxima, média e mínima de 27,5 °C, 23,1 °C e 18,8 °C, respectivamente.

Nesse sentido, no estudo da interação entre épocas e doses para o potencial hídrico foliar, as épocas apresentaram efeito significativo de maneira independente (TABELA 4 – APÊNDICE A). Desse modo, o potencial hídrico de julho foi inferior (mais negativo) ao de abril e outubro/2019, sendo o maior potencial (menos negativo) observado em fevereiro/2020 (FIGURA 4).

Figura 4 - Teste de Scott-Knott para médias do potencial hídrico foliar (MPa) de quatro épocas de avaliação no cafeeiro em formação.



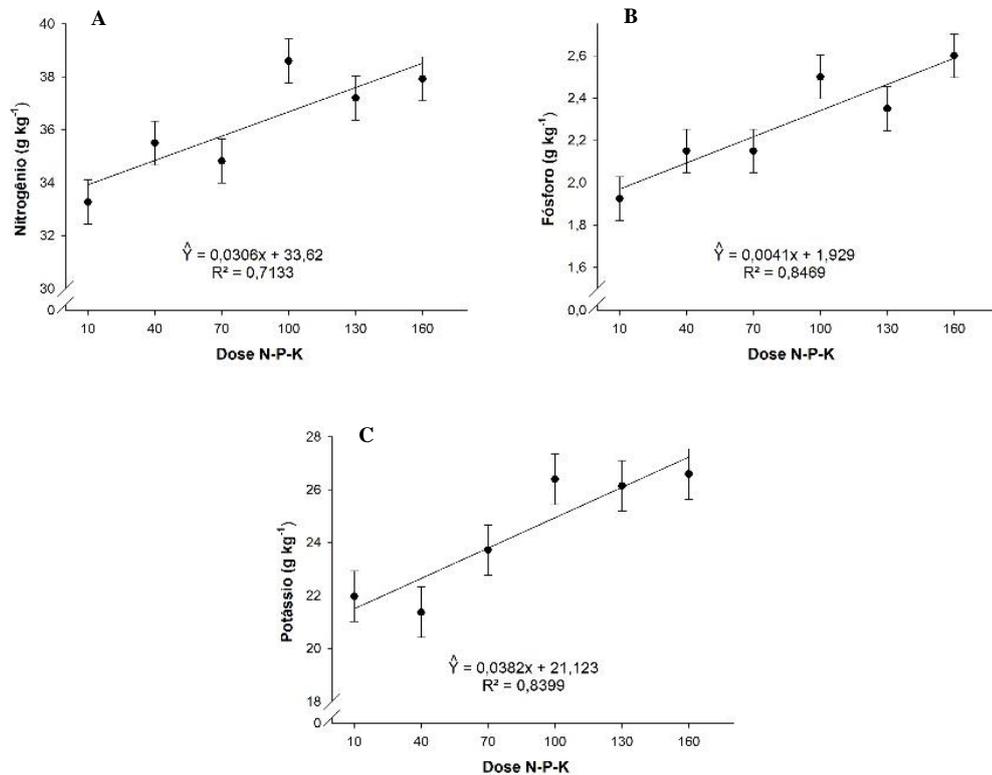
Médias seguidas de letras diferentes não são iguais no teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.
Fonte: Da autora (2020).

O potencial hídrico foliar apresentou comportamento coincidente com os dados climatológicos, com destaque para os índices de precipitação, os quais foram menores no mês de menor potencial observado (julho), havendo nesse período maior dificuldade na absorção de nutrientes devido ao déficit hídrico e tempo seco.

Em abril e outubro/2019 foram constatados valores intermediários e em fevereiro/2020 o maior potencial, bem como a maior pluviosidade (FIGURA 3). Assim, obteve-se melhor eficiência de absorção de nutrientes, proporcionando condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento do cafeeiro.

Diante disso, tornou-se possível a diferenciação dos tratamentos em relação aos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, havendo significância dos mesmos em abril e outubro/2019 e fevereiro/2020 (FIGURA 5). Porém, em julho, nenhuma das concentrações foliares de nutrientes tiveram resposta significativa ($p > 0,05$) (TABELA 5 – APÊNDICE A).

Figura 5 - Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) em g.Kg⁻¹ de cafeeiros em formação em abril/2019.



Fonte: Da autora (2020).

A resposta dos teores foliares dos nutrientes N, P e K em abril/2019 foi crescente em função do aumento dos níveis de adubação (FIGURA 5). Assim, os níveis de 160% e 10% equivalem ao ponto de máxima e mínima concentração foliar de N, P e K, correspondendo a 38,4; 2,6; 27,5; 33,9; 2,0 e 21,5 g.Kg⁻¹, respectivamente.

Em abril/2019, apesar de valores crescentes nos teores de nitrogênio, fósforo e potássio, esses foram diferentes entre as doses de fertilizantes aplicadas (FIGURA 5). No caso do nitrogênio e potássio as doses de fertilizantes correspondentes a 10, 40 e 70% foram iguais, porém inferiores às doses de 100, 130 e 160%, as quais também foram iguais entre si. Logo, observa-se a formação de dois grupos de tratamentos distintos, com os teores de nitrogênio e potássio dos tratamentos de 10, 40 e 70% sendo inferiores aos de 100, 130 e 160%. Ainda, nota-se o mesmo comportamento para os teores de fósforo encontrados nas plantas de café, porém, no grupo dos menores teores ficou também o tratamento de 130%, mantendo o resultado dos maiores teores de fósforo nos tratamentos de 100 e 160%.

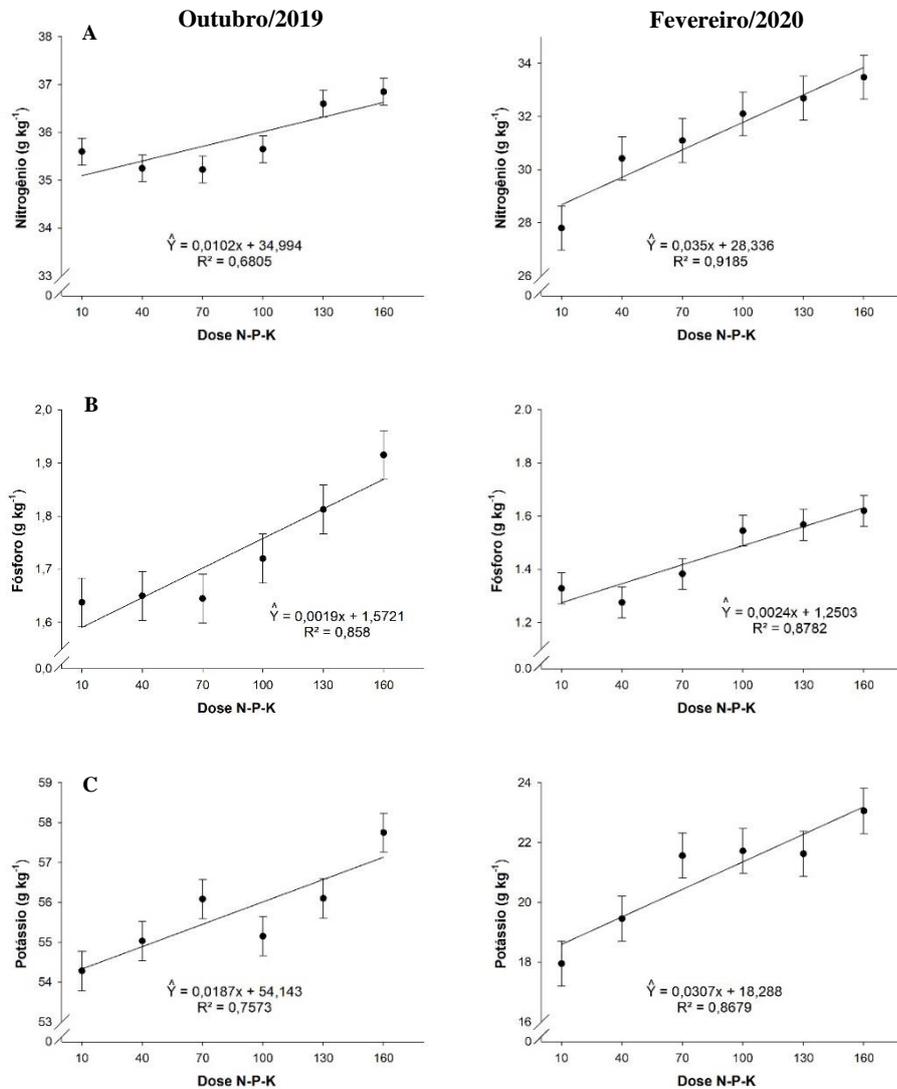
No entanto, as características de crescimento avaliadas em abril/2019, não se diferenciaram estatisticamente (TABELA 6 – APÊNDICE A), apesar das diferenças

encontradas nos teores foliares de nutrientes (TABELAS 5 e 6 - APÊNDICE A). Assim, neste caso, o aumento dos nutrientes nas folhas não interferiu no crescimento das plantas.

Em julho/2019, não se notou diferenças significativas tanto nos teores foliares de nutrientes como no crescimento das plantas, possivelmente devido às baixas temperaturas e déficit hídrico acentuado, bem como o menor potencial hídrico foliar constatado nesse período (FIGURAS 3 e 4), o que pode ter dificultado a absorção de nutrientes.

No entanto, em outubro/2019 e fevereiro/2020 houve diferenças no crescimento do cafeeiro e também nos teores foliares de N, P e K (TABELAS 5 e 7 - APÊNDICE A) (FIGURA 6).

Figura 6 - Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) em g.Kg⁻¹ de cafeeiros em formação em outubro/2019 e fevereiro/2020.



Fonte: Da autora (2020).

Os teores foliares de N, P e K em outubro/2019 e fevereiro/2020 também apresentaram resposta linear e diretamente proporcional ao aumento dos níveis de adubação. Dessa forma, a máxima concentração foliar desses nutrientes ocorreram no tratamento de 160% e a mínima no de 10%. Os pontos de máxima e mínima concentração foliar de N, P e K em outubro/2019 foram 36,6; 35,1; 1,9; 1,6; 57,2; 54,3 g.Kg⁻¹, respectivamente. Em fevereiro/2020, os pontos de máximo e mínimo teor foliar de N, P e K foram 33,9; 28,7; 1,6; 1,3; 23,2; 18,6 g.Kg⁻¹, respectivamente.

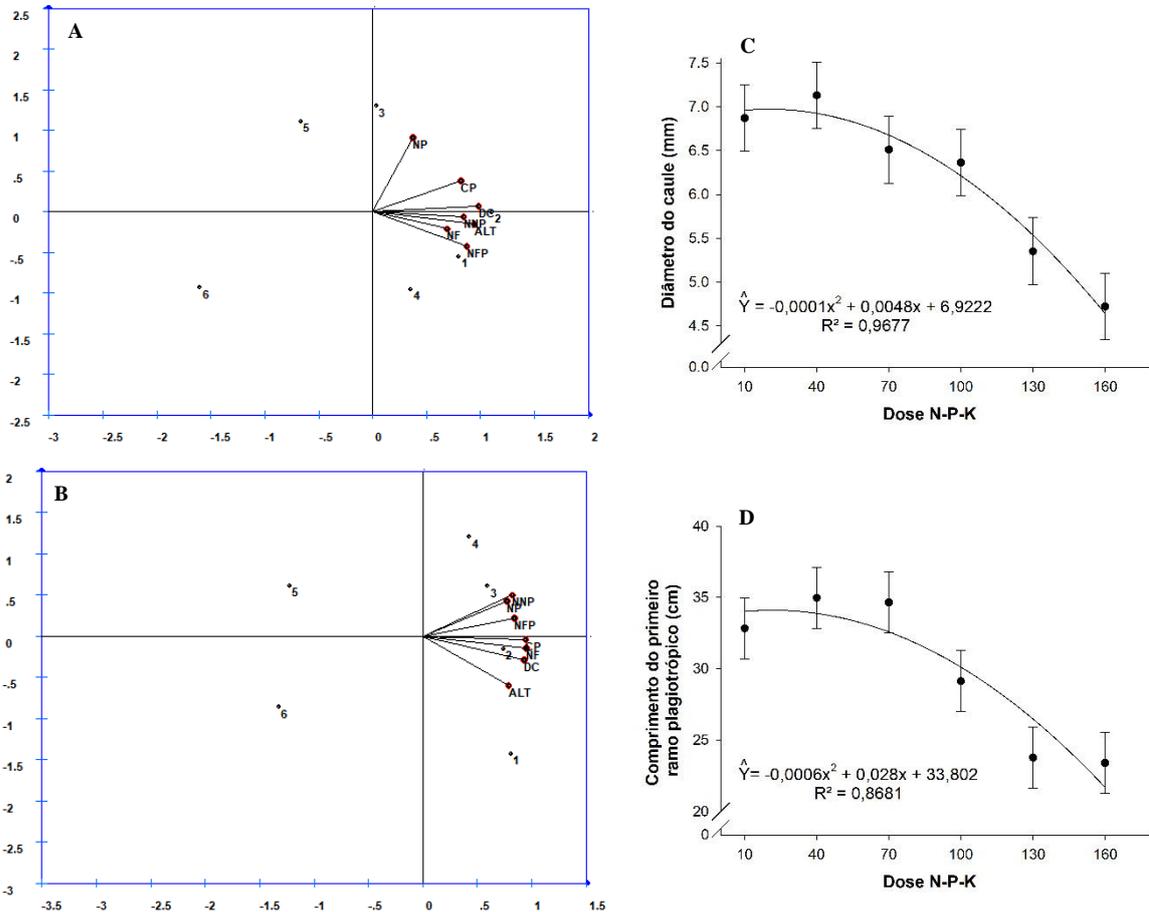
Além disso, nas avaliações de outubro/2019 e fevereiro/2020 (FIGURA 6), apesar de valores crescentes dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio, esses foram diferentes entre as doses de fertilizantes aplicadas, como também foi observado em abril.

Em outubro/2019, os teores de nitrogênio e fósforo foram menores e iguais entre si nos tratamentos de 10, 40, 70 e 100%, sendo, portanto, as maiores (e iguais entre si) concentrações desses nutrientes nas folhas observadas nos tratamentos de 130 e 160%. Ainda em outubro/2019, os teores foliares de potássio seguem comportamento semelhante, porém, com destaque ao tratamento de 160%, o qual apresentou teor superior aos das plantas dos demais tratamentos (FIGURA 6). Em fevereiro/2020, nota-se concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio maiores e iguais entre si nas plantas dos tratamentos de 100, 130 e 160%, teores esses superiores aos constatados nas folhas das plantas dos tratamentos de 10, 40 e 70%.

Percebe-se, portanto, mesmo comportamento nos teores de nutrientes nas três épocas estudadas (abril e outubro/2019 e fevereiro/2020), nas quais foi constatado aumento dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio nos maiores níveis de adubação (TABELA 5 – APÊNDICE A).

Na análise de componentes principais para as variáveis de crescimento em outubro/2019 e fevereiro/2020, as variáveis diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos em outubro e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm) e altura (cm) em fevereiro, explicaram mais de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos. Portanto, a dispersão gráfica dos resultados foi realizada com base nos escores dos dois primeiros componentes (FIGURA 7AB). Por meio do método de descarte das variáveis foram selecionadas as características diâmetro de caule (mm) em outubro e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm) em fevereiro, as quais correspondem a 66 e 73% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos, respectivamente (Figura 7CD).

Figura 7 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro e segundo componentes com base nos atributos de crescimento em outubro /2019 (A) e fevereiro/2020 (B), diâmetro de caule (mm) em outubro/2019 (C) e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm) em fevereiro/2020 (D) de cafeeiros em formação.



1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de NPK, respectivamente; DC = diâmetro de caule; ALT = altura; NF = número de folhas; NP = número de ramos plagiotrópicos; CP = comprimento do primeiro ramo plagiotrópico; NNP = número de nós do primeiro ramo plagiotrópico e NFP = número de folhas do primeiro ramo plagiotrópico.

Fonte: Da autora (2020).

As variáveis diâmetro de caule em outubro/2019 e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico em fevereiro/2020, foram selecionadas dentre as demais características de crescimento analisadas, pois são as mais representativas da variabilidade existente devido aos diferentes tratamentos utilizados. Ademais, observa-se resposta semelhante das variáveis de crescimento (FIGURA 7AB), tanto em outubro/2019 como em fevereiro/2020. Os tratamentos de 10, 40, 70 e 100% foram agrupados mais próximos das características de crescimento, enquanto os de 130 e 160% reuniram-se mais distantes dessas variáveis.

Portanto, mesmo sendo constatada diferenças no crescimento do cafeeiro em outubro/2019 e fevereiro/2020, houve o agrupamento das variáveis de forma semelhante e mais próximas dos tratamentos 10, 40, 70 e 100%, podendo também ser observado por meio dos

gráficos de regressão, a semelhança no padrão de crescimento das plantas nesses tratamentos (FIGURA 7CD). Sendo assim, observa-se a redução do diâmetro de caule e do comprimento do primeiro ramo plagiotrópico a partir do tratamento 100%. Desse modo, houve a redução dessas características nos tratamentos de 130 e 160%, enquanto os demais (10, 40, 70 e 100%) apresentaram respostas superiores e iguais entre si. Logo, os níveis de adubação acima de 100% foram prejudiciais às plantas. No entanto, níveis abaixo de 100% apresentaram menores teores foliares dos macronutrientes N, P e K.

Constatou-se também a presença de correlação negativa entre os teores foliares de nutrientes e as características de crescimento avaliadas nos meses de julho, outubro/2019 e fevereiro/2020 (TABELA 3), o que justifica o agrupamento das características de crescimento mais próximas dos menores tratamentos (10, 40 e 70%).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre os teores foliares de nutrientes e as variáveis morfológicas. Lavras – MG, 2020.

CARACTERÍSTICAS	JULHO		OUTUBRO			FEVEREIRO		
	N	N	P	K	N	P	K	
Altura de plantas	-0,33 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,72*	-0,69*	-0,67*	
Diâmetro de caule	-0,47*	-0,41*	-0,74*	-0,61*	-0,58*	-0,74*	-0,61*	
Número de folhas	-0,34 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,42*	-0,68*	-0,62*	-0,64*	
Número de ramos plagiotrópicos	-0,28 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	
Comprimento do 1º ramo plagiotrópico	-0,15 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,55*	-0,57*	-0,61*	-0,81*	-0,55*	
Número de nós do 1º ramo plagiotrópico	-0,21 ^{ns}	-0,44*	-0,66*	-0,41*	-0,28 ^{ns}	-0,54*	-0,40 ^{ns}	
Número de folhas do 1º ramo plagiotrópico	-0,30 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-0,58*	-0,57*	-0,58*	-0,51*	-0,54*	

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F, ^{ns} = Não Significativo.

N, P e K = teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

Fonte: Da autora (2020).

Assim, os teores foliares de nutrientes influenciaram nas características de crescimento do cafeeiro em formação. O maior teor de nitrogênio em julho/2019 foi correlacionado ao menor diâmetro de caule na mesma época.

Em outubro/2019, observou-se menor diâmetro de caule e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico nas maiores concentrações de N foliar. Também em outubro, menores diâmetro de caule, número de folhas, comprimento, número de nós e de folhas do primeiro plagiotrópico foram correlacionados com maiores teores foliares de K, semelhantemente ao constatado para o P, com exceção do número de folhas.

Em fevereiro/2020, houve correlação negativa das concentrações foliares de P com a altura, diâmetro de caule, número de folhas, comprimento, número de nós e de folhas do primeiro plagiotrópico. Também nesse mês, as mesmas variáveis se correlacionaram

negativamente com os teores foliares de N e K, com exceção do número de nós do primeiro ramo plagiotrópico, mostrando o risco de desequilíbrio nutricional causado devido ao excesso de adubação.

Por meio dos resultados relatados, a dose de 100% da adubação padrão recomendada ficou destacada entre as demais, pois no aumento da dose de fertilizantes a partir dessa, observa-se prejuízos no crescimento das plantas. Entretanto, ressalta-se que a utilização de doses abaixo desse nível pode comprometer o crescimento do cafeeiro no ano seguinte, pois os teores dos nutrientes nas folhas são significativamente menores.

4 DISCUSSÕES

Para o cafeeiro em formação foi observada a influência da quantidade de fertilizantes aplicada no solo com o crescimento e a nutrição da planta. As condições climáticas afetaram o estabelecimento inicial da cultura, havendo variação do potencial hídrico entre os períodos de seca e de chuvas.

O primeiro ano em campo é o período mais sensível do cafeeiro, no qual há acúmulo de matéria seca e os padrões de absorção de nutrientes são diferentes dos da fase reprodutiva, havendo aumento das concentrações de N, P e K de forma linear e crescente (CAMARGO; CAMARGO, 2001; ASSAD *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2010). Com isso, o fornecimento de água e nutrientes de maneira adequada contribui para o pleno crescimento e desenvolvimento da cultura.

Nesse contexto, o potencial hídrico foliar apresentou comportamento coincidente com os dados climatológicos (FIGURAS 3 e 4), com destaque para os índices de precipitação, os quais foram menores no mês de menor potencial observado (julho), havendo nesse período maior dificuldade na absorção de nutrientes devido ao déficit hídrico e tempo seco. Porém, condições de estresse devido à falta ou excesso de nutrientes, podem causar alterações na anatomia vegetal, proporcionando, por exemplo, maior espessura da nervura central e, por consequência, maior fluxo de água e fotoassimilados na planta (BATISTA *et al.*, 2010; GAMA *et al.*, 2017). Assim, se justificaria a ausência de diferenças no potencial hídrico foliar em relação aos tratamentos independente das épocas de avaliação.

Silva *et al.* (2008), ao avaliarem a produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro ‘Catuaí’, em função da época de irrigação, constataram que os tratamentos irrigados obtiveram maior potencial hídrico foliar quando comparados com o tratamento sem irrigação. Portanto, nos períodos com maior distribuição de chuvas houve maiores potenciais hídricos quando comparados com a época de escassez de água. Porém, destaca-se que o trabalho foi realizado em cafeeiros na fase de produção, diferente deste, realizado em cafeeiros na fase de formação.

Dessa forma, em julho/2019 não houve diferença nos teores foliares de N, P e K e no crescimento do cafeeiro em função dos tratamentos ($p > 0,05$) devido à planta apresentar menor potencial hídrico foliar ocasionando baixa eficiência de absorção dos nutrientes, haja vista que os mesmos são transportados e translocados nos tecidos por diferença de potencial quando na presença de água (TAIZ *et al.*, 2017). Nesse sentido, o mês foi caracterizado por menor índice pluviométrico e tempo seco, com alta intensidade luminosa, prejudicial ao desenvolvimento de raízes e ao crescimento do cafeeiro. Pois, em suas fases iniciais é mais sensível a essas

oscilações, as quais afetam o seu metabolismo, podendo provocar sobrecarga da fotossíntese e consequente fotoinibição (ASSAD *et al.*, 2004; DAMATTA; RAMALHO, 2006; DAMATTA *et al.*, 2007; CAMARGO, 2010). Logo, o estresse hídrico provoca o desbalanço nutricional ocasionando prejuízos ao crescimento e desenvolvimento da cultura (POZZA; POZZA, 2012; CUSTÓDIO *et al.*, 2014).

Em abril e outubro/2019 e fevereiro/2020 houve maiores valores de potencial hídrico foliar (menos negativos), com isso, os nutrientes foram absorvidos de maneira mais eficiente proporcionando a diferenciação dos teores foliares dos mesmos em função dos tratamentos. Observou-se comportamento semelhante entre os teores foliares de N, P e K nas três épocas analisadas, sendo as menores doses (10, 40 e 70%) com teores foliares menores em relação as maiores doses (100, 130 e 160%), as quais se assemelham entre si.

Assim, o aumento do nível de adubação com NPK acima da recomendação padrão, interfere na concentração foliar de outros macro e micronutrientes. Desse modo, os nutrientes podem interagir entre si no solo e o fornecimento de um determinado elemento pode causar efeito antagônico ou sinérgico na absorção de outro (CANTARELLA, 2007). Essas interações entre os nutrientes podem explicar a correlação negativa entre os níveis de adubação e o crescimento das plantas (FIGURA 7 e TABELA 3).

Existe sinergismo entre N e S, bem como efeito do N em alguns micronutrientes metálicos por mudanças no pH da rizosfera afetando a disponibilidade dos mesmos. Nesse sentido, elevados teores de N e P no tecido foliar podem proporcionar redução da absorção de B e induzirem a deficiência de Cu (CANTARELLA, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010). Ademais, são observadas algumas interações entre P e Zn, podendo existir antagonismo entre esses nutrientes quando algum deles excede o nível crítico, possivelmente devido ao P prejudicar a absorção e translocação do Zn nas plantas (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Ainda, condições de excesso de K no solo, ocasionam maior absorção do cátion, reduzindo a absorção de outros nutrientes como Ca e Mg, devido ao efeito da ‘inibição competitiva’, além de exercer influência na absorção de Fe (ERNANI *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010). No entanto, o aumento do N e do P influenciam positivamente na absorção de Ca, havendo também sinergismo entre esses elementos (MALAVOLTA *et al.*, 1997; ERNANI *et al.*, 2007).

Devido a esses resultados, recomenda-se a dose de 100% da adubação padrão com nitrogênio, fósforo e potássio, a qual proporcionou teores foliares dos nutrientes superiores aos menores tratamentos e iguais aos maiores níveis de adubação (130 e 160%), os quais naturalmente gerariam custos mais elevados. Ressalta-se ainda, que apesar do aumento dos

teores foliares de N, P e K devido ao aumento do nível de adubação, outros nutrientes tiveram seus teores foliares diminuídos devido a interação entre os íons presentes, descrita por Carvalho *et al.* (2010).

À vista disso, os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, obtidos em abril e outubro/2019 e fevereiro/2020, obtiveram o mesmo comportamento, sendo semelhantes aos de Clemente *et al.* (2008), Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015), os quais observaram resposta linear e crescente dos teores foliares dos mesmos, em função do aumento do nível de adubação com N, P e K em casa de vegetação e no primeiro e segundo ano após o plantio.

Com base nas equações estimadas para abril, outubro/2019 e fevereiro/2020, foi possível determinar os níveis máximos de nitrogênio, fósforo e potássio, equivalentes a 38,5g; 2,6 e 25,9; 36,6; 1,9 e 57,2; 33,9; 1,6 e 23,2 g.Kg⁻¹, respectivamente. As concentrações estimadas de N são superiores aos determinados por Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015) para os mesmos meses. No entanto, o ponto máximo de K em fevereiro/2020 foi abaixo do nível crítico determinado por esses autores. Em outubro/2019 e fevereiro/2020, os máximos teores de P foliar foram abaixo do determinado por Vilela *et al.* (2015). Todavia, de acordo com Pinto *et al.* (2013), o teor de P em fevereiro/2020 foi considerado adequado. Ressalta-se que o trabalho dos referidos autores foi realizado em condições diferentes (fertirrigação).

Ademais, de acordo com Reuter e Robinson (1988); Malavolta (1993); Mills e Jones Junior (1996); Malavolta *et al.* (1997); Martinez *et al.* (2003) e Bataglia (2004), os quais propuseram faixas críticas de concentrações de nutrientes em folhas de cafeeiro em produção conduzidos em sequeiro, os níveis máximos de nitrogênio em todas as épocas estão acima dos níveis recomendados, porém, os máximos teores foliares de potássio em fevereiro/2020 e fósforo em outubro/2019 e fevereiro/2020 são adequados. Em abril/2019 o fósforo foi considerado adequado se comparado com a faixa estabelecida por Martinez *et al.* (2003) para lavouras de baixa produção. No entanto, os máximos teores dos três macronutrientes nas duas épocas são superiores aos níveis determinados por Clemente *et al.* (2008) em casa de vegetação.

Esses nutrientes são importantes para a cultura do cafeeiro, dos quais 73% de todo o nitrogênio e fósforo e 65% do potássio presentes na planta se encontram nas partes vegetativas, sendo menos concentrados nos frutos (MALAVOLTA, 1986). Essa alta concentração nas partes vegetativas pode justificar os elevados teores foliares desses nutrientes em função do aumento do nível de adubação.

Observou-se também diferenças significativas no crescimento das plantas em outubro/2019 e fevereiro/2020, pois devido a água ser o principal constituinte dos tecidos vegetais, com aumento do índice pluviométrico e da temperatura, houve condições mais

favoráveis ao cafeeiro proporcionando o início das brotações (MADDEN *et al.*, 2007; TAIZ *et al.*, 2017). Porém, essa diferença não foi observada em abril/2019 ($p > 0,05$).

Vilela *et al* (2017), ao estudar o efeito de doses de nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes cultivares de cafeeiro, não constatou diferenças significativas em seu crescimento inicial, devido aos níveis de alguns nutrientes no solo já estarem elevados antes da diferenciação dos tratamentos, conforme observado neste trabalho, cujo teor de K ($108,04 \text{ mg.dm}^{-3}$) se encontrava na classe considerada média, e devido a menor demanda de nutrientes pelas plantas na fase vegetativa, esses teores já seriam suficientes para o estabelecimento inicial da cultura de forma generalizada entre os tratamentos na primeira avaliação (LAVIOLA *et al.*, 2007).

Ainda, de acordo com Clemente *et al.* (2008), em seu trabalho sobre faixas críticas de teores foliares de macronutrientes, em cafeeiros no primeiro ano após o plantio, os efeitos dos níveis de adubação no crescimento da planta só foram constatados a partir de 210 dias após a implantação, semelhante aos resultados obtidos no presente trabalho, nos quais aos 120 dias após o plantio (abril/2019) não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, em julho/2019 (210 dias após o plantio) também não foi observado interferência dos níveis de adubação no crescimento do cafeeiro. Assim, ressalta-se que o experimento citado foi conduzido em casa de vegetação com as condições controladas diferente deste, o qual foi realizado em campo e sujeito a variações climáticas.

Contudo, mesmo sendo constatada diferenças no crescimento do cafeeiro em outubro/2019 e fevereiro/2020 no presente trabalho (FIGURA 7), houve semelhança no padrão de crescimento das plantas nos tratamentos de 10, 40, 70 e 100% da adubação com NPK. Isso pode ser explicado devido as partes novas da planta possuírem grande 'força de dreno', e por isso, há maior dificuldade de verificar diferenças na fase de desenvolvimento inicial do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1986). Pinto (2012) observou comportamento semelhante em cafeeiros fertirrigados, sendo justificado pela hipótese de os teores de nutrientes presentes no solo antes da implantação do experimento, juntamente com as posteriores aplicações dos tratamentos, já serem suficientes para o estabelecimento inicial da cultura.

No entanto, 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, devido ao efeito retardado causado pelas menores doses de fertilizantes (e consequentemente menores teores de nutrientes) nas plantas (PINTO, 2012). Portanto, o mesmo autor constatou que a variável produtividade poderia ser a mais recomendada na determinação de faixas críticas de teores foliares de NPK para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano após o

plântio, pois o florescimento e frutificação da planta seria influenciado por seu desenvolvimento no ano anterior, como também proposto por Rena e Maestri (1986).

Nesse contexto, o cafeeiro apresenta ciclo fenológico de dois anos, no primeiro ano em campo, ocorre crescimento vegetativo, e somente no ano subsequente a lavoura entra na fase reprodutiva, havendo em um ano, o crescimento da parte dos ramos plagiotrópicos que vão frutificar apenas no ano seguinte (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Portanto, o cafeeiro necessita vegetar em um ano para produzir bem no próximo e, ao mesmo tempo, suprir os frutos (RENA; MAESTRI, 1986). Assim, em ano de alta produtividade, o maior dreno de fotoassimilados por meio dos frutos permitirá menor crescimento dos ramos plagiotrópicos, definindo menor quantidade de ‘nós produtivos’ e, conseqüentemente, menor produtividade no ano seguinte. Logo, se a planta não acumular reservas para suprir os frutos no próximo ano, sua produtividade será afetada, por isso, as plantas com menores teores foliares de nutrientes devido aos menores níveis de adubação poderão ter sua produtividade do próximo ano reduzida em relação às plantas dos demais tratamentos.

Desse modo, em doses abaixo de 100% da adubação recomendada para implantação de lavouras de café sem irrigação, foram observados menores teores dos nutrientes nas folhas, podendo comprometer o desenvolvimento do cafeeiro no ano seguinte, inclusive na produtividade, como observado por Pinto (2012). Ademais, devido as inibições causadas por doses excessivas de N, P e K, em virtude dos ‘efeitos Inter iônicos’ descritos por Carvalho *et al.* (2010), os tratamentos com maiores níveis de adubação interferiram negativamente no crescimento das plantas.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base nos resultados obtidos, ainda não foi possível estimar as faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro em formação, sendo necessário o prosseguimento das avaliações para coleta de dados de produtividade e posterior determinação das faixas críticas, conforme metodologia proposta por Pinto (2012). Dessa forma, será possível realizar recomendações de forma mais segura, pois o aumento das doses prejudicou o crescimento inicial do cafeeiro, bem como doses muito baixas proporcionaram menores teores foliares de N, P e K, podendo prejudicar o desenvolvimento da cultura no próximo ano.

Como importante alerta aos cafeicultores fica a constatação obtida por meio dos dados do presente trabalho, ressaltando a importância da adubação equilibrada e suficiente no primeiro ano de formação da lavoura cafeeira. Assim, deve-se evitar tanto a falta, quanto o excesso de adubações, pois sendo o café uma cultura perene, qualquer erro cometido durante a implantação em campo comprometerá o empreendimento de forma irreversível, por todo o período de cultivo.

6 CONCLUSÕES

Há influência dos teores foliares de N, P e K nas concentrações foliares de outros nutrientes, influenciando o crescimento das plantas de café durante o primeiro ano de formação em campo.

As condições climáticas influenciam o potencial hídrico foliar do cafeeiro ao longo do ano, independentemente do nível de adubação utilizado.

Os teores foliares de N, P e K aumentam com a elevação do nível de adubação no primeiro ano de implantação da lavoura cafeeira, porém, doses acima de 100% da recomendação padrão prejudicam o crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: SBCS. FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS L.A.(Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa, MG, 2006. p. 253-280.
- ASSAD, E.D. *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1057-1064, 2004.
- BATAGLIA, O.C. *et al.* Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 253-263, 2004.
- BATISTA, L.A. *et al.* 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.
- CAIXETA, G.Z.T. *et al.* Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropecuário**, [s.l], v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.
- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, [s.l], v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CAMARGO, M.B.P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 239-247, 2010.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: SBCS. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. p. 375-470.
- 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.
- CLEMENTE, F.M.V.T. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio-primeiro ano. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47- 57, 2008.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da Safra de Café. **Levantamento de safra de janeiro de 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/caffe>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- CRUZ, C.D. *et al.* **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620 p.
- CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and uantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l]. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CURI, N.C. *et al.* **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa-MG, 2017.

CUSTÓDIO, A.A.P. *et al.* Effect of Center Pivot Irrigation in the Progression of Rust and Brown Eye Spot of Coffee. **Plant Dis.**, n. 98, p. 943-947, 2014.

DAMATTA, F.M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 485-510, Apr. 2007.

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.

ERNANI, P.R. *et al.* Potássio. In: SBCS. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. p. 551-594.

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.

GOMIDE, M.B. *et al.* Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-23, jul./dez. 1977.

GUIMARÃES, P.T.G. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

JOLLIFFE. I.T. Discarding variables in a principal components analysis. I: Artificial data. **Applied statistics**, [s.l.], v. 21, p.160-173, 1972.

LAVIOLA, B.G. *et al.* Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 319-329, 2007.

MADDEN, L.V. *et al.* **The study of plant disease epidemics**. Minnesota: The American Phytopathological Society, 2007.

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

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997, 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London Academic. 2012.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, [s.l.], v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ- VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

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

PEARSON, K. “On the probability that two independent distributions of frequency are really samples of the same population, with special reference to recent work on the identity of trypanosome strains”. **Biometrika**, [s.l.], v.10, p. 85-143, 1914.

PINTO, C.G. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 530-538 out./dez. 2013.

PINTO, C.G. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós-plantio**. 65 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A.K.F.M.; OGOSHI, C.; PERINA, F.J.; SILVA, G.M.; NEENTO, H.S.; COSTA, L.S.A.S.; ALENCAR, N.E.; MARTINS, S.J.; TERRA, W.C.; ZANCAN, W. L. A. (Eds.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos, SP: Suprema, 2012. p. 259- 282.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 26 mar. 2020.

REIS, P.R.; CUNHA, R.L. (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. v.1. 895 p.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. *et al.* (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1986. 447 p.

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

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

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.

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, n. 1, p. 21-25, 2008.

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

USDA. Foreign Agricultural Service. Coffee: World Markets and Trade. **Coffee: World Markets and Trade**, April, p. 1-9, 2019. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.

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.

APÊNDICE A

Tabela 4 - Resumo da análise de variância de época x dose para potencial hídrico foliar (Mpa). Lavras-MG, 2020.

POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR (Mpa)		
FV	GL	QM
Dose	5	0,01 ^{ns}
Bloco	3	0,08
Época	3	0,79*
Dose*Época	15	0,02 ^{ns}
Erro	69	0,02
Total	95	
CV (%)	56,68	

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância dos teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em g.Kg⁻¹ de cafeeiros em formação. Lavras-MG, 2020.

QUADRADOS MÉDIOS													
FV	GL	ABRIL			JULHO			OUTUBRO			FEVEREIRO		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Dose	5	16,54*	0,25*	27,63*	5,75 ^{ns}	0,02 ^{ns}	56,30 ^{ns}	9,66*	0,05*	5,83*	16,28*	0,08*	13,66*
Bloco	3	11,83	0,04	7,12	1,36	0,21	125,79	5,17	0,01	2,27	6,75	0,01	0,89
Erro	15	3,71	0,03	5,58	3,20	0,02	49,88	9,56	0,01	1,97	1,23	0,01	1,73
Total	23												
CV (%)		5,31	7,16	9,88	4,71	7,02	2,65	2,23	6,64	2,52	3,55	6,20	6,30

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância das características de crescimento de cafeeiros em formação. Lavras-MG, 2020.

QUADRADOS MÉDIOS															
FV	GL	ABRIL						JULHO							
		DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP	DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP
Dose	5	1,24 ^{ns}	5,36 ^{ns}	33,50 ^{ns}	1,03 ^{ns}	10,21 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,86 ^{ns}	3,53 ^{ns}	17,83 ^{ns}	13,24 ^{ns}	3,23 ^{ns}	7,18 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Bloco	3	0,19	21,46	15,08	1,59	3,70	0,04	0,12	0,13	19,03	34,18	0,67	8,77	0,21	1,36
Erro	15	0,54	14,79	14,09	1,21	8,49	0,29	1,02	1,39	18,44	41,99	1,18	5,10	0,33	0,64
Total	23														
CV (%)		12,95	12,54	28,45	51,31	51,95	48,57	46,74	16,62	12,26	34,12	19,73	35,26	38,53	47,58

^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

DC = diâmetro de caule (mm), ALT = altura (cm), NF = número de folhas, NP = número de ramos plagiotrópicos, CP = comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm), NNP = número de nós do primeiro plagiotrópico, NFP = número de folhas do primeiro plagiotrópico.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 7- Resumo da análise de variância das características de crescimento de cafeeiros em formação. Lavras-MG, 2020.

QUADRADOS MÉDIOS																
	OUTUBRO								FEVEREIRO							
FV	GL	DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP	DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP	
Dose	5	3,46*	29,35*	630,90*	11,59*	28,17*	1,31*	5,05*	9,02*	114,88*	1932,62*	8,28*	110,01*	2,28*	20,41*	
Bloco	3	0,01	8,13	15,81	0,07	0,74	0,04	0,06	0,30	0,92	11,01	0,10	0,81	0,25	0,66	
Erro	15	0,10	2,56	8,08	0,15	0,26	0,07	0,07	0,39	0,84	15,17	0,14	0,61	0,07	0,24	
Total	23															
CV (%)		5,15	4,61	7,01	4,01	3,50	4,87	4,56	4,11	1,58	4,08	2,33	2,63	2,65	4,21	

*: Significativo à 5% de probabilidade.

DC = diâmetro de caule (mm), ALT = altura (cm), NF = número de folhas, NP = número de ramos plagiotrópicos, CP = comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (cm), NNP = número de nós do primeiro plagiotrópico, NFP = número de folhas do primeiro plagiotrópico.

Fonte: Da autora (2020).

CAPÍTULO 3 NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA INCIDÊNCIA DA CERCOSPORIOSE NO CAFEIEIRO EM FORMAÇÃO

NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON THE INCIDENCE OF BROWN EYE SPOT IN COFFEE CROP IN VEGETATIVE STAGE

RESUMO

A nutrição adequada das plantas é um dos fatores mais limitantes para o pleno crescimento e desenvolvimento do cafeeiro. Aliadas às deficiências nutricionais, tem-se as doenças como a cercosporiose, influenciada, principalmente, por nutrientes como o potássio. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de diferentes níveis de adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na incidência da cercosporiose em lavoura cafeeira de sequeiro, em formação. O experimento foi implantado em dezembro de 2018, em área experimental no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, MG. Foram utilizadas mudas de cafeeiro da cultivar Mundo Novo IAC 379/19 plantadas no espaçamento de 3,50 x 0,55 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os níveis de adubação utilizados foram: 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão recomendada para NPK. Foram avaliadas a incidência da cercosporiose e o número de folhas do cafeeiro no período de maio a dezembro de 2019, com intervalos de 15 dias entre as avaliações. Realizou-se a área abaixo da curva de progresso da incidência da cercosporiose (AACPIC) e do número de folhas (AACPNF). O potencial hídrico e as análises químicas foliares foram feitas em abril, julho e outubro/2019. Observou-se a redução da AACPIC com o aumento da dose de NPK. Porém, houve redução do número de folhas devido ao aumento do nível de adubação. Foi constatada correlação positiva entre a AACPIC e a AACPNF. Observou-se interação significativa entre a época de avaliação e níveis de adubação para a incidência de cercosporiose, havendo diferença entre os tratamentos nas avaliações de 31 de julho, 15 e 30 de agosto de 2019. O menor potencial hídrico foliar ocorreu em julho, época na qual houve maior intensidade da doença. Os níveis de NPK utilizados influenciaram nas concentrações dos mesmos nas folhas, bem como nos teores foliares de outros nutrientes. O nível de adubação de 100% favoreceu a redução da AACPIC, mantendo o enfolhamento e o equilíbrio com os demais nutrientes no cafeeiro.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

ABSTRACT

Balanced plant nutrition is one of the most limiting factors for the full growth and development of the coffee tree. Allied to nutritional deficiencies are diseases such as brown eye spot (BES - *Cercospora coffeicola*), mainly influenced by potassium. Thus, the aim of this study was to evaluate the different effects of fertilization levels with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), denominated NPK, on the incidence of BES in rainfed coffee plantations that are in vegetative stage. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. The experimental design was randomized blocks, with six treatments and four replications. The fertilization levels used were 10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization recommended for NPK. The incidence of BES and the number of coffee leaves in the period from May to December 2019 were evaluated, with intervals of 15 days between evaluations. The area under incidence (AUIPC) and number of leaves progress curve (AUNLPC) was performed. Water potential and foliar chemical analysis were performed in April/2019, July/2019 and October/2019. The highest AUIPC was detected in plants with lower levels of fertilization. However, there was a reduction in the number of leaves due to the increase in the dose of NPK. A positive correlation was found between AUIPC and AUNLPC. A significant interaction between the evaluation period and fertilization levels for the incidence of BES was observed, with a difference between treatments in the evaluations of July 31, August 15 and August 30, 2019. The lowest leaf water potential occurred in July, when there was a greater intensity of the disease. The levels of NPK fertilization influenced their concentrations in the leaves, as well as other nutrients. The fertilization level of 100% favored the reduction of AUIPC, maintaining more leaves and the nutritional balance in coffee plants.

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande relevância no cenário agrícola brasileiro, pois o país é o maior produtor e exportador mundial (USDA, 2019). Na safra 2020, espera-se colher 62,02 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado em área estimada de 2,16 milhões de hectares, sendo o estado de Minas Gerais a principal região produtora, com aproximadamente 52% da produção nacional, no qual há o predomínio do cultivo de café arábica (CONAB, 2020).

Diversos fatores podem reduzir a produtividade da cafeicultura, com destaque para a nutrição inadequada, o que, conseqüentemente, favorece a suscetibilidade das plantas a doenças (SANTOS *et al.*, 2008; MARSCHNER, 2012; SILVA *et al.*, 2019). Dentre elas, destaca-se a cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo cujo agente etiológico é o fungo *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke. Essa doença causa danos em todas as fases de desenvolvimento da cultura. Na fase vegetativa, a cercosporiose ocasiona desfolha e atraso no crescimento (POZZA *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o ciclo fenológico do cafeeiro compreende dois anos, sendo a fase vegetativa ou de formação no primeiro e a reprodutiva no segundo. Assim, em um ano, ocorre o crescimento da parte dos ramos plagiotrópicos que vão frutificar apenas no ano seguinte. No caso da formação da lavoura cafeeira, no primeiro ano em campo, ocorre crescimento vegetativo e somente no ano subsequente a lavoura entra na fase reprodutiva. Assim, o primeiro ano em campo é o período mais sensível do cafeeiro, no qual há acúmulo de matéria seca e os padrões de absorção de nutrientes são diferentes dos da fase reprodutiva, havendo aumento das concentrações de N, P e K de forma linear e crescente (CAMARGO; CAMARGO, 2001; ASSAD *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2010).

Dessa forma, a fertilidade do solo e a nutrição de plantas são importantes para o pleno desenvolvimento do cafeeiro, bem como no manejo da cercosporiose, pois auxiliam na formação das barreiras de resistência horizontais. Essas barreiras estão relacionadas ao engrossamento da parede celular, aumento da camada de cera na cutícula e recuperação de injúrias (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019).

O potássio e o cálcio são estudados por diversos autores em relação à sua influência na cercosporiose. De acordo com Garcia Jr. *et al.* (2003), Santos *et al.* (2008) e Marschner (2012), o fornecimento desses nutrientes de maneira equilibrada apresentou efeito positivo no manejo da doença. Além disso, segundo Belan (2015), os dois elementos apresentaram gradiente de concentração nos tecidos infectados por patógenos necrotróficos, nos quais houve acúmulo de cálcio nas lesões e de potássio ao redor delas.

O excesso de nitrogênio e a deficiência de potássio aumentam o teor de aminoácidos nos exsudados e quando associados a menores teores de P comprometem a síntese de metabólitos secundários, aumentando a suscetibilidade do hospedeiro (MARSCHNER, 2012; MARTINEZ *et al.*, 2014). Em contrapartida, sem seguir um padrão, doses excessivas de K e baixo fornecimento de N ocasionam o aumento da severidade da cercosporiose (POZZA *et al.*, 2001; GARCIA JR. *et al.*, 2003).

Portanto, a adubação equilibrada é essencial no manejo da doença, pois é uma forma sustentável e de fácil acesso para todos os profissionais ligados a cafeicultura. A fase de formação do cafeeiro é importante nesse contexto, haja vista que os danos neste período podem prejudicar o desenvolvimento da cultura a longo prazo. Além disso, os trabalhos com cafeeiros em fases iniciais e no campo, são escassos, pois muitos são simulações em viveiros, casa de vegetação, ou ainda, extrapolação de resultados obtidos em lavouras na fase de produção (POZZA *et al.*, 2001; GARCIA JR. *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2008; VASCO *et al.*, 2015; 2018; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Com isso, objetivou-se com este trabalho, avaliar os efeitos dos diferentes níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na incidência da cercosporiose no cafeeiro de sequeiro em fase de formação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido em campo, em área experimental de 0,11 hectares no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras-MG (altitude de 970 m, latitude 21°13'33.2" Sul e longitude 44°58'18.7" Oeste). As médias anuais de temperatura do ar, média, máxima e mínima, são de 19,4 °C, 21,6 °C 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).

Antes de se implantar o experimento, em agosto de 2018, foram coletadas na área experimental de 0,11 hectares, amostras de solo para análise química nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 centímetros de profundidade (TABELA 1). Foram coletadas cerca de 10 amostras simples para formar uma amostra composta em cada profundidade de coleta. A análise foi realizada antes da caracterização dos tratamentos.

Tabela 1- Caracterização química do solo antes da diferenciação dos tratamentos, na área onde o experimento está instalado.

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	Matéria org. - dag.kg ⁻¹	1,90	1,54
K - (mg.dm ⁻³)	108,04	61,18	Zn - (mg.dm ⁻³)	4,52	3,50
Ca - (cmolc.dm ⁻³)	3,67	2,24	Fe - (mg.dm ⁻³)	38,18	37,84
Mg - (cmolc.dm ⁻³)	0,81	0,44	Mn - (mg.dm ⁻³)	23,07	11,65
Al - (cmolc.dm ⁻³)	0,05	0,07	Cu - (mg.dm ⁻³)	3,65	3,77
H + Al - (cmolc.dm ⁻³)	2,62	3,06	B - (mg.dm ⁻³)	0,12	0,12
T - (cmolc.dm ⁻³)	7,38	5,90	S - (mg.dm ⁻³)	18,16	78,98

pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; SB = soma de bases; 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: Da autora (2020).

Em setembro de 2018, realizou-se a calagem em área total para correção da acidez do solo conforme Guimarães *et al.* (1999). Foram aplicados 750 Kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT igual a 80% e 38,5% de CaO, 10,9% de MgO mantendo a relação de Ca:Mg no solo de 4:1. O calcário foi incorporado à profundidade de 30 centímetros por meio de uma aração e duas gradagens.

Para realizar o plantio, o solo foi sulcado a 30x50 cm de profundidade e largura, seguindo o nível do terreno. Nos sulcos foi aplicado o calcário complementar na dose de 40g.m⁻¹ segundo as recomendações de Guimarães *et al.* (1999) sendo incorporado ao solo de forma homogênea com subsolador de 3 hastes. As covas de plantio foram feitas com enxadão nas dimensões de 40x40x40 cm de comprimento, largura e profundidade. A implantação do experimento foi realizada no dia 11 de dezembro de 2018, com mudas de *Coffea arabica* L., cultivar Mundo Novo IAC 379/19, no espaçamento de 3,5 m entre linhas por 0,55 m entre as plantas na linha.

Foi realizado o tratamento fitossanitário visando o manejo de plantas invasoras com a aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes registrados e indicados para as plantas-alvo predominantes no local, além de capinas e roçadas mecânicas. Para controlar as pragas do cafeeiro, utilizou-se produtos registrados para a cultura do café, seguindo as orientações para a sustentabilidade da agricultura (REIS; CUNHA, 2010).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, contendo seis níveis de adubação e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela com 24 plantas (três fileiras de oito plantas), sendo as seis centrais na parcela útil, dessa forma o experimento contou com 576 plantas em área de 0,11 ha.

Os tratamentos correspondem respectivamente aos níveis de 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão, recomendada por Guimarães *et al.* (1999) para adubação de formação em função da análise do solo. Os níveis considerados padrão foram de 80 gramas de P₂O₅ por muda na cova de plantio e 10 gramas de K₂O e 5 gramas de N por planta e por aplicação, em cobertura. Foram realizadas duas aplicações de N e de K₂O, em janeiro e fevereiro de 2019. As fontes utilizadas foram super fosfato simples (18% de P₂O₅), ureia (44% de N) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

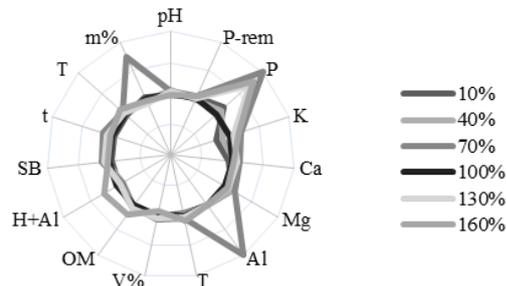
Tabela 2 - Teores de super fosfato simples (SS), ureia e cloreto de potássio (KCl) por aplicação utilizados em cada tratamento na implantação da lavoura.

Tratamentos	SS (g.cova ⁻¹)	Ureia (g.planta ⁻¹)	KCl (g.planta ⁻¹)
10	44	1,1	1,7
40	177	4,4	6,7
70	311	7,7	11,7
100	444	11	16,7
130	577	14,3	21,7
160	710	17,6	26,7

Fonte: Da autora (2020).

Em setembro/2019 realizou-se a amostragem de solo para análise de cada tratamento, sem repetições (TABELA 3). O cálculo da dose de N e K foi realizado com base no nível de 100% da adubação padrão recomendada para cafeeiros no primeiro ano após o plantio (GUIMARÃES *et al.*, 1999). A dose padrão (100%) foi 10g de N e 10g de K₂O divididas em 3 aplicações. As fontes utilizadas foram ureia (44% de N) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Figura 1 - Fertigrama da caracterização química do solo após a diferenciação dos tratamentos na profundidade de 0-20 cm.



pH = potencial hidrogeniônico; P-rem = fósforo remanescente; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; SB = soma de bases; V% = porcentagem de saturação por bases; m = porcentagem de saturação por alumínio; OM = matéria orgânica.

Fonte: Da autora (2020).

2.3 Avaliações

Foram realizadas 15 avaliações com intervalo de 15 dias entre elas, no período de maio a dezembro de 2019, devido ao pequeno período da fase de formação do cafeeiro. As características avaliadas foram incidência da cercosporiose e número de folhas. Realizou-se também o potencial hídrico foliar, análise química do solo e de folhas e coleta dos dados meteorológicos ao longo do período de avaliação.

2.3.1 Incidência da Cercosporiose e contagem do número de folhas

Avaliou-se a incidência da cercosporiose de forma não destrutiva (LIMA, 1979). A porcentagem de incidência foi determinada com base no número de folhas com sintomas em relação ao total de folhas de cada planta, de acordo com a Equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

$$I (\%) = \left(\frac{NFD}{NTF} \right) * 100 \quad (1)$$

sendo:

I (%) = incidência em porcentagem;

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas;

Os valores obtidos da avaliação da cercosporiose e da contagem do número total de folhas, ao longo do tempo, foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da incidência da cercosporiose (AACPIC) e do número de folhas (AACPNF) (SHANER; FINNEY, 1977) (EQUAÇÃO 2).

$$AACP = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i) \quad (2)$$

sendo:

AACP = área abaixo da curva de progresso da incidência de cercosporiose (IC) ou número de folhas (NF);

Y_i = proporção da doença na i-ésima observação;

T_i = tempo em dias da i-ésima observação;

n = número total de observações.

2.3.2 Potencial hídrico foliar

Avaliou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_w - MPa) em abril, julho e outubro/2019 no período antemanhã (3:00h às 5:00h), com câmara de pressão tipo Scholander[®] (modelo 1000, PMS Instrument Company) com operação de até 70 bar. Foi coletada uma folha por parcela útil, sendo essa, totalmente expandida, localizada no terceiro ou quarto par e livre de injúrias. Os dias para a coleta dos dados foram aqueles sem a ocorrência de chuvas.

2.3.3 Análise foliar

Para a análise foliar foram coletadas folhas do ramo localizado no terço médio da planta, com aparência sadia e totalmente expandidas, sendo amostradas 15 a 20 folhas por parcela de forma casualizada, localizadas no terceiro ou quarto par, a partir do ápice de ramos plagiotrópicos (MARTINEZ *et al.*, 1999). Após as coletas (em abril, julho e outubro/2019), as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para análise laboratorial.

2.3.4 Dados meteorológicos

Os dados de temperaturas (°C) máxima, média e mínima, insolação (horas.dias⁻¹), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) foram obtidos da estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, do convênio entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a UFLA.

2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, a fim de verificar a normalidade, homocedasticidade e independência dos erros e aditividade do modelo pelos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett, Durbin-Watson e Aditividade de Tukey, respectivamente.

As análises estatísticas dos dados obtidos foram realizadas por meio do software R versão 3.6.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020). Os dados de AACPIC, AACPNF e teores foliares de nutrientes foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e quando significativos foram ajustados modelos de regressão lineares e não lineares.

Devido a realização de avaliações por várias épocas durante o período de condução do experimento, foi feito o estudo em esquema fatorial entre as épocas e os níveis de adubação para a incidência da cercosporiose, número de folhas e potencial hídrico foliar.

Com os dados médios de incidência da cercosporiose e número de folhas de todos os tratamentos, foram plotadas as curvas de progresso, ao longo do tempo, separadamente.

Em virtude da natureza dos dados obtidos (média geral de cada tratamento), optou-se por realizar análise gráfica por meio de componentes principais para verificar o comportamento da análise química de solo e de folhas. Assim, verificou-se o agrupamento dos dados com bases nos escores do primeiro e segundo componentes, os quais devem capturar no mínimo 80% da

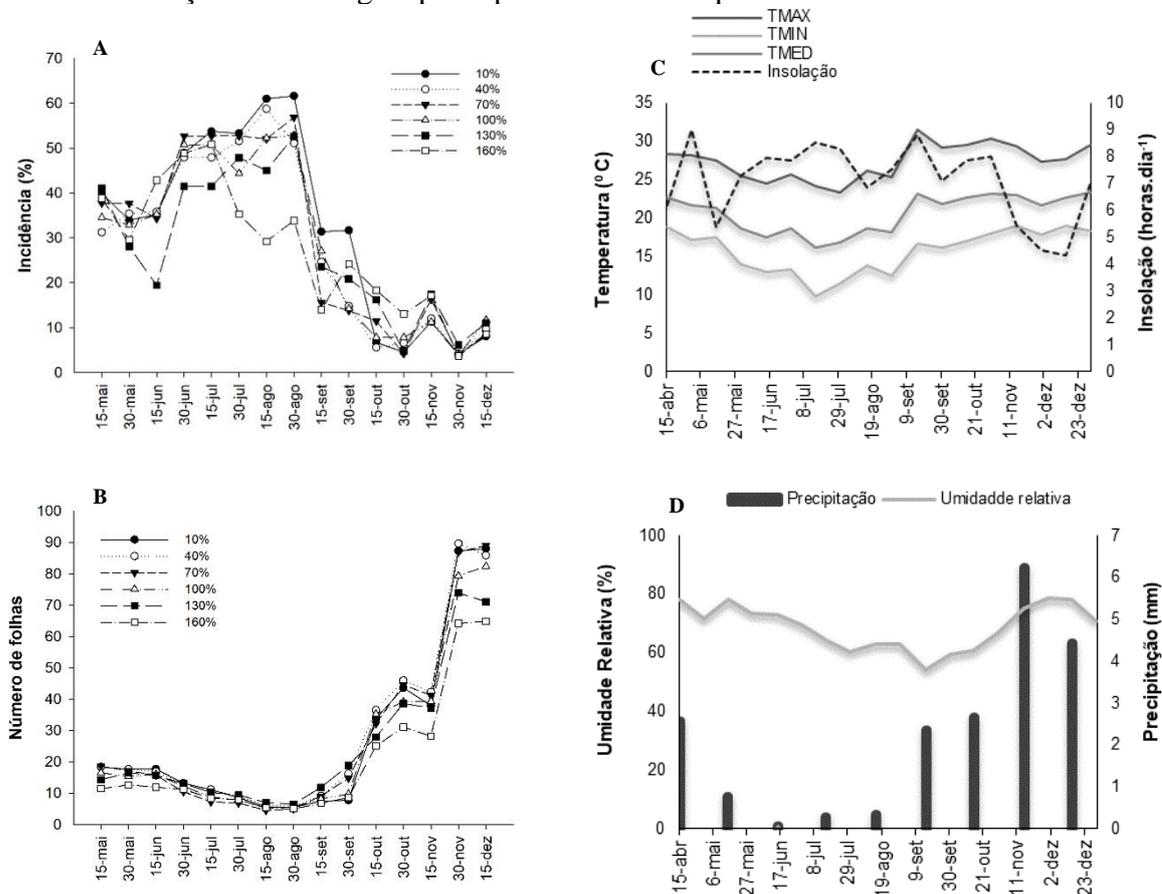
variação existente nos dados (CRUZ *et al.*, 2011). As análises foram realizadas no software GENES (CRUZ, 2013).

Além disso, foi realizada a análise de correlação de Pearson da AACPIC com os teores foliares dos nutrientes e com a AACPNF. Realizou-se também, a análise de correlação entre o número de folhas e os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, em abril, julho e outubro.

3 RESULTADOS

A curva de progresso da incidência da cercosporiose e do número de folhas tiveram seu comportamento influenciado pelas condições climáticas (FIGURA 2). Observou-se pico de incidência da doença e menor número de folhas entre julho e agosto/2019 e redução drástica da intensidade e emissão de novas folhas a partir de setembro/2019.

Figura 2 – Curva de progresso da incidência da cercosporiose (%) (A) e do número de folhas (B), temperatura máxima, média e mínima (°C), insolação (horas.dia⁻¹) (C) e umidade relativa (%) quinzenais e precipitação (mm) mensais (D) obtidos da estação climatológica principal de Lavras no período de abril a dezembro/2019.



Fonte: Da autora (2020).

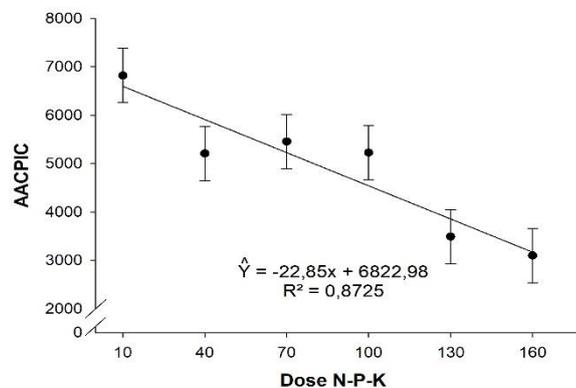
Os períodos de maior intensidade da doença foram caracterizados por médias de precipitação de 0,3 mm, umidade relativa de 60% e temperaturas máxima, média e mínima de 24,6 °C, 17,2 °C e 11,7 °C, respectivamente, além de alta insolação, com média de 8 horas.dia⁻¹.

Houve queda da incidência da cercosporiose a partir de setembro/2019, no início do período chuvoso com 2,4 mm de média mensal, atingindo o maior índice do ano em novembro

com média de 6,3 mm. Além disso, houve elevação das temperaturas com máxima de 30,5 °C, média de 22,5 °C e mínima de 16,5 °C e redução da insolação em novembro, a qual atingiu média de 5 horas.dia⁻¹. Notou-se maior estabilidade da curva de progresso da doença a partir de outubro/2019 e, com isso, maior número de folhas devido ao aumento do índice pluviométrico (2,7 mm) e redução do período de exposição ao sol.

Não houve diferença significativa para a AACPNF (TABELA 7– APÊNDICE B). No entanto, houve efeito significativo na AACPIC, sendo possível estimar a equação de regressão (FIGURA 3).

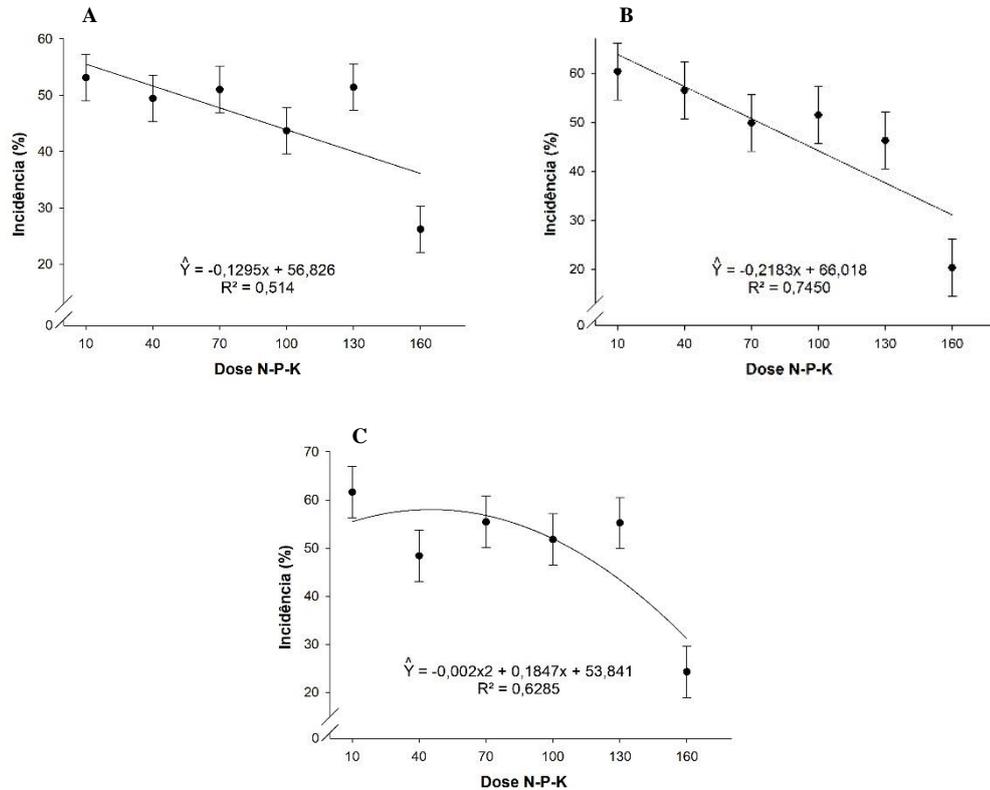
Figura 3 - Área abaixo da curva de progresso da incidência da cercosporiose (AACPIC) do cafeeiro em formação.



Fonte: Da autora (2020).

Portanto, a menor AACPIC (3097) ocorreu no nível de 160%, reduzindo em 54,6% em relação a maior em 10% (6817). Houve interação significativa entre os níveis de adubação e as épocas de avaliação para a incidência da cercosporiose (TABELA 5 – APÊNDICE B). Assim, foi realizado o desdobramento da interação das doses dentro de cada época com efeito significativo (TABELA 6 - APÊNDICE B). Em 31 de julho, 15 e 30 de agosto de 2019 (FIGURA 4) também ocorreram menores intensidades da doença no nível de 160%. Os meses com efeito significativo foram os mesmos nos quais foi registrado pico de incidência da doença, bem como condições climáticas desfavoráveis ao cafeeiro devido à escassez hídrica, baixas umidade relativa e temperaturas e alta taxa de insolação.

Figura 4 - Desdobramento da interação de doses dentro de épocas para a incidência da cercosporiose do cafeeiro em formação em 31/07 (A), 15/08 (B) e 30/08/2019 (C).

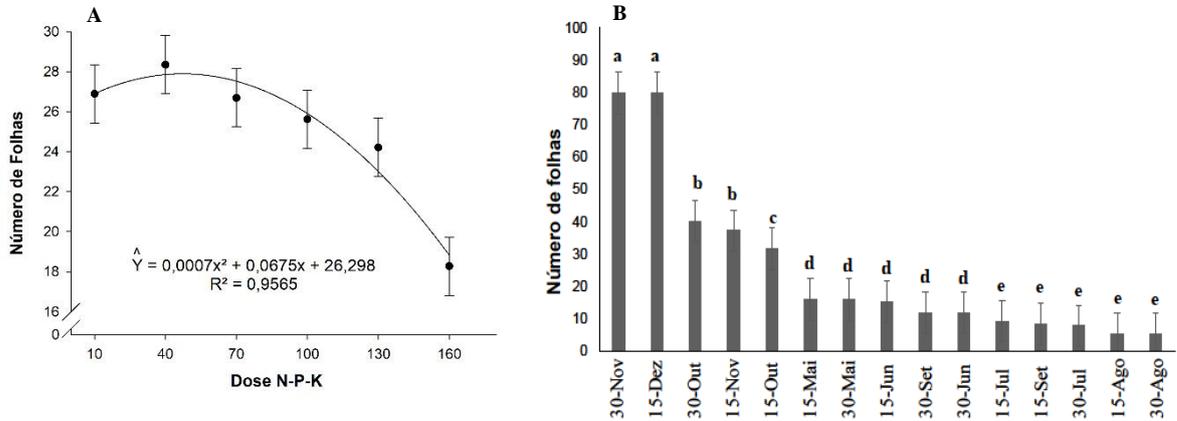


Fonte: Da autora (2020).

Em 31/07 e 15/08/2019, constatou-se a maior incidência no tratamento de 10%, entre 53,1 e 60,4%, e a menor em 160% variando de 26,2 a 20,3%. Entretanto, em 30/08/2019 a porcentagem de incidência da doença apresentou resposta quadrática, havendo queda no tratamento de 160%, no qual ocorreu a menor intensidade (24,3%). A maior incidência foi observada no nível de 46,2% da adubação com NPK (58,1%). Esses meses foram caracterizados por médias de umidade relativa (62,2%) e precipitação mensal (0,3 mm) baixas, insolação média de 7,6 horas.dia⁻¹ e temperatura média de 18,9 °C.

Não houve interação significativa para a variável número de folhas, porém, houve significância para doses e épocas de forma independente (TABELA 5 - APÊNDICE B). Com esse resultado, evidenciou-se redução do número de folhas com o aumento do nível de adubação a partir do tratamento de 70% (FIGURA 5A). Em relação às épocas, as menores quantidades de folhas ocorreram nos períodos com condições climáticas favoráveis a doença e desfavoráveis ao cafeeiro, compreendendo julho e agosto (FIGURA 5B).

Figura 5 - Número de folhas em função dos diferentes níveis de adubação com NPK (A) e teste de Scott-Knott para as médias do número de folhas em função da época de avaliação (B) de cafeeiros em formação.



Médias seguidas de letras diferentes não são iguais no teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.
 Fonte: Da autora (2020).

Nesse sentido, foi realizada a correlação entre a AACPIC e AACPNF e, assim, constatou-se correlação significativa positiva entre as duas variáveis (TABELA 3). Dessa forma, o incremento dos níveis de adubação, apesar de proporcionar menor AACPIC, causou também a redução do número de folhas. Por isso, a desfolha estaria associada à menor incidência da doença e também ao excesso de NPK, sendo observada correlação significativa negativa dos teores foliares de K com o número de folhas (TABELA 3).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre AACPNF com a AACPIC e dos teores foliares de nutrientes com o número de folhas.

AACPIC	ABRIL			JULHO			OUTUBRO			
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
AACPNF	0,65*	NF -0,27 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,49*	-0,33 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,42*

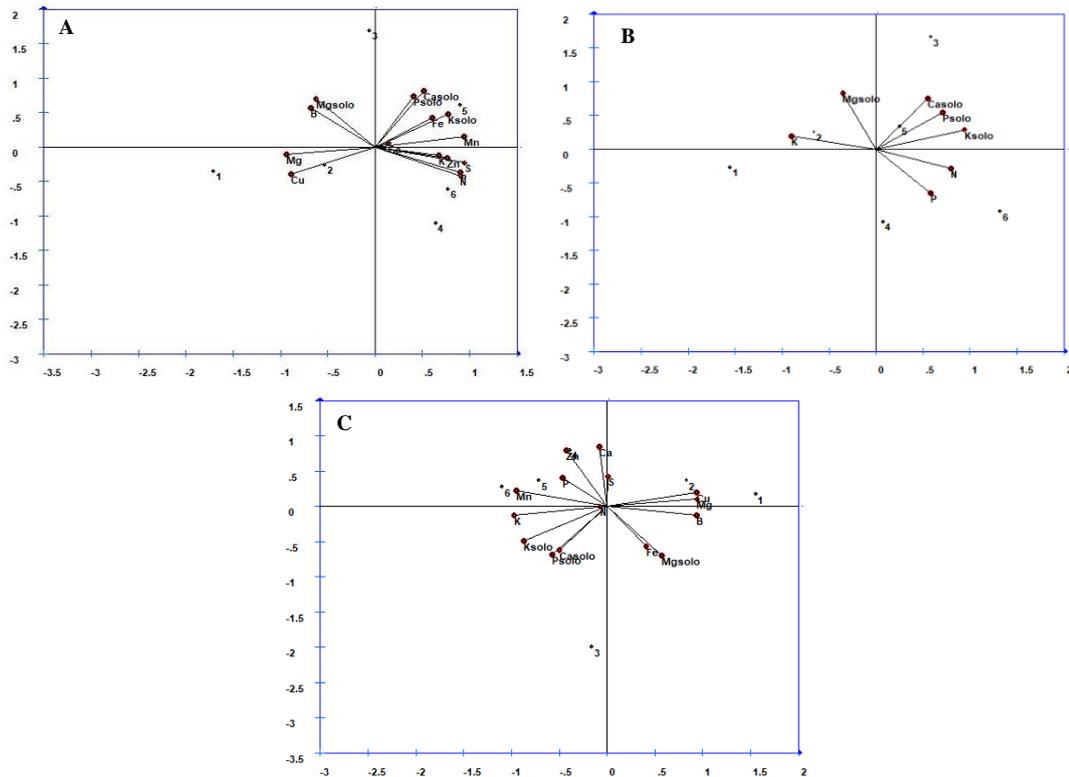
*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F, ^{ns} = Não Significativo.

AACPIC = área abaixo da curva de progresso da incidência de cercosporiose, AACPNF = área abaixo da curva de progresso do número de folhas, N, P e K = teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

Fonte: Da autora (2020).

Na análise de componentes principais para os nutrientes no solo e nas folhas, verificou-se que os teores de enxofre foliar e de cálcio no solo em abril, K e Mg no solo em julho e Ca e K foliar em outubro/2019 explicaram cerca de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos (FIGURA 6).

Figura 6 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro e segundo componente com base nos teores de nutrientes no solo e nas folhas em abril (A), julho (B) e outubro/2019 (C).



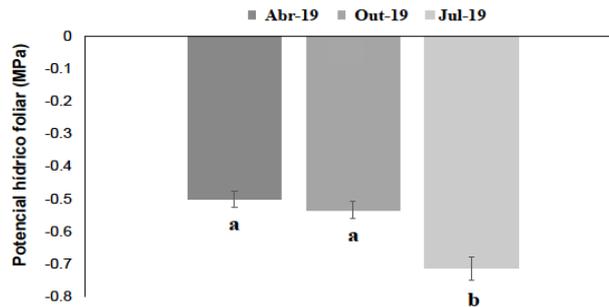
1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de NPK, respectivamente, K solo = teor de potássio no solo; P solo = teor de fósforo no solo; Ca solo = teor de cálcio no solo; Mg solo = teor de magnésio no solo; N = nitrogênio foliar; P = fósforo foliar; K = potássio foliar; Ca = cálcio foliar; Mg = magnésio foliar; S = enxofre foliar; Cu = cobre foliar; B = boro foliar; Mn = manganês foliar; Zn = zinco foliar e Fe = ferro foliar.

Fonte: Da autora (2020).

Em abril e outubro, os tratamentos referentes aos menores níveis de adubação (10, 40 e 70%) foram agrupados mais próximos do B, Cu e Mg nas folhas e no solo e também do Fe (em outubro), enquanto os maiores (100, 130 e 160%) reuniram-se mais distantes dessas variáveis. Isso pode ser explicado devido ao aumento dos teores de NPK no solo proporcionarem maiores concentrações dos mesmos nas folhas, podendo exercer influência negativa ou positiva na absorção de outros nutrientes. Observou-se comportamento semelhante em julho, com exceção do K foliar, o qual ficou mais próximo do tratamento 2. Nesse mês a absorção de nutrientes foi dificultada devido ao longo período de déficit hídrico, não havendo diferença entre as concentrações de NPK nas folhas ($p > 0,05$) (TABELA 7 - APÊNDICE B).

Desse modo, no estudo da interação entre épocas e doses para o potencial hídrico foliar, não houve dependência entre os fatores e apenas as épocas apresentaram efeito significativo (TABELA 5 - APÊNDICE B). Assim, o potencial hídrico de julho foi inferior ao das demais épocas (abril e outubro/2019) (FIGURA 7).

Figura 7 - Teste de Scott-Knott para o potencial hídrico foliar (Mpa) de cafeeiros em formação.



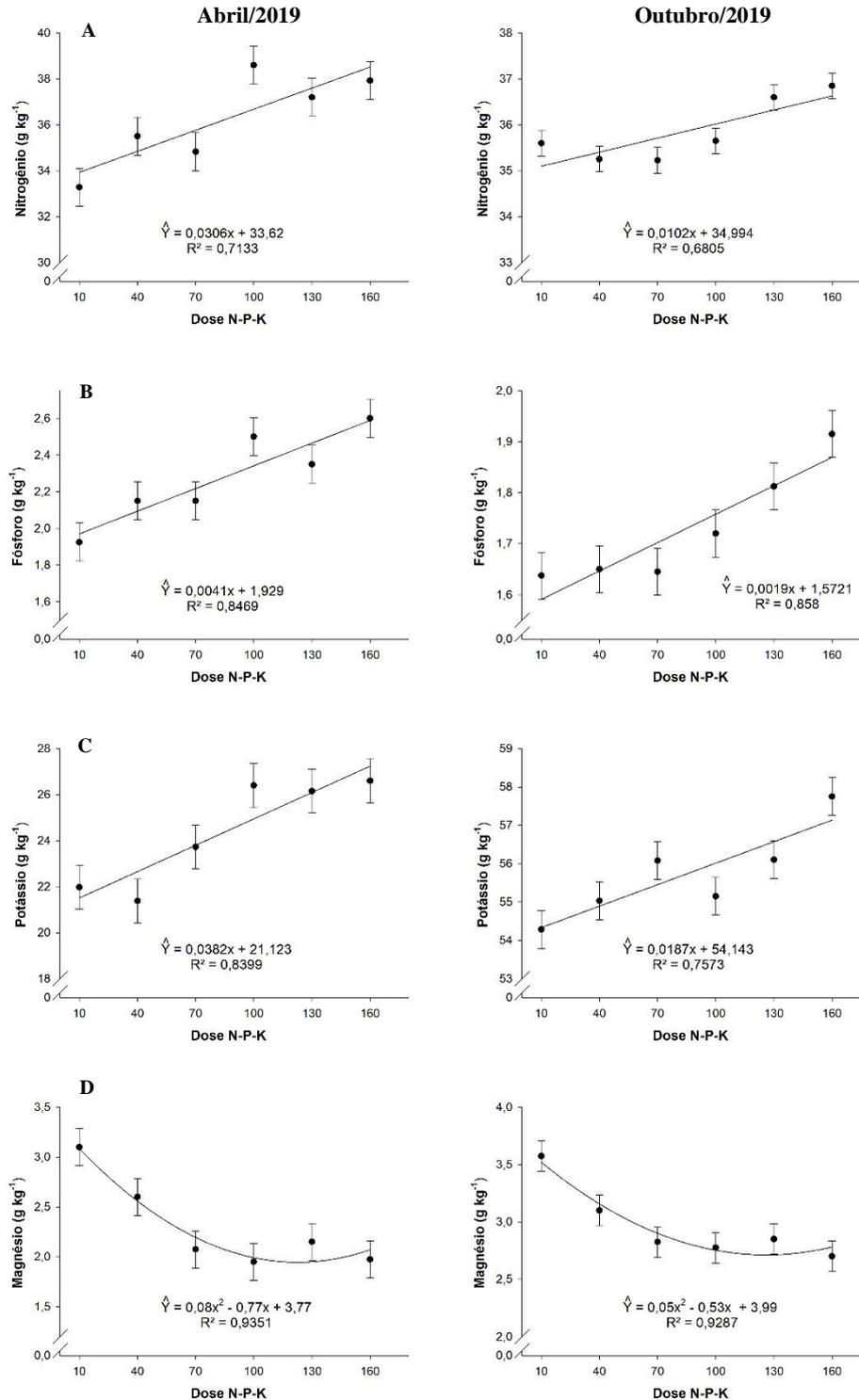
Médias seguidas de letras diferentes não são iguais no teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Em julho, houve condições desfavoráveis ao desenvolvimento do cafeeiro e maior incidência da cercosporiose, principalmente devido ao baixo volume de chuvas registrado. Entretanto, os maiores potenciais hídricos foram registrados nos períodos de boa disponibilidade de água, possibilitando a melhor absorção dos nutrientes. Diante disso, tornou-se possível a diferenciação dos tratamentos em relação aos teores foliares dos mesmos em abril e outubro/2019.

Nesse contexto, houve significância dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio em abril e outubro sem ocorrer diferença significativa para os teores foliares de cálcio (TABELAS 7 e 8 - APÊNDICE B). Desse modo, obteve-se as equações de regressão dos teores foliares dos nutrientes (FIGURA 8).

Figura 8 - Teor foliar de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e magnésio (D) em g.Kg⁻¹ em abril e outubro/2019.



Fonte: Da autora (2020).

A resposta dos teores foliares de N, P e K foram semelhantes nas duas épocas, com efeito linear e diretamente proporcional ao aumento dos níveis de adubação (FIGURA 8ABC), além de apresentarem correlação negativa com a AACPIC (TABELA 4). Os máximos teores

foliares de N, P e K em abril e outubro foram 38,6; 2,6; 27,5; 36,6; 1,9 e 57,3 g.Kg⁻¹, respectivamente.

Houve resposta quadrática do teor foliar de magnésio em relação aos tratamentos em ambas as épocas de análise. Observou-se redução do teor foliar do nutriente com o aumento do nível de adubação (FIGURA 8D). Além disso, houve correlação positiva com a AACPIC (TABELA 4).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação dos teores foliares de nutrientes com a AACPIC.

	ABRIL						OUTUBRO									
	N	P	K	Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	N	P	K	Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg
AACPIC	-0,43*	-0,55*	-0,56*	-0,04 ^{ns}	0,55*	-0,35 ^{ns}	-0,58*	0,60*	-0,53*	-0,58*	-0,52*	0,11 ^{ns}	0,46*	-0,29 ^{ns}	-0,55*	-0,34 ^{ns}

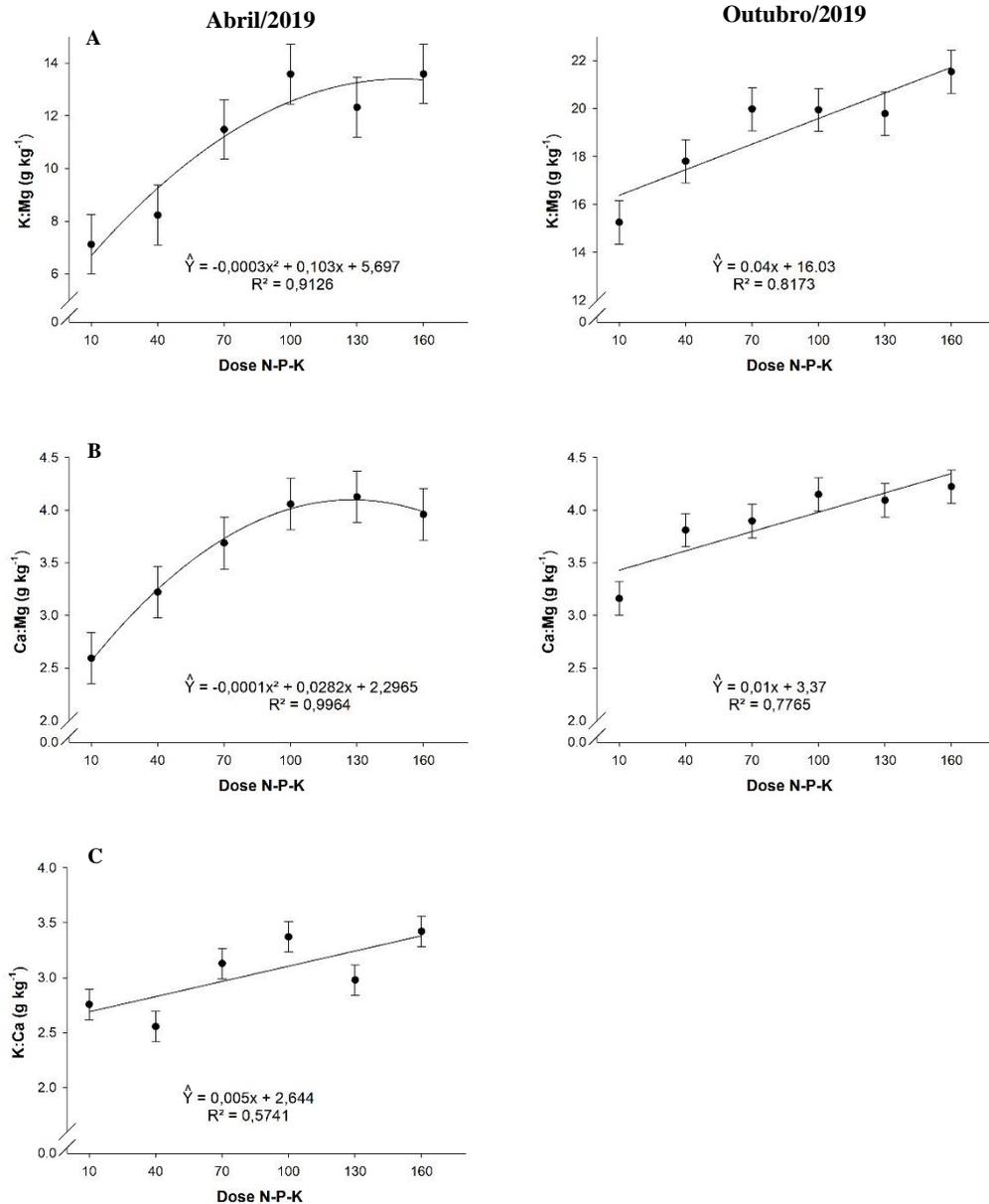
*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F, ^{ns} = Não Significativo.

AACPIC = área abaixo da curva de progresso da incidência de cercosporiose, Ca, Mg = teores foliares de cálcio e magnésio, K:Ca, K:Mg, Ca:Mg = relações foliares de potássio-cálcio, potássio-magnésio e cálcio magnésio, respectivamente.

Fonte: Da autora (2020).

Haja vista a influência dos níveis de NPK no teor foliar de outros nutrientes e na incidência da cercosporiose, realizou-se análise das relações foliares entre potássio e cálcio (K:Ca), potássio e magnésio (K:Mg) e cálcio com magnésio (Ca:Mg) em abril e outubro/2019. Com isso, constatou-se efeito significativo para K:Ca em abril e para K:Mg e Ca:Mg em abril e outubro (TABELA 8 - APÊNDICE B) (FIGURA 9).

Figura 9 - Relação entre os teores foliares de potássio e magnésio (K:Mg) (A), cálcio e magnésio (Ca:Mg) (B) e potássio e cálcio (K:Ca) (C) em g.Kg^{-1} em abril/2019 e outubro/2019.



Fonte: Da autora (2020).

Observou-se resposta linear e crescente em função do incremento das doses de NPK, para K:Ca em abril (FIGURA 9C) e K:Mg e Ca:Mg em outubro (FIGURAS 9AB). Para as demais relações analisadas constatou-se resposta quadrática com elevação do K:Mg e Ca:Mg com o aumento do nível de adubação em abril (FIGURAS 9AB). Ainda, a AACPIC foi correlacionada negativamente com K:Mg nas duas épocas e positivamente com Ca:Mg em abril (TABELA 4).

4 DISCUSSÕES

A fase vegetativa do cafeeiro compreende seu primeiro ano fenológico, nesse período a vegetação do cafeeiro é intensa e, portanto, as necessidades nutricionais e os padrões de absorção de nutrientes se diferem da fase reprodutiva, havendo aumento nas concentrações foliares de N, P e K de forma linear e crescente devido ao acúmulo de matéria seca (CAMARGO; CAMARGO, 2001; CARVALHO, 2010). Nesse sentido, o fornecimento de água e nutrientes de maneira adequada contribui para o pleno crescimento e desenvolvimento da cultura, além de reduzir a incidência e a severidade da cercosporiose, haja vista que a doença é favorecida por deficiências hídrica e nutricional (POZZA, POZZA, 2012; BELAN *et al.*, 2015; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o desbalanço entre nitrogênio e potássio provoca o acúmulo de compostos que favorecem o desenvolvimento de organismos patogênicos, assim, níveis crescentes de K (até 4 mmol.L⁻¹) podem proporcionar menor AACPIC, apenas se o Ca for fornecido. Quanto ao N, esse possui interferência direta na redução da incidência da cercosporiose (POZZA, 2000; MARSCHNER, 2012; MARTINEZ, 2014).

Diante disso, a penetração da *Cercospora coffeicola* no hospedeiro ocorre por fissuras, portanto, o potássio é de grande importância no manejo da doença, pois promove o engrossamento da parede celular e recuperação de injúrias (DORDAS, 2008; SOUZA *et al.*, 2011; TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, o aumento do K com deficiência de Ca, aumenta a intensidade dessa doença (GARCIA JR. *et al.*, 2003), assim, tem-se a importância do fornecimento equilibrado de nutrientes ao cafeeiro.

Ainda, Chaves (2015) no estudo da influência do potássio, fósforo e boro na distribuição espaço-temporal da cercosporiose em área de pivô-central, observou baixos teores foliares de P e K na área de maior infecção em 2013, bem como Alves (2006), o qual constatou o aumento da doença devido a redução da concentração de P nos tecidos. Os resultados obtidos por esses autores são semelhantes aos encontrados neste trabalho, ao ser observada a redução da AACPIC com ao aumento dos níveis de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. Isso justificaria a correlação negativa existente entre a AACPIC e os teores foliares de NPK, conforme constatado por Silva *et al.* (2019), os quais não observaram correlação significativa para o N em seu trabalho sobre distribuição espaço-temporal da cercosporiose e nutrientes no cafeeiro irrigado.

Por meio da porcentagem de incidência da doença (FIGURA 2A), pôde-se observar seu pico entre julho e agosto/2019, conforme o relatado por Chaves *et al.* (2018). Os picos da incidência podem variar de acordo com as condições climáticas da lavoura, principalmente a

insolação, como Custódio *et al.* (2010) constataram ao observarem a maior intensidade da doença entre maio e julho. De acordo com os dados meteorológicos obtidos no ano de 2019, os períodos com maior intensidade da cercosporiose foram caracterizados por baixa precipitação, temperaturas mais amenas e maiores taxas de insolação, como também constatado por Silva *et al.* (2019) ao observar pico da incidência também em agosto.

Os nutrientes possuem papel importante na formação de barreiras contra a infecção de patógenos por proporcionarem o engrossamento da parede celular e aumentarem a lignificação (MARSCHNER, 2012). Em vista disso, devido ao déficit hídrico ocorrido entre julho e agosto/2019, as plantas apresentaram menor potencial hídrico foliar (FIGURA 7) ocasionando baixa eficiência de absorção dos nutrientes, haja vista que os mesmos são transportados e translocados na planta por diferença de potencial quando na presença de água (TAIZ *et al.*, 2017). Como consequência, pode ter havido o desequilíbrio nutricional favorecendo a maior incidência do patógeno neste período, reforçando a existência de uma relação entre a escassez de água e o progresso da doença conforme observado por Santos *et al.* (2004), Barbosa Jr. *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019). Portanto, a intensidade da cercosporiose depende da disponibilidade de água e nutrientes de maneira adequada, bem como boa fertilidade do solo e nutrição equilibrada das plantas e também das condições climáticas (POZZA; POZZA, 2012; CHAVES *et al.*, 2018; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Como a cercosporiose é favorecida por maior intensidade luminosa e por temperaturas entre 10 e 25 °C (POZZA, 2010; SILVA *et al.*, 2016), o período compreendido entre julho e agosto/2019 apresentou microclima mais favorável a incidência da doença (FIGURA 2) sendo também desfavorável ao desenvolvimento do cafeeiro, principalmente devido ao tempo seco e déficit hídrico prolongado. Em suas fases iniciais, a cultura é mais sensível, pois a seca afeta o metabolismo das plantas prejudicando o desenvolvimento de raízes, crescimento e enfolhamento (ASSAD *et al.*, 2004; DAMATTA; RAMALHO, 2006; CAMARGO, 2010). Devido a isso, julho e agosto foram os meses nos quais as plantas apresentaram a menor quantidade de folhas (FIGURA 5B) e, por isso, a lavoura estava exposta a maior insolação. Custódio *et al.* (2010) encontraram resultados semelhantes aos de Silva *et al.* (2016) ao compararem a intensidade da cercosporiose em relação à face de exposição ao sol e constataram maior incidência da doença na face sujeita a maiores períodos de radiação solar.

Houve ainda, queda na incidência da cercosporiose, a partir de setembro, período no qual se observou aumento do índice de pluviométrico e da temperatura (FIGURA 2), com isso, iniciou-se as emissões de novas folhas e consequente redução da intensidade da doença (MADDEN *et al.*, 2007). Com maior enfolhamento, a exposição ao sol diminuiu, devido ao

autossombreamento entre as folhas, além de haver redução da radiação solar incidente no cafeeiro na estação chuvosa, proporcionando microclima menos favorável ao desenvolvimento do fungo, pois a toxina cercosporina, responsável pela necrose da célula vegetal, só é ativada em condições de alta intensidade luminosa (EHRENSHAFT, 2000; DAUB *et al.*, 2005; BALIZA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2016). Baliza *et al.* (2012) também constataram a redução da AACPIC em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreamento (35, 50, 65 e 90%), podendo estar relacionada ao aumento da umidade do solo e consequente melhoria na absorção de nutrientes, devido a menor exposição direta do solo ao sol.

Portanto, o número de folhas variou de forma coincidente com o comportamento da incidência da doença ao longo do período de avaliação (FIGURAS 2 e 5B). Destaca-se aumento das folhas após a redução do pico da doença, pois a infecção causa o aumento da síntese de etileno e, por consequência, do ácido abscísico, favorecendo a desfolha (VALENCIA, 1970). Custódio *et al.* (2010) e Chaves *et al.* (2018) também observaram o declínio da incidência da cercosporiose frente as mesmas condições relatadas.

Observou-se também redução significativa do número de folhas quando o nível de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio ultrapassou 130% (FIGURA 5A). Tal fato permite inferir que níveis de adubação acima desse valor não são recomendados, mesmo com o aumento dos teores foliares desses nutrientes (FIGURA 8), conforme constatado por Clemente *et al.* (2008), Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015). A presença de correlação negativa entre o potássio e o número de folhas pode ser explicada possivelmente devido ao alto índice salino do KCl, o qual em condições de excesso, pode prejudicar o crescimento inicial das plantas e como consequência o enfolhamento (ERNANI *et al.*, 2007). Portanto, nas plantas dos tratamentos de doses mais elevadas (acima de 100%) haviam poucas folhas, podendo estar associado tanto ao excesso de adubação quanto à intensa desfolha ocasionada devido a infecção da doença, e por isso, constatou-se correlação positiva entre a AACPIC e AACPNF (TABELA 3). De acordo com Chaves (2015), em períodos cujo enfolhamento chegou a 0% a incidência da cercosporiose também foi nula.

Assim, houve a redução da AACPIC com o aumento do nível de adubação, havendo, porém, perda significativa de folhas, apesar do aumento dos teores foliares de N, P e K (FIGURA 8). Desse modo, as folhas são importante fonte de fotoassimilados para o enchimento de grãos (TAIZ *et al.*, 2017). Logo, a redução do número de folhas, bem como a menor concentração de nutrientes nas mesmas, irão ocasionar prejuízos a longo prazo no cafeeiro, como redução da produtividade e aumento da suscetibilidade à cercosporiose (PINTO, 2012; PINTO *et al.*, 2013; BARBOSA JR. *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Buscando-se, portanto, os menores valores de AACPIC, e visando a manutenção das plantas enfolhadas, doses próximas a 100% parecem ser ideais. Visto isso, por ser uma cultura perene, o desequilíbrio nutricional prejudicará o florescimento e frutificação do cafeeiro no ano seguinte. Por isso, a adubação deve ser suficiente para o crescimento dos ramos plagiotrópicos que frutificarão no próximo ano, pois o café necessita vegetar em um ano para produzir bem no próximo (RENA; MAESTRI, 1986; CUNHA *et al.*, 2010).

À vista disso, os nutrientes podem interagir entre si no solo devido aos processos de absorção radicular, logo, o fornecimento de determinado elemento em excesso pode prejudicar a absorção de outro (CANTARELLA, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010). Portanto, o aumento do nível de adubação com NPK acima da recomendação padrão, interfere na concentração foliar de outros nutrientes.

Desse modo, o magnésio foliar apresentou correlação positiva com a AACPIC e também resposta quadrática, com redução com o aumento do nível de adubação com NPK (FIGURA 8). Isso pode ser explicado devido a competição entre o K e Mg por mesmos sítios de absorção na membrana plasmática, com isso, o maior teor de K no solo ocasiona maior absorção do cátion, reduzindo a absorção de outros nutrientes como Ca e Mg (ERNANI *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010).

A competição entre os íons K^+ e Mg^{2+} exerce influência também na relação K:Mg, provocando desbalanço. A relação na planta pode variar (7-10 g.Kg⁻¹), porém, quando alcança teores de 15-20 g.Kg⁻¹, há deficiência de Mg induzida devido ao excesso de K (VITTI *et al.*, 2006). Isso pode ser observado devido ao aumento do K:Mg com o aumento dos níveis de adubação com NPK, atingido valores superiores a 15 g.Kg⁻¹ no tratamento de 160%, principalmente em outubro/2019 (FIGURA 9). No entanto, em abril/2019, o nível de adubação de 100% manteve a relação K:Mg adequada de acordo com Vitti *et al.* (2006). O K:Mg apresentou correlação negativa com a AACPIC. Segundo Barbosa Jr. *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019), o desbalanço nutricional é favorável à cercosporiose.

Dessa forma, analisou-se também o Ca:Mg com resposta quadrática, havendo aumento da relação com o aumento do nível de adubação em abril, além de correlação positiva com a AACPIC. Ademais, as relações entre Ca:Mg em outubro e K:Ca apresentaram resposta linear e crescente. Possivelmente, o aumento dos níveis de K no solo diminuiriam a absorção radicular do Mg, sendo superior à inibição do Ca, devido a 'inibição competitiva' relatada por Carvalho *et al.* (2010), interferindo assim, no aumento das relações.

De acordo com Belan *et al.* (2015), entre os elementos analisados em seu trabalho sobre a distribuição de nutrientes no tecido foliar do cafeeiro, em função de doenças, somente o

potássio e o cálcio apresentaram gradiente de distribuição entre tecidos saudáveis e infectados com diferentes agentes causadores de doenças do cafeeiro, dentre eles a *Cercospora coffeicola*. Com isso, o potássio e o cálcio são nutrientes fortemente relacionados com a defesa contra patógenos, principalmente por promoverem resistência das paredes celulares e dos tecidos, além do Ca ser mensageiro secundário na resposta de plantas às infecções (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017).

Alguns micronutrientes também podem ter sua concentração foliar influenciada por maiores doses de NPK. Elevados teores de N e P no tecido foliar podem proporcionar redução da absorção de B e induzirem a deficiência de Cu. Ambos apresentam função importante nos mecanismos de resistência horizontal de plantas à infecções fúngicas, por estarem envolvidos em diversos processos fisiológicos, como no transporte de açúcares para a fotossíntese. Ainda, o B auxilia o Ca na estruturação da parede celular e estabilidade da membrana plasmática e proporciona maior AACPIC quando seu baixo fornecimento é associado a doses de K acima de 200 Kg.ha⁻¹ (MALAVOLTA *et al.*, 1997; DORDAS, 2008; CARVALHO *et al.*, 2010; CHAVES, 2015).

Logo, os níveis acima ou abaixo de 100% proporcionaram desequilíbrios nas concentrações foliares de outros macro e micronutrientes devido às interações descritas por Malavolta *et al.* (1997), Vitti *et al.* (2006), Ernani *et al.* (2007) e Carvalho *et al.* (2010). Portanto, a nutrição equilibrada é essencial na fase de formação do cafeeiro, pois adubações em níveis inferiores a 100% da adubação padrão, podem comprometer os teores foliares e, conseqüentemente, o crescimento e a frutificação (PINTO, 2012). Entretanto, adubações acima de 100%, mesmo com a redução da AACPIC, podem ocasionar a desfolha significativa das plantas. Portanto, o nível de adubação de 100% favoreceu a redução da AACPIC, mantendo o enfolhamento e o equilíbrio com os demais nutrientes no cafeeiro. Deve-se considerar também, que o comportamento da cercosporiose pode ser variável de acordo com as condições climáticas.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com os resultados apresentados, o equilíbrio nutricional e a disponibilidade de água de maneira adequada são essenciais no manejo da cercosporiose e no desenvolvimento do cafeeiro. Ressalta-se que doses mais elevadas proporcionaram a redução do número de folhas e influenciaram negativamente nas concentrações foliares de outros nutrientes. Ademais, doses abaixo de 100% da recomendação padrão com NPK proporcionaram baixos teores desses nutrientes nas folhas, além de causarem o aumento da AACPIC. Portanto, atenta-se para o fornecimento de nutrientes visando a manutenção de mais folhas, bem como a redução da incidência da cercosporiose.

Assim, destaca-se a importância da recomendação de adubação de forma equilibrada e eficiente no primeiro ano de formação da lavoura cafeeira, pois devido ao café ser uma cultura perene, a falta ou excesso de nutrientes na fase inicial poderão prejudicar o seu desenvolvimento a longo prazo.

6 CONCLUSÕES

O pico de incidência da cercosporiose ocorreu entre julho e agosto, coincidente com períodos de menores temperaturas, índice pluviométrico e umidade relativa e maior insolação, caracterizado também por menor potencial hídrico foliar.

A maior e menor AACPIC ocorreram nos tratamentos de 10% e 160%, respectivamente. No entanto, houve redução do número de folhas com o aumento do nível de adubação, a partir do tratamento de 70%. Ou seja, a redução no número de folhas foi acompanhada por menor incidência da doença. Logo, deve-se atentar para a adubação equilibrada visando obter mais folhas e menor incidência de doenças.

Portanto, o nível de adubação de 100% favoreceu a redução da AACPIC, mantendo o enfolhamento e o equilíbrio com os demais nutrientes no cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.D.C. **Geoestatística e sistemas 'fuzzy' na proteção de plantas**. 2006. 192 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras Lavras, MG, 2006.
- ASSAD, E.D. *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1057-1064, 2004.
- BALIZA, D.P. *et al.* Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 37-43, 2012.
- BARBOSA JUNIOR, M.P. *et al.* Brown eye spot in coffee subjected to different drip irrigation and fertilization management. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.], v. 48, n. 3, p. 245-252, 2019.
- BELAN, L.L. *et al.* Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathology**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 105-111, 2015.
- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CAMARGO, M.B.P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 239-247, 2010.
- CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. John Wiley & Sons, 1990. 532 p.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: SBCS. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. p. 375-470.
- CARVALHO, J.G. *et al.* Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R.J. *et al.* (Eds.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 31-68.
- CHAVES, E. *et al.* Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. **Journal of Phytopathology**, [s.l.], v. 166, n. 9, p. 613-622, 2018.
- CHAVES, E. **Potássio, fósforo, boro e irrigação na distribuição espaço-temporal da cercosporiose do cafeeiro**. 2015. 157 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2015.
- CHAVES, G.M. *et al.* **A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)**. Revisão de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Viçosa: Seiva, 1970.
- CLEMENTE, F.M.V.T. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio-primeiro ano. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47- 57, 2008.

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Café**. Levantamento de safra de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- CRUZ, C.D. *et al.* **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620 p.
- CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CUNHA, J.F. *et al.* Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. IPNI. International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas nº 130**, junho, 2010.
- CURI, N.C. *et al.* **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: Sociedade Brasileira de Solo, 2017.
- CUSTÓDIO, A.A. de P. *et al.* Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, set./dez. 2010.
- 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.
- DAUB, M.E. *et al.* Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **Fems Microbiol Lett**, [s.l.], n. 252, p. 197-206, 2005.
- DAUB, M.E.; EHRENSHAFT, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: Contributions to plant disease and fundamental biology. **Annu Rev Phytopathol**, [s.l.], n. 38, p. 461, 2000.
- DORDAS, C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, n.1, p. 33-46, 2008.
- ERNANI, P.R. *et al.* Potássio. In: SBCS. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 551-594.
- GARCIA JUNIOR, D. *et al.* Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, [s.l.], v. 28, p. 286-291, 2003.
- GONÇALVES, S.M. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 33, n. 3, p. 743-752, 2009.
- MADDEN, L.V. *et al.* **The study of plant disease epidemics**. Minnesota: The American Phytopathological Society, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London Academic: Petra, 2012.

MARTINEZ, H.E.P. *et al.* Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, nov./dez. 2014.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ- VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

PEARSON, K. “On the probability that two independent distributions of frequency are really samples of the same population, with special reference to recent work on the identity of trypanosome strains”. **Biometrika**, [s.l.], v.10, p. 85-143, 1914.

PINTO, C.G. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio, **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 530-538 out./dez. 2013.

PINTO, C.G. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós-plantio**. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

POZZA, A.A.A. *et al.* Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, A.A.A. *et al.* Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, [s.l.], v. 26, p. 29-34, 2000.

POZZA, E.A. *et al.* Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R.J. *et al.* (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-101.

POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A.K.F.M.; OGOSHI, C.; PERINA, F.J.; SILVA, G.M.; NEENTO, H.S.; COSTA, L.S.A.S.; ALENCAR, N.E.; MARTINS, S.J.; TERRA, W.C.; ZANCAN, W. L.A. (Eds.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos, SP: Suprema, 2012. p. 259- 282.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 26 mar. 2020.

REIS, P.R.; CUNHA, R.L. (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: U. R. EPAMIG SM, 2010. v.1. 895 p.

- 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.
- SANTOS, F.D.S. *et al.* Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 43, p. 783-791, 2008.
- SANTOS, F.D.S. *et al.* Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. **Summa Phytopathologica**, [s.l.], v. 30, p. 31-37, 2004.
- SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slowmilde wing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, Feb. 1977.
- SILVA, M.G. da *et al.* Effect of light and temperature on *Cercospora coffeicola* and *Coffea arabica* pathosystem. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 148 - 160, abr./jun. 2016.
- SILVA, M.G. da *et al.* Spatio-temporal aspects of brown eye spot and nutrients in irrigated coffee. **European journal of plant pathology**, [s.l.], v. 153, n. 3, p. 931-946, 2019.
- SOUZA, A.G.C. *et al.* Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. **J Phytopathol**, [s.l.], n. 159, p. 6-11, 2011.
- TAIZ, L. *et al.* **Physiology and plant development**. Porto Alegre: Artmed, 2017. v. 858.
- UCHÔA, C.de.N. *et al.* Modelagem geoestatística da sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Biosci J.**, [s.l.], v. 27, p. 357-362, 2011.
- USDA. Foreign Agricultural Service. Coffee: World Markets and Trade. **Coffee: World Markets and Trade**, April, p. 1-9, 2019. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- VALENCIA, A.G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v. 21, n. 3, p. 105-114, Sept. 1970.
- VASCO, G.B. *et al.* Incidência da cercosporiose em frutos de cafeeiro: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38 - 45, jan./mar. 2015.
- VASCO, G.B. *et al.* Interaction of K and B in the Intensity of Coffee Rust in Nutrient Solution. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 238 - 244, apr./jun. 2018.
- 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.
- VITTI, G.C. *et al.* Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: SBCS. (Eds.) FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS L.A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa, MG. 2006. p. 299-326.

APÊNDICE B

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da interação dose x época para incidência de cercosporiose, número de folhas e potencial hídrico foliar (MPa). Lavras-MG, 2020.

FV	QUADRADOS MÉDIOS			QUADRADOS MÉDIOS		
	GL	Incidência de cercosporiose	Número de folhas	GL	Potencial hídrico foliar	
Dose	5	261,41	766,08*	5	0,03	
Bloco	3	558,86	361,72	3	0,08	
Época	14	7071,82	14834,87*	2	0,31*	
Dose*Época	70	218,53*	63,41 ^{ns}	5	0,04 ^{ns}	
Erro	267	142,32	90,87	51	0,03	
Total	359			71		
CV (%)		40,98	38,12		29,35	

*:Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 6 - Desdobramento de doses dentro de cada nível de época. Lavras-MG, 2020.

FV	Incidência de cercosporiose	
	GL	QM
Dose/Época 1	5	70,29 ^{ns}
Dose/Época 2	5	69,14 ^{ns}
Dose/Época 3	5	295,99 ^{ns}
Dose/Época 4	5	106,73 ^{ns}
Dose/Época 5	5	154,64 ^{ns}
Dose/Época 6	5	410,94*
Dose/Época 7	5	805,63*
Dose/Época 8	5	685,34*
Dose/Época 9	5	264,59 ^{ns}
Dose/Época 10	5	221,85 ^{ns}
Dose/Época 11	5	123,01 ^{ns}
Dose/Época 12	5	62,07 ^{ns}
Dose/Época 13	5	40,18 ^{ns}
Dose/Época 14	5	3,17 ^{ns}
Dose/Época 15	5	7,29 ^{ns}
Erro	267	142,32

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da incidência de cercosporiose (AACPIC) e do número de folhas (AACPNF) e dos teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Lavras-MG, 2020.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		ABRIL			JULHO			OUTUBRO				
		AACPIC	AACPNF	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Doses	5	7538216,93*	278,07 ^{ns}	16,54*	0,25*	21,91*	5,75 ^{ns}	0,02 ^{ns}	56,30 ^{ns}	9,66*	0,05*	5,83*
Bloco	3	3847106,04	41,20	11,83	0,04	0,33	1,36	0,21	125,79	5,17	0,01	2,27
Erro	15	1520915,79	147,66	3,71	0,03	0,46	3,20	0,02	49,88	9,56	0,01	1,97
Total	23											
CV (%)		25,27	18,76	5,31	7,16	2,77	4,71	7,02	2,65	2,23	6,64	2,52

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância de teores foliares de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e das relações potássio-cálcio (K:Ca), potássio-magnésio (K:Mg) e cálcio-magnésio (Ca:Mg) em g.Kg⁻¹ em de abril/2019. Lavras-MG, 2020.

QUADRADOS MÉDIOS											
FV	GL	ABRIL					OUTUBRO				
		Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg
Doses	5	0,77 ^{ns}	0,83*	0,47*	30,42*	1,43*	0,28 ^{ns}	0,42*	0,11 ^{ns}	19,54*	0,61*
Bloco	3	0,45	0,03	0,05	1,19	0,15	0,93	0,07	0,20	1,56	0,07
Erro	15	0,55	0,04	0,10	1,26	0,05	1,32	0,07	0,30	2,85	0,17
Total	23										
CV (%)		9,18	8,17	10,28	10,17	6,26	10,06	8,55	11,09	8,87	10,67

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2020).

CAPÍTULO 4 NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON THE INCIDENCE OF BROWN EYE SPOT IN COFFEE CROP IN VEGETATIVE STAGE

Marina Scalioni Vilela^a, Lais Sousa Resende^b, Edson Ampélio Pozza^c, Pedro Menicucci Netto^a, Karolaine de Cassia Roteli^d, Rubens José Guimarães^e

^a Postgraduate Program in Agriculture, plant production, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 3037, 37200-900, Brazil, marinasv3p@gmail.com, pedromenicucci2010@hotmail.com.

^b Postgraduate Program in Agriculture, plant production, Luiz de Queiroz School of Agronomy (ESALQ / USP), Piracicaba, São Paulo, 9 13418-900, Brazil, sialresende@gmail.com.

^c Department of Phytopathology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 3037 37200-900, Brazil, edsonpozza@gmail.com.

^d Undergraduate student in Agronomy, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 3037, 37200-900, Brazil, karolroteli@hotmail.com.

^e Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 3037 37200-900, Brazil, rubensjg@ufla.br.

Highlights

- Coffee crops, vegetative stage, are more sensitive to climatic variations and infection by pathogens.
- The incidence of brown eye spot in coffee trees, in vegetative stage, is influenced by climatic conditions, water availability and nutrients.
- There is a correlation between the disease intensity and the foliar nutrient content with the number of leaves of the coffee tree.
- Foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium influence the progress of the disease, as well as the foliar levels of other nutrients.

ABSTRACT

Balanced plant nutrition is one of the most limiting factors for the full growth and development of the coffee tree. Allied to nutritional deficiencies are diseases such as brown eye spot (BES - *Cercospora coffeicola*), mainly influenced by potassium. Thus, the aim of this study was to evaluate the different effects of fertilization levels with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), denominated NPK, on the incidence of BES in rainfed coffee plantations that are in vegetative stage. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar Mundo Novo IAC 379/19. The experimental design was randomized blocks, with six treatments and four replications. The fertilization levels used were 10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization recommended for NPK. The incidence of BES and the number of coffee leaves in the period from May to December 2019 were evaluated, with intervals of 15 days between evaluations. The area under incidence (AUIPC) and number of leaves progress curve (AUNLPC) was performed. Water potential and foliar chemical analysis were performed in April/2019, July/2019 and October/2019. The highest AUIPC was detected in plants with lower levels of fertilization. However, there was a reduction in the number of leaves due to the increase in the dose of NPK. A positive correlation was found between AUIPC and AUNLPC. A significant interaction between the evaluation period and fertilization levels for the incidence of BES was observed, with a difference between treatments in the evaluations of July 31, August 15 and August 30, 2019. The lowest leaf water potential occurred in July, when there was a greater intensity of the disease. The levels of NPK fertilization influenced their concentrations in the leaves, as well as other nutrients. The fertilization level of 100% favored the reduction of AUIPC, maintaining more leaves and the nutritional balance in coffee plants.

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke.

1 INTRODUCTION

Coffee crop has great relevance in the Brazilian agricultural scenario. The country is the world's largest producer and exporter (USDA, 2019). In the 2020, it is expected to harvest 62.02 million 60Kg bags of green coffee in an estimated area of 2.16 million hectares. Minas Gerais is the main producing state in Brazil, with approximately 52% of national production, in which there is a predominance of *Coffea arabica* plantations (CONAB, 2020).

Several factors can reduce the productivity of coffee growing, with emphasis on inadequate nutrition, which consequently favors the susceptibility of these plants to the diseases (Santos et al., 2008; Marschner, 2012; Silva et al., 2019). Among them, stands out the brown eye spot (BES), whose causal agent is the fungus *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke. This disease causes damage at all stages of coffee plants. In the vegetative stage BES causes defoliation and growth delay (Pozza, 2010; Silva et al., 2016).

In this context, the phenological cycle of coffee comprises two years, with the vegetative or formation stage in the first and the reproductive in the second. Thus, in one year there is a growth in the plagiotropic branches that will produce coffee only in the following year. In case of the formation of coffee crop or after planting seedlings in the field, in the first year vegetative growth occurs and only in the subsequent year does the crop enter the reproductive or production stage. Therefore, the first year in the field is the most sensitive period for coffee plants, in which there is accumulation of dry matter and the nutrient absorption patterns are different from those of the reproductive phase, with an increase in the concentrations of N, P and K in a linear manner (Assad et al., 2004; Camargo; Camargo, 2001; Carvalho, 2010).

In this way, soil fertility and plant nutrition are important for the full coffee tree development, as well as in the management of BES, as they help in formation of horizontal resistance barriers. These barriers are related to the cell wall thickening, increased wax layer in the cuticle and recovery from injuries (Marschner, 2012; Taiz et al., 2017; Silva et al., 2019).

Potassium and calcium are studied by several authors in relation to their influence on BES. According to Garcia Jr et al. (2003), Santos et al. (2008) and Marschner (2012) the supply of these nutrients in a balanced way had a positive effect on the management of the disease. In addition, according to Belan (2015) the two elements showed a concentration gradient in the tissues infected by necrotrophic pathogens, in which there was an accumulation of calcium in the lesions and potassium around them.

The excess of nitrogen and the potassium deficiency increase the amino acid content in the leaf exudates and when associated with lower levels of P, they compromise the synthesis

of secondary metabolites, increasing the host's susceptibility (Marschner, 2012; Martinez et al., 2014). On the other hand, not following a pattern, excessive doses of K and low supply of N cause an increase in the severity of brown eye spot (Pozza et al., 2001; Garcia Jr et al., 2003).

For that reason, balanced fertilization is essential in the disease management, as it is a sustainable and easily accessible form for all coffee producers. The vegetative stage is important in this context, considering that damage in this period can impair the development of the crop in the long term. Besides that, the study of coffee trees in early stages and in the field are scarce, because many are nurseries and greenhouses simulations, or extrapolation of the data obtained from crops in the production phase (Pozza et al., 2001; Garcia Jr et al., 2003; Santos, 2008; Vasco et al., 2015; 2018; Barbosa Jr et al., 2019; Silva et al., 2019).

In this way, the aim of this study was to evaluate the effects of different levels of fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium on the incidence of brown eye spot and on the number of leaves of the rainfed coffee crop in vegetative stage.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Experimental area characterization

The experiment was installed in December 2018 in an experimental area of 0.11 hectares in Lavras municipality, at Minas Gerais State, southeast Brazil, at 21°13'33.2"S latitude, 44°58'18.7"W longitude and 970 m altitude. The climate is humid subtropical classified as Cwa, but it has Cwb characteristics with dry winters and rainy summers, according to the Köppen classification (Sá Júnior et al., 2012). The dry season occurs from April to September while the rainy season occurs from October to March. The annual average temperature is 19.4°C, with minimum of 14.4°C and maximum of 21.6°C. The soil of the experimental area was classified as dystrophic red latosol with clayey texture (Curi et al., 2017).

Before implementing the experiment, in August 2018, soil samples for chemical analysis were collected in the experimental area of 0.11 hectares in layers of 0 to 20 and 20 to 40 centimeters deep (Table 1). Along the works, 10 simple samples were collected to form a compound sample at each collection depth. The analysis was carried out before the treatments were characterized.

Characteristic	0-20 cm	20-40 cm	Characteristic	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	OM - (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

PH = hydrogen potential, P-rem = remaning phosphorus, P = phosphorus, K = potassium, Ca = calcium, Mg = magnesium, Al = aluminium, H+Al = potential acidity, T = cation exchange capacity at pH 7.0, V% = percentage of base saturation, m = percentage of aluminium saturation, OM = organic matter, Zn = zinc, Fe = iron, Mn = manganese Cu = copper, B = boron, S = sulphur.

Table 1- Chemical characterization of the soil before the differentiation of treatments, in the area where the experiment was installed.

In September 2018, the liming of the soil was carried out in a total area to correct soil acidity according to Guimarães et al. (1999). It was applied 750 kg.ha⁻¹ of dolomitic limestone with 38.5% of CaO and 10.9% of MgO maintaining the relation of Ca:Mg in the soil of 4:1. The limestone was incorporated at a depth of 30 centimeters through a tillage.

To carry out the planting, the soil was furrowed at 30x50 cm in depth and width, following the level of the land. Complementary lime was applied to the furrows at a dose of 40g.m⁻¹ according to the recommendations of Guimarães et al. (1999) being homogeneously incorporated into the soil with a 3-stem subsoiler. The row planting was made with pits in the dimensions of 40x40x40 cm in length, width and depth in the furrows. The experiment was implemented on December 11, 2018, with *Coffea arabica* L. seedlings, Mundo Novo IAC 379/19 cultivar at a spacing of 3.5 m between rows by 0.55 m between plants in the row.

Phytosanitary treatment was carried out aiming at the management of weeds by the application of pre and post emergent herbicides registered and indicated for the predominant target plants at the site, in addition to weeding and mechanical mowing. To control coffee pests, products registered for coffee crops were used following the guidelines for a sustainable agriculture (Reis and Cunha, 2010).

2.2 Treatments and experimental design

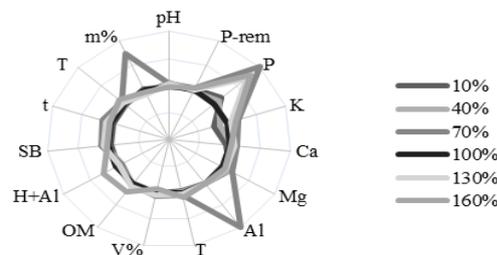
The experimental design was in randomized blocks, containing six levels of fertilization and four replicates, totaling 24 plots. Each block consisted of three adjacent rows. The plots were composed of eight plants, with the six central plants used for measurements. Therefore, the experiment had 576 plants in an area of 0.11 ha.

The treatments correspond respectively to the levels of 10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization, recommended by Guimarães et al. (1999) in the vegetative stage. The levels considered standard were 80 grams of P_2O_5 per seedling in the planting hole and 10 grams of K_2O and 5 grams of N per plant and per application, in surface. Two applications of N and K_2O were carried out in January and February/2019. The sources used were super simple phosphate (18% P_2O_5), urea (44% N) and potassium chloride (58% K_2O).

Treatment	SS (g.hole ⁻¹)	Ureia (g.plants ¹)	KCl (g.plants ⁻¹)
10	44	1.1	1.7
40	177	4.4	6.8
70	311	7.7	12.0
100	444	11	17.2
130	577	14.3	22.3
160	710	17.6	27.2

Table 2- Contents of simple super phosphate (SS), urea and potassium chloride (KCl) per application used in each treatment when planting the crop.

In September/2019, soil sampling was carried out to analyze each treatment, without repetition (Table 3). The dose calculation of N and K was performed based on the level of 100% of the standard fertilization recommended for coffee trees in the first year after planting (Guimarães et al., 1999). The standard dose (100%) was 10g of N and 10g of K_2O divided into 3 applications. The sources used were urea (44% N) and potassium chloride (58% K_2O).



pH = hydrogen potential, P-rem = remaining phosphorus, P = phosphorus, K = potassium, Ca = calcium, Mg = magnesium, Al = aluminium, H+Al = potential acidity, t = effective cation exchange capacity, T = cation exchange capacity at pH 7.0, SB = sum of bases, V% = percentage of base saturation, m = percentage of aluminium saturation, OM = organic matter.

Figure 1- Fertigram of the chemical characterization of the soil after differentiation of treatments at a depth of 0-20 cm.

2.3 Disease assessments

Fifteen assessments were performed at 15 days intervals between them, from May to December 2019, due to the small time interval of the vegetative stage of the coffee tree. The incidence of brown eye spot and the number of leaves were evaluated.

The foliar water potential, soil and leaves chemical analysis and collection of meteorological data were also carried out during the evaluation period.

2.3.1 Brown eye spot incidence and number of leaves assessment

The brown eye spot incidence was assessment in a non-destructive way (Lima, 1979). The incidence percentage was determined based on the number of leaves with symptoms in relation to the total leaves of each plant, according to Equation 1 (Campbell; Madden, 1990).

$$I (\%) = \left(\frac{NFD}{NTF} \right) * 100$$

(Equation 1)

where:

I (%) = incidence;

NFD = number of sick leaves;

NTF = total leaves of each plant;

The data obtained from the BES incidence assessment and the total number of leaves, over the time, were integrated into an area under the incidence (AUIPC) and the number of leaves progress curve (AUNLPC) (Shaner; Finney, 1977) (Equation 2).

$$AUPC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i)$$

(Equation 2)

where:

AUPC = area under incidence (I) or number of leaves (NL) progress curve;

Y_i = proportion of disease in the ith observation;

T_i = time in days of the ith observation;

n = total number of observations.

2.3.2 Foliar water potential

The foliar water potential (Ψ_w - MPa) was evaluated in April, July and October/2019 in the morning (3:00 am to 5:00 am), with a Scholander pressure bomb[®] (model 1000, PMS Instrument Company) with operation of up to 70 bar. One leaf was collected per useful plot, which was fully expanded, located in the third or fourth pair and free from injuries. The days for data collection were those without rain.

2.3.3 Foliar analysis

The leaves were collected from the branch located in the middle third of the plant, with a healthy appearance and fully expanded, being sampled 15 to 20 leaves per plot randomly, located in the third or fourth pair, from the apex of plagiotropic branches (Martinez et al., 1999). After collected (in April, July and October/2019), the samples were packed in paper bags and sent for laboratory analysis.

2.3.4 Climate data

The data of maximum, average and minimum temperatures, insolation, precipitation and relative humidity of the air were obtained from the main climatological station of Lavras municipality, Minas Gerais State, Brazil, located on the campus of the Federal University of Lavras (UFLA), belonging to the 5th District in Meteorology, of the agreement between the National Meteorological Institute (INMET) and UFLA.

2.4 Statistical analysis

The data obtained were submitted to the assumptions of ANOVA, in order to verify the normality, homoscedasticity and independence of the errors and additivity of the model by the Shapiro-Wilk, Bartlett, Durbin-Watson and Tukey's Additivity tests, respectively.

Data statistical analyzes were performed using R software version 3.6.3 (R Development Core Team, 2020). The AUIPC, AUNLPC and foliar nutrient content data were subjected to analysis of variance and when significant ($p < 0,05$), linear and non-linear regression models were adjusted.

Due to the performance of evaluations for several time periods during the conduction period of the experiment, the interaction study between periods and fertilization levels was made for the incidence of BES, number of leaves and foliar water potential in the factorial scheme of analysis of variance.

Because of the nature of the data obtained (general average of each treatment), it was decided to perform graphic analysis by means of main components to verify the behavior of the chemical analysis of soil and leaves. Thus, the data were gathered based on scores of the first and second components, which should explain about 80% of the variability between the representative samples of the treatments (Cruz et al., 2011). The analyzes were performed using the GENES software (Cruz, 2013).

In addition, Pearson's correlation analysis of AUIPC with foliar nutrient content and with AUNLPC was performed. Also, the correlation analysis between the number of leaves and the nitrogen, phosphorus and potassium foliar contents was performed in April, July and October.

3 RESULTS

To the coffee plants in a vegetative stage, the brown eye spot incidence progress curve and the number of leaves was influenced by climatic conditions (Figure 2). There was a peak of disease incidence and a lower number of leaves between July and August/2019 with a drastic reduction in the intensity and emission of new leaves from September/2019.

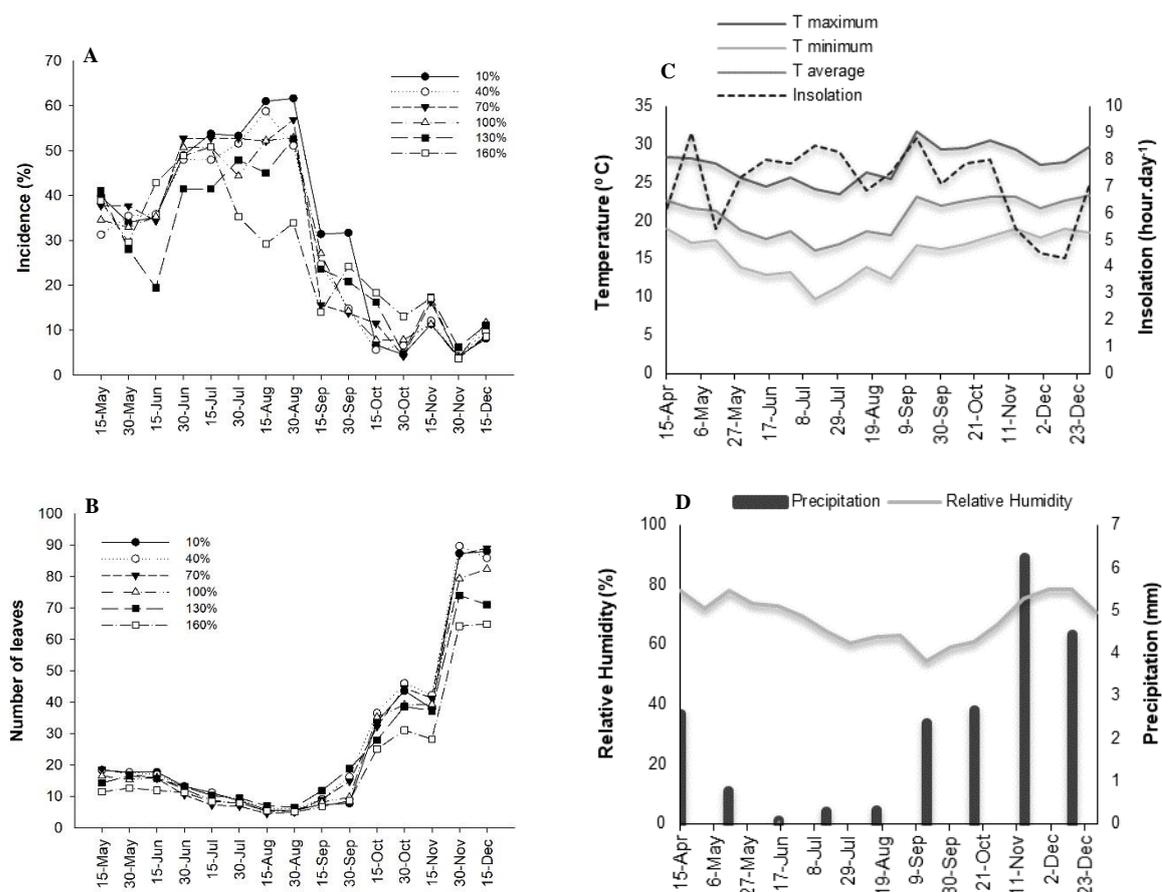


Figure 2 - Progress curve for the brown eye spot incidence (%) (A) and the number of leaves (B), maximum (T maximum), average (T average), minimum (T minimum) temperature data (°C), insolation (hours.days⁻¹) (C) and relative humidity (%) fortnightly and monthly precipitation (mm) (D) obtained from Lavras main weather station in the April to December/2019.

The periods of greater disease intensity were characterized by monthly precipitation averages of 0.3 mm, relative humidity of 60% and maximum, average and minimum temperatures of 24.6, 17.2 and 11.7°C, respectively, in addition to high insolation, with an average of 8 hours.day⁻¹. There was a decrease in the BES incidence from September/2019 at the beginning of the rainy season, with a monthly average of 2.4 mm, reaching the highest index of precipitation of the year in November with an average of 6.3 mm. In addition, there was an increase in temperatures with a maximum of 30.5 °C, an average of 22.5 ° and a minimum of 16.5 °C and a reduction in insolation in November, which reached an average of 5 hours.day⁻¹. Greater stability of the disease progress curve was noted from October/2019, thereby greater number of leaves due to the increase in the rainfall index (2.7 mm) and reduction in the period of exposure to the sunlight.

There was no significant difference for AUNLPC. However, there was a significant effect on AUIPC ($p < 0.05$), (Figure 3). Therefore, the lowest AUIPC (3097) occurred at the level of 160%, decreasing by 54.6% compared to the highest by 10% (6817).

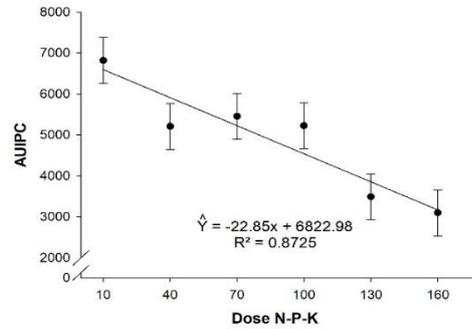


Figure 3- Area under the incidence progress curve (AUIPC) of coffee crop in vegetative stage.

There was a significant interaction between the levels of fertilization and the times of BES incidence assessment ($p < 0.05$). So, the interaction of doses was unfolded within each time with a significant effect. On July 31, August 15 and 30, 2019 (Figure 4) there were also lower intensities of the disease at the level of 160%. The months with a significant effect were the same in which the peak disease incidence was recorded, as well as unfavorable climatic conditions for coffee plants due to water scarcity, low relative humidity and temperatures and high insolation rate.

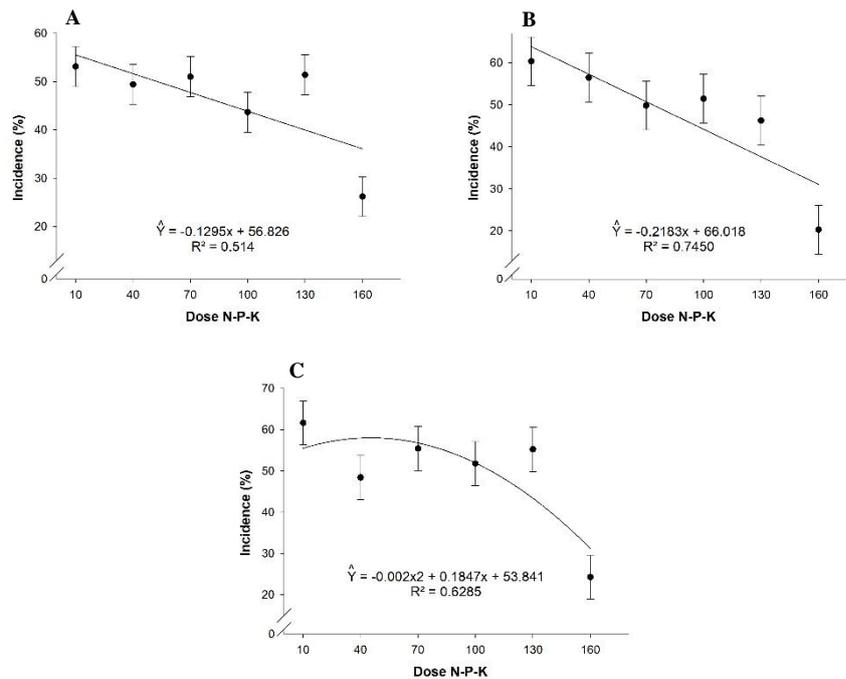


Figure 4- Unfolding of the doses interaction within times for the brown eye spot incidence of coffee crop in vegetative stage on 07/31 (A), 08/15 (B) and 08/30/2019 (C).

In the period of July 31 to August 15, the highest incidence was found in the treatment of 10%, between 53.1% and 60.4%, and the lowest in the treatment of 160% ranging from 26.2% to 20.3%. However, on 08/30/2019 the incidence percentage of BES showed a quadratic response, with a drop in the greatest treatment (160%), which occurred the lowest intensity (24.3%). The highest incidence being 58.1% at 46.2% of NPK fertilization. These months were characterized by lower average relative humidity (62.2%) and rainfall (0.3 mm), an average insolation of 7.6 hours.day⁻¹ and average temperature of 18.9°C.

There was no significant interaction for the variable number of leaves, however there was significance for doses and times independently. With this result, there was a reduction in the number of leaves with an increase in the level of fertilization from the treatment of 70% (Figure 5A). In relation to the times, the lowest amounts of leaves occurred in periods with climatic conditions favorable to the disease and unfavorable to coffee, in July and August (Figure 5B).

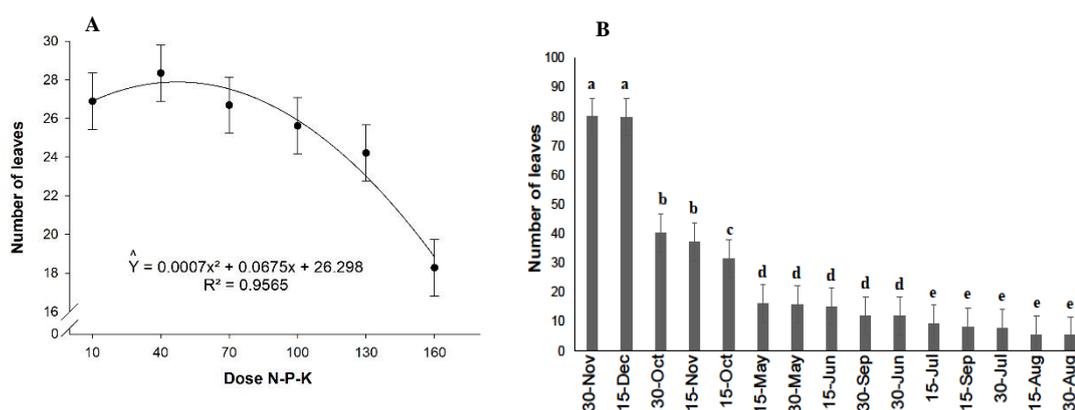


Figure 5- Number of leaves depending on the different levels of fertilization with NPK (A) and Scott-Knott test for the average number of leaves (B) of coffee crop in vegetative stage. Averages followed by different letters are not equal by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

In this case, the correlation between AUIPC and AUNLPC was carried out and so a significant positive correlation was found between the two variables (Table 3). So, the increase in fertilization levels, despite providing less AUIPC, also caused a reduction in the number of leaves. For this reason, defoliation would be associated with a lower incidence of the disease and also with an excess of NPK, with a significant negative correlation between K foliar levels and the number of leaves.

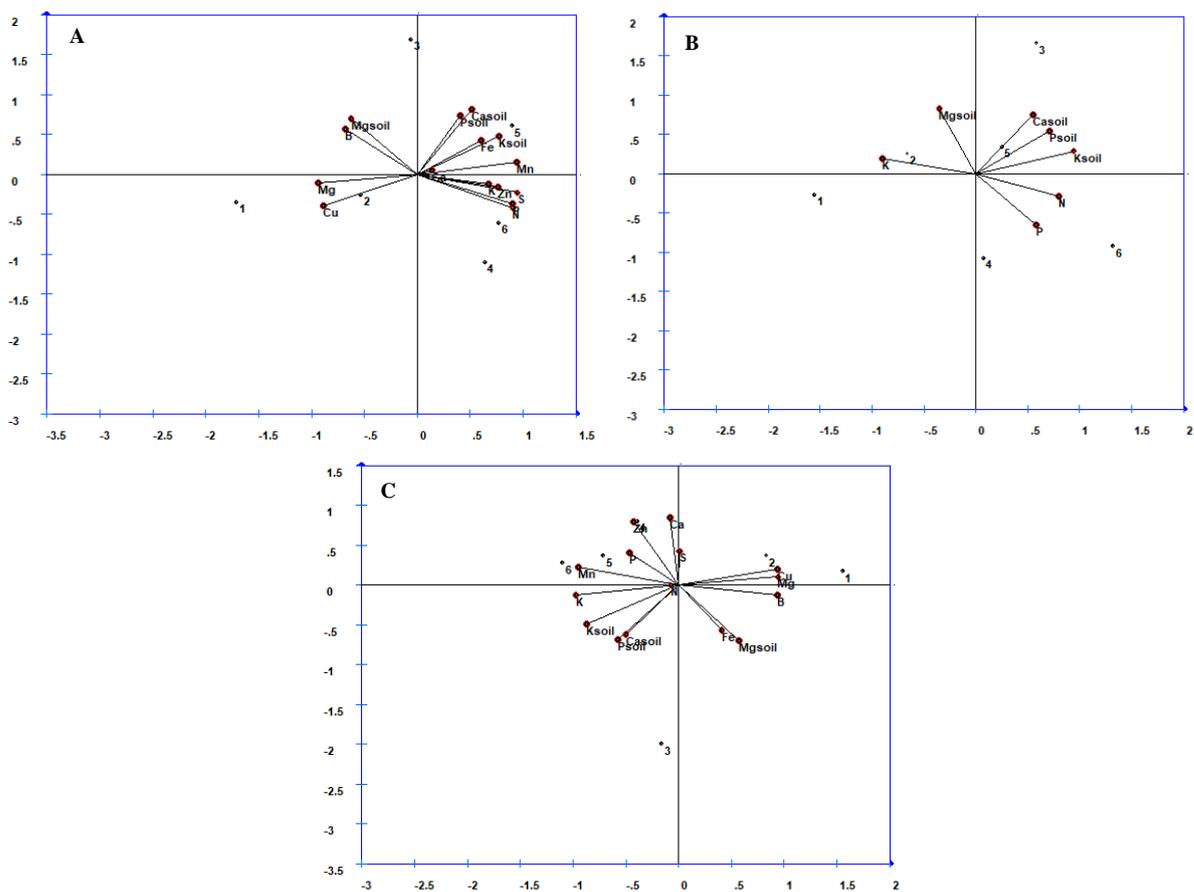
AUIPC	APRIL			JULY			OCTOBER			
	NL	N	P	K	N	P	K	N	P	K
AUNLPC	0.65*	-0,27 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,49*	-0,33 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,42*

* = Significant at 5% probability by F test. ^{ns} = Not Significant.

AUIPC = area under incidence progress curve, AUNLPC = area under number of leaves progress curve, NL = number of leaves, N, P, K = foliar level of nitrogen, phosphorus and potassium, respectively.

Table 3- Coefficients of correlation between AUNLPC with AUIPC and foliar levels of nutrients with number of leaves. Lavras-MG, 2020.

For main components analysis to the nutrients in the soil and in the leaves it was found that the levels of foliar sulfur (S) and calcium in the soil in April, K and Mg in the soil in July and Ca and K foliar in October/2019 explained about 80% of the variability between the representative samples of the six treatments (Figure 6).



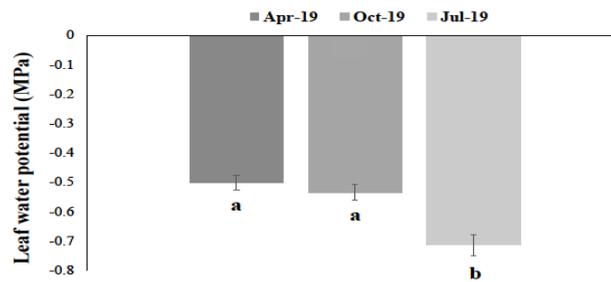
1, 2, 3, 4, 5 and 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% and 160% of the recommended standard NPK fertilization, respectively; P soil = phosphorus in soil, K soil = potassium in soil, Ca soil = calcium in soil, Mg soil = magnesium in soil, N = nitrogen, P = phosphorus, K = potassium, Ca = calcium, Mg = magnesium, S = sulfur, Cu = copper, B = boron, Mn = manganese, Zn = zinc and Fe = iron foliar content.

Figure 6- Graphical dispersion in relation to the first and second components based on the nutrients levels in the soil and leaves in April (A), July (B) and October/2019 (C).

In April and October, treatments referring to the lowest fertilization levels (1, 2 and 3) were gathered closer to B, Cu and Mg in leaves and soil and also to Fe (in October), while the highest (4, 5 and 6) gathered more distant from these variables. This can be explained due to the increase in NPK levels in the soil, providing higher concentrations of them in the leaves,

which may have a negative or positive influence on the absorption of other nutrients. Similar behavior was observed in July, with the exception of foliar K, which was closer to treatment 2. In this month the absorption of nutrients was hindered due to the long period of water deficit, with no difference between the concentrations of NPK in the leaves ($p>0.05$).

In this way, in the study of the interaction between periods and doses for foliar water potential, there was no dependence between the factors and only the periods had a significant effect. So, the water potential in July was lower than in the other seasons (April and October/2019) (Figure 7).



Averages followed by different letters are not equal by the Scott-Knott test, at 5% probability.

Figure 7- Scott-Knott test for foliar water potential (MPa) of coffee crop in vegetative stage.

In July there were unfavorable conditions for coffee growth and a higher incidence of BES, mainly due to the low volume of rainfall recorded. However, the greatest water potentials were registered in periods of good water availability, enabling better absorption of nutrients. Therefore, it became possible to differentiate treatments in relation to their foliar contents in April and October/2019. In this context, there was an increase in the foliar contents of nitrogen, phosphorus and potassium and decrease in magnesium foliar in these months (Figure 8).

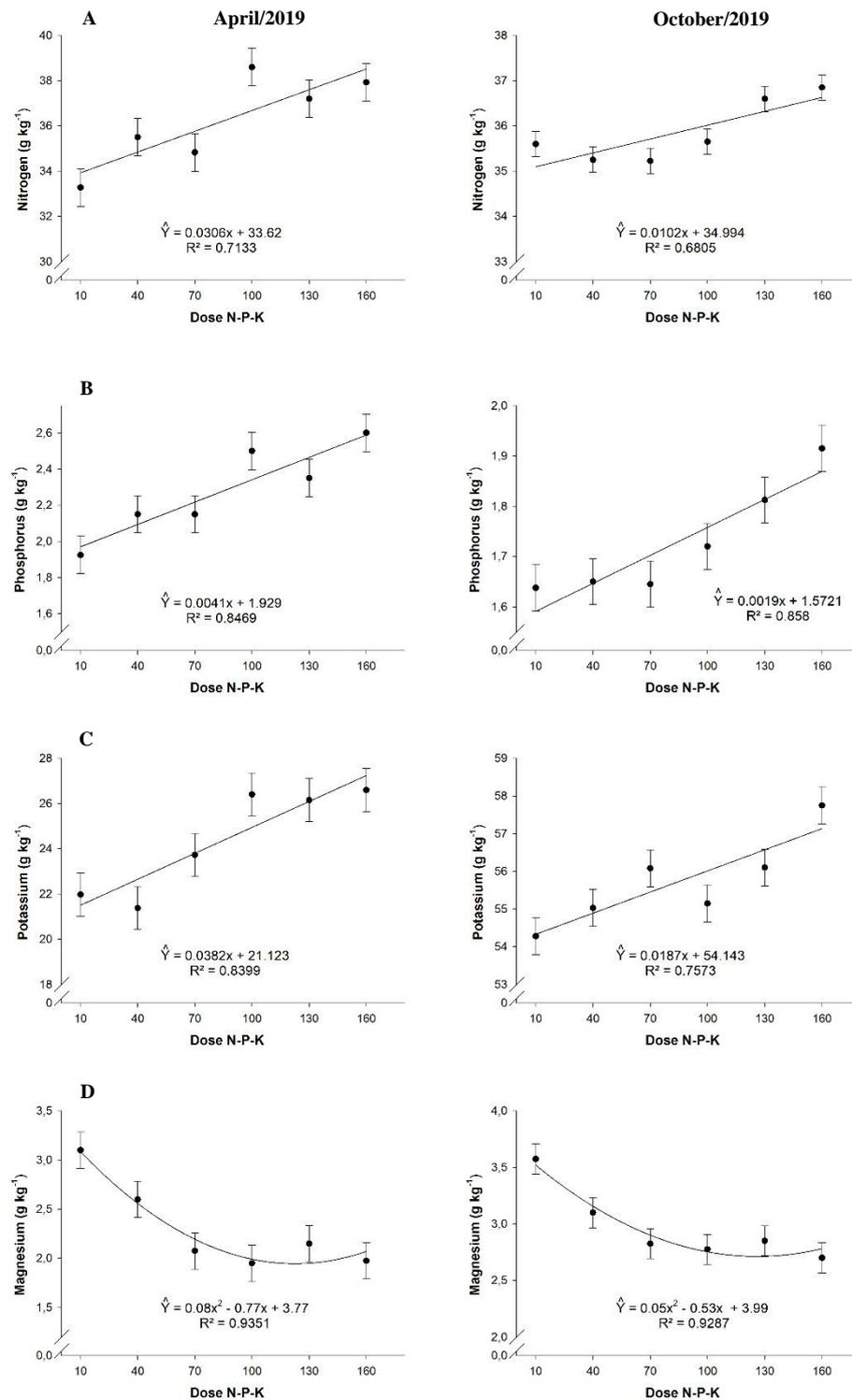


Figure 8- Nitrogen (A), phosphorus (B), potassium (C) and magnesium (D) foliar content in g.Kg⁻¹ in April and October/2019.

The response of the foliar contents of N, P and K were similar in both periods, with a linear effect and directly proportional to the increase in fertilization levels, in addition to presenting a negative correlation with AUIPC (Table 4). The maximum foliar contents of N, P and K in April and October were 38.6; 2.6; 27.5; 36.6; 1.9 and 57.3 g.Kg⁻¹, respectively.

There was a quadratic response of the magnesium foliar content in relation to the treatments in both periods of analysis. There was a reduction in the nutrient foliar content with an increase in the level of fertilization (Figure 8D). In addition, there was a positive correlation with AUIPC. So, lowest AUIPC is correlated with the increase in the magnesium foliar content.

AUIPC	APRIL					OCTOBER				
	Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	Ca	Mg	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg
	-0,04 ^{ns}	0,55*	-0,35 ^{ns}	-0,58*	0,60*	0,11 ^{ns}	0,46*	-0,29 ^{ns}	-0,55*	-0,34 ^{ns}

* = Significant at 5% probability by F test. ^{ns} = Not Significant.

AUIPC = area under incidence progress curve, Ca, Mg = foliar level of calcium and magnesium, K:Ca, K:Mg, Ca:Mg = relations between the potassium and calcium, potassium and magnesium and calcium and magnesium, respectively.

Table 4- Coefficients of correlation between nutrients foliar levels with AUIPC. Lavras-MG, 2020.

Considering that, the influence of NPK levels on the foliar content of other nutrients and on the BES incidence, an analysis of the foliar relation between potassium and calcium (K:Ca), potassium and magnesium (K:Mg) and calcium with magnesium (Ca:Mg) was carried out in April and October/2019. As a result, there was a significant effect for K:Ca in April and for K:Mg and Ca:Mg in April and October (P<0.05) (Figure 9).

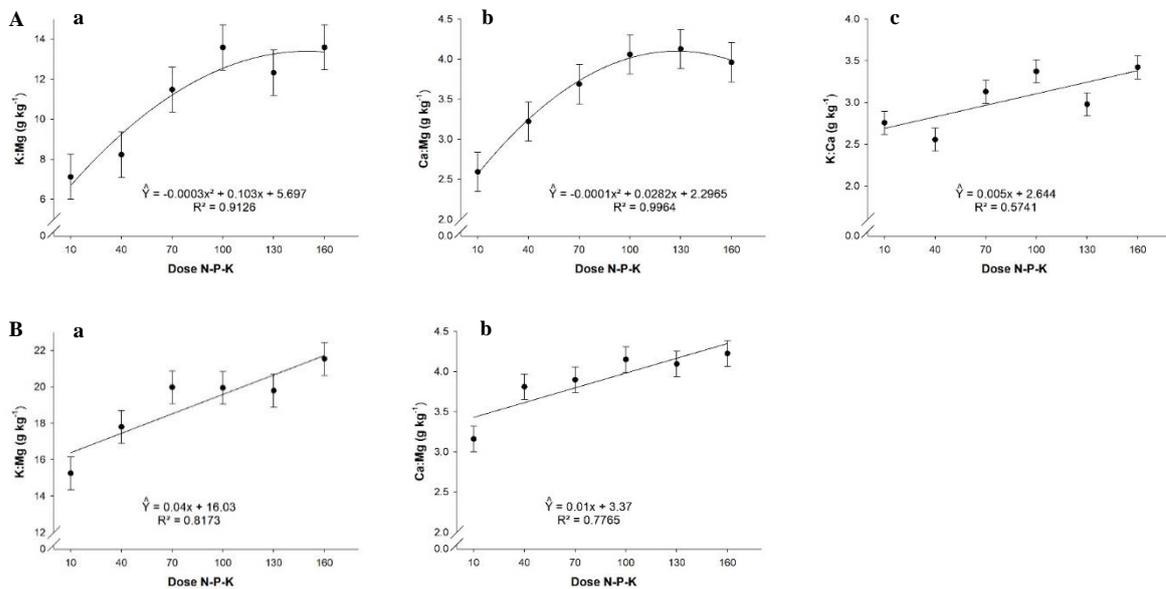


Figure 9- Relationship between the potassium and magnesium (K:Mg) (a), calcium and magnesium (Ca:Mg) (b) and potassium and calcium (K:Ca) (c) levels in g.Kg⁻¹ in April/2019 (A) and October (B). Lavras-MG, 2020.

A linear and increasing response was observed due to the increase in NPK doses, for K:Ca in April (Figure 9Ac) and K:Mg and Ca:Mg in October (Figure 9B). For the other relations analyzed, a quadratic response was observed, with a increase K:Mg and Ca:Mg with the increase in the level of fertilization in April (Figure 9Aab). Still, AUIPC was negatively correlated with K:Mg in both seasons and positively correlated with Ca:Mg in April (Table 4).

4 DISCUSSIONS

The vegetative stage of the coffee tree comprises its first phenological year. Thus, in this period, the nutritional needs and nutrient absorption patterns differ from the reproductive phase, with an increase in foliar concentrations of N, P and K in a linear and increasing manner due to the accumulation of dry matter (Camargo; Camargo, 2001; Carvalho, 2010). In this way, the supply of water and nutrients in an appropriate manner contributes to the full growth and development of the crop, in addition to reducing the BES intensity, given that the disease is favored by water and nutritional deficiencies (Pozza; Pozza, 2012; Belan et al., 2015; Barbosa Jr et al., 2019; Silva et al., 2019).

In this context, the imbalance between nitrogen and potassium causes the accumulation of compounds that favor the development of pathogenic organisms, so increasing levels of K (up to 4 mmol.L⁻¹) can provide less AUIPC, just if the Ca are provide, besides that, N has direct interference in reducing BES incidence (Pozza, 2000; Marschner, 2012; Martinez, 2014).

That said, the penetration of *Cercospora coffeicola* in the host occurs through fissures, therefore, potassium is of great importance in the management of the disease as it promotes thickening of the cell wall, recovery from injuries (Dordas, 2008; Souza et al., 2011; Taiz et al., 2017). However, the increase in K, with Ca deficiency, increases the incidence of this disease (Garcia Jr, 2003).

As well, Chaves (2015) in the study of the influence of potassium, phosphorus and boron in the spatio-temporal distribution of BES in a central pivot area, observed low foliar levels of P and K in the area of greatest infection in 2013, as well as Alves (2006), which verified the increase of the disease due to the reduction of the concentration of P in the tissues. The results obtained by these authors are similar to that shown in this study, when observing the reduction of AUIPC due to the increase of fertilization levels with nitrogen, phosphorus and potassium. This can be explained due to the negative correlation between nitrogen, phosphorus and potassium foliar levels with AUIPC, as found by Silva et al. (2019), who did not observe a significant correlation for N in their work on spatio-temporal distribution of BES and nutrients in irrigated coffee.

Through the percentage of disease incidence (Figure 4), it was possible to observe its peak between July and August/2019, as reported by Chaves et al. (2018). The peaks of incidence can vary according to the climatic conditions of the crop, mainly the insolation, as Custódio et al. (2010) found when observing the highest intensity of the disease between May and July. According to the meteorological data obtained in 2019, the periods with the highest intensity

of BES were characterized by low precipitation, milder temperatures and higher insolation rates, as also verified by Silva et al. (2019) when observing peak incidence also in August.

That way, nutrients play an important role in the formation of barriers against the infection of pathogens by providing the thickening of the cell wall and increasing lignification (Marschner, 2012). Because of that, between July and August/2019 there was water deficit, the plant showed lower foliar water potential, causing low nutrient absorption efficiency, considering that they are transported and translocated in the plant by potential difference when in the presence of water (Taiz et al., 2017). As a consequence, there was a nutritional imbalance favoring the higher incidence of the pathogen in this period, reinforcing the existence of a relationship between water scarcity and the progress of the disease, as observed by Santos et al. (2004), Barbosa Jr et al. (2019) and Silva et al. (2019). Therefore, the intensity of BES depends on the availability of water and nutrients in an appropriate way, as well as good soil fertility and plant nutrition and also on climatic conditions (Pozza, Pozza, 2012; Chaves et al., 2018; Barbosa Jr, 2019; Silva et al., 2019).

Furthermore, as brown eye spot is favored by greater luminous intensity and by temperatures between 10 and 25 °C (Pozza et al., 2010; Silva et al., 2016), the period between July and August/2019 showed a more favorable microclimate to develop the disease and is also contrary to the coffee development, these are mainly because of the dry weather and prolonged water deficit. In its early stages, the crop is more sensitive because drought affects plant metabolism, harm root development, growth and leafing (Assad et al., 2004; Damatta, Ramalho, 2006; Camargo, 2010). Because of this, July and August were the months with the least amount of leaves and, therefore, the crop was exposed to the greatest insolation. Custódio et al. (2010) found results similar to Silva et al. (2016) when comparing the intensity of BES in relation to the face of exposure to the sun and found a higher incidence of the disease on the face subject to longer periods of solar radiation.

There was also a decrease in the incidence of BES from September, period with increased rainfall and temperature (Figure 2), with which the emissions of new leaves began and a consequent reduction in the intensity of the disease (Madden et al., 2007). So, exposure to the sun decreased due to self-shading, in addition to the reduce of the solar radiation in coffee plants due to the rainy season, providing a microclimate less favorable to the development of the fungus, as the cercosporin toxin responsible for necrosis of the plant cell is only activated under conditions of high light intensity (Ehrenshaft, 2000; Daub et al., 2005; Baliza et al., 2012; Silva et al., 2016). Baliza et al. (2012) also observed lower AUIPC in coffee plants under different shading levels (35, 50, 65 and 90%), which probably occurred because of the increase

in soil moisture providing nutritional balance due to less direct exposure of the soil to solar radiation.

Therefore, the number of leaves varied according to the behavior of the disease incidence over the evaluation period. The increase in leaves after the reduction of the peak of the disease is noteworthy, as the infection causes an increase in the synthesis of ethylene and, as a consequence of abscisic acid, favoring defoliation (Valencia, 1970). Custódio et al. (2010) and Chaves et al. (2018) observed a decline in the BES incidence in the face of the same conditions reported.

There was also a significant reduction in the number of leaves when the level of fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium exceeded 130%. So fertilization levels above that value may not be recommended, even with an increase of the foliar contents of NPK, as observed by Clemente et al. (2008), Pinto et al. (2013) and Villela et al. (2015). The presence of a negative correlation between potassium and the number of leaves can be explained due to the high saline content of KCl, which in high doses can impair the initial growth of plants and consequently leafing (Ernani et al., 2007). Therefore, in the treatments of higher doses (above 100%) there were few leaves, which may be associated with both the higher doses and the intense defoliation caused by the infection of the disease and, that is why, a positive correlation was found between AUIPC and AUNLPC. According to Chaves (2015), in periods where the leafing reached 0%, the incidence of BES was also zero.

Thus, although there was a reduction of AUIPC and the increase of the foliar contents of NPK due to the increase of fertilization levels with nitrogen, phosphorus and potassium, there was also a significant lost leaves. In this way, leaves are an important source of photoassimilates for grain fill (Taiz et al., 2017). Therefore, reduction in number of leaves, as well as the lower foliar nutrients concentration, will cause long term losses in the coffee plant such as decrease in productivity and increase the susceptibility of the plant to BES (Pinto, 2012; Pinto et al., 2013; Barbosa Jr et al., 2019; Silva et al., 2019).

So, for a lowest AUIPC and maintenance of leafing, doses close to 100% may be recommended. Therefore, due to coffee is a perennial crop, the nutritional deficiencies will affect the flowering and coffee production in the following year. Thus, the fertilization must be enough to the growth in the plagiotropic branches that will produce coffee. This fact occurs because the vegetative growth in one year is required to produce well in the next year (Rena; Maestri, 1986; Cunha et al., 2010).

In this context, nutrients can interact with each other in soil and supply of one element in excess may impair the absorption of another (Cantarella, 2007; Carvalho et al., 2010).

Therefore, the increase in the level of fertilization with NPK above the standard recommendation, influenced the foliar contents of other nutrients.

However, foliar magnesium showed a positive correlation with AUIPC and also a quadratic response, with a decrease with the increase in the level of fertilization with NPK. This can be explained due to the competition between K and Mg for the absorption sites in the plasma membrane, thus the higher K content in the soil causes greater absorption of the cation, reducing the absorption of other nutrients such as Ca and Mg (Ernani et al., 2007; Carvalho et al., 2010).

The competition between K^+ and Mg^{2+} ions also influences the K:Mg relation, causing imbalance. The relation in the plant can vary ($7 - 10 \text{ g.Kg}^{-1}$), however when reaching levels of $15 - 20 \text{ g.Kg}^{-1}$ there is deficiency of Mg induced by excess of K (Vitti et al., 2006). This can be observed by the increase in K:Mg with the increase of fertilization levels with NPK, reaching values above 15 g.Kg^{-1} at the treatment of 160%, mainly in October/2019. However, in April/2019 at the level of 100% there was an adequate K:Mg ratio according to Vitti et al. (2006). The K:Mg ratio showed a negative correlation with the AUIPC. Barbosa Jr et al. (2019) and Silva et al. (2019) verified greatest incidence of brown eye spot with nutritional imbalance.

In this way, Ca:Mg was also analyzed, with a quadratic response, having a tendency to increase the relationship with the increase in the level of fertilization in April, besides that showed a positive correlation with AUIPC. In addition Ca:Mg in October and K:Ca, showed a linear and increasing response. The increase in K levels in soil probably decreased the root absorption of Mg, being higher than Ca inhibition, due to the “competitive inhibition” reported by Carvalho et. al. (2010), thus interfering in the increase in relationships between these nutrients.

According to Belan et al. (2015), among the elements analyzed in their work on the distribution of nutrients in the leaf tissue of coffee plants due to diseases, only potassium and calcium showed a gradient of distribution between healthy and infected tissues with different agents that cause coffee diseases, among them *Cercospora coffeicola*. So, potassium and calcium are nutrients strongly related to the defense against pathogens, mainly because they promote resistance of cell walls and tissues, in addition to Ca being a secondary messenger in the response of plants to infections (Marschner, 2012; Taiz et al., 2017).

Some micronutrients may also have their foliar concentration influenced by higher doses of NPK. High levels of N and P in the leaf tissue can reduce the absorption of B and induce Cu deficiency. Both have an important role in the mechanisms of horizontal resistance of plants to fungal infections, as they are involved in several physiological processes, such as the transport of sugars for photosynthesis. Also, B assists Ca in structuring the cell wall and stability of the

plasma membrane and provides greater AUIPC when its low supply is associated with doses of K above 200 Kg.ha⁻¹ (Malavolta et al., 1997; Dordas, 2008 ; Carvalho et al., 2010; Chaves, 2015).

Therefore, levels above or below 100% provide imbalances in foliar contents of other macro and micronutrients due to interactions between them described by Malavolta et al. (1997), Vitti et al. (2006), Ernani et al. (2007) e Carvalho et al. (2010). In this way, balanced nutrition is essential in the phase of coffee crop formation. This fact occurs because levels below 100% of the standard fertilization recommended can reduce foliar nutrients concentration and consequently harm growth and coffee production (Pinto, 2012). However, levels above 100%, although there is a reduction of AUIPC, its can cause defoliation of plants. Thus, the level of 100% favored the reduction of AUIPC, maintaining more leaves and nutritional balance in coffee plants. Furthermore, the BES behavior can vary according to climatic conditions.

5 CONCLUSION

The peak incidence of BES occurred between July and August, coinciding with periods of lower temperatures, rainfall and relative humidity and greater sunshine, also characterized by lower foliar water potential.

The highest and lowest AUIPC occurred in the treatments of 10% and 160%, respectively. There was no significant effect on AUNLPC. However, there was a reduction in the number of leaves with the increase in the level of fertilization, from the treatment of 70%. That is, the reduction in the number of leaves was accompanied by a lower incidence. So, one must pay attention to balanced fertilizer doses to obtain more leaves and less disease incidence.

Thus, the fertilization level of 100% favored the reduction of AUIPC, maintaining more leaves and the nutritional balance in coffee plants.

6 ACKNOWLEDGMENTS

This project was carried out with the support of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), the Minas Gerais State Research Support Foundation (FAPEMIG) and the Coffee Innovation Agency (INOVACAFÉ).

7 REFERENCES

- Alves, M.D.C. (2006). Geoestatística e sistemas 'fuzzy' na proteção de plantas. Universidade Federal de Lavras (Doutorado em Fitopatologia), Lavras.
- Assad, E.D., Pinto, H.S., Zullo Junior, J., Ávila, A.M.H. (2004). Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, p. 1057-1064, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>.
- Baliza, D.P., Cunha, R.L., Guimarães, R.J., Barbosa, J.P.R.A.D., Ávila, F.W., Passos, A.M.A. (2012). Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 1, p. 37-43, <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a1305>.
- Barbosa Jr, M.P., Pozza, E.A., Neto, H.S., e Silva, M.D.L.O., Pozza, A.A.A., Guimarães, R.J., de Souza, P.E. (2019). Brown eye spot in coffee subjected to different drip irrigation and fertilization management. *Australasian Plant Pathology*, v. 48, n. 3, p. 245-252, <https://doi.org/10.1007/s13313-019-0623-y>.
- Belan, L.L., Pozza, E.A., Freitas, M.L.de.O., Pozza, A.A.A., de Abreu, M.S., Alves, E. (2015). Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. *Australasian Plant Pathology*, v. 44, n. 1, p. 105-111, <https://doi.org/10.1007/s13313-014-0329-0>.
- Camargo, A.P.de., Camargo, M.B.P.de. (2001). Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, v. 60, n. 1, p. 65-68, <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000100008>.
- Camargo, M.B.P.de. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, Campinas, v. 69, p. 239-247, <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>.
- Campbell, C.L., Madden, L.V. (1990). Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons. 532 p.
- Cantarella, H. (2007). Nitrogênio. In: SBCS. (Ed. Novais, R. F., Alvarez V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L.). Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa, MG. p. 375-470.
- Carvalho, J.G., Guimarães, R.J., Bastos, A.R.R., Baliza, D.P., Gontijo, R.A.N. (2010). Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: Guimarães, R.J., Mendes, A.N.G., Baliza, D.P. (eds.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras: Ed. UFLA. p. 31-68.
- Chaves, E., Pozza, E. A., Neto, H. S., Vasco, G. B., Dornelas, G. A., Pozza, A. A. A., Scalco, M. S. (2018). Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. *Journal of Phytopathology*, 166(9), 613-622, <https://doi.org/10.1111/jph.12723>.

- Chaves, E. (2015). Potássio, fósforo, boro e irrigação na distribuição espaço-temporal da cercosporiose do cafeeiro. 157p. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Clemente, F.M.V.T., Carvalho, J.G.de., Guimarães, R.J., Mendes, A.N.G. (2008). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio-primeiro ano. *Coffee Science*, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47- 57.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2020). Levantamento de safra de janeiro de 2020. Boletim da Safra de Café, 1–29, <https://www.conab.gov.br/index.php/infoagro/safras/cafe>.
- Cruz, C. D. (2013). Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(3), 271-276.
- Cruz, C. D., Ferreira, F. M., Pessoni, L. A. (2011). Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética. Visconde do Rio Branco: Suprema. 620p.
- Cunha, J.F., Casarin, V., Prochnow, L.I. (2010). Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. IPNI. International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas nº 130.
- Curi, N.C., Ker, J.C., Novais, R.F., Vidal-Torrado, P., Schaefer, C.E.G.R. (2017). Pedologia: solos dos biomas brasileiros. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa-MG.
- Custódio, A.A.de P., Pozza, E. A., Custódio, A.A. de P., Souza, P.E.D., Lima, L.A. (2010). Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. *Coffee Science*, v.5, n. 3, p. 214-228, <https://doi.org/10.25186/cs.v5i3.338>.
- Damatta, F.M., Ramalho, J.D.C. (2006). 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, <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>.
- Daub, M.E., Herrero, S., Chung, K.R. (2005). Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. *Fems Microbiol Lett* 252:197-206, <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.08.033>.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Paris, v. 28, n.1, p. 33-46, <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>.
- Ernani, P.R., Almeida, J.A.de., Santos, F.C.dos. (2007). Potássio. In: Novais, R.F., Alvarez V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. (eds). *Fertilidade do Solo*. 1.ed. Viçosa, MG. p. 551-594.
- Garcia Jr, D., Pozza, E.A., Pozza, A.A.A., Souza, P.E., Carvalho, J.G., Balieiro, A.C. (2003). Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291, <https://doi.org/10.1590/s0100-41582003000300010>.
- Gonçalves, S.M., Guimarães, R.J., Carvalho, J.G.de., Botrel, É.P. (2009). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em

tubetes. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 3, p. 743-752, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300012>.

Guimarães, P.T.G., Garcia, A.W.R., V., V.H.A., Prezotti, L.C., Viana, A.S., Miguel, A.E., Malavolta, E., Corrêa, J.B., Lopes, A.S., Nogueira, F.D., Monteiro, A.V.C., Oliveira, J.A.d. (1999). Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez-Venegas, V.H. (eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação*. Viçosa: CFSEMG. p. 289-302.

Lima, P.C. (1979). Método de amostragem para a avaliação do índice de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*, Berk. e Br.). Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 65 p.

Madden, L.V., Hughes, G., van den Bosch, F. (2007). *The study of plant disease epidemics*. The American Phytopathological Society. Minnesota.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos. 319p.

Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. 3.ed. London Academic.

Martinez, H.E.P., Carvalho, J.G.de., Souza, R.B. de. (1999). Diagnose Foliar. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez-Venegas, V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: CFSEMG. p. 145-152.

Martinez, H.E.P., Clemente, J.M., Lacerda, J.S.D., Neves, Y.P., Pedrosa, A.W. (2014). Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461000009>.

Pinto, C.G., Guimarães, R.J., Villela, G.M., Scalco, M.S. (2013). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio, *Coffee Science*, Lavras, v. 8, n. 4, p. 530-538.

Pinto, C. G. (2012). Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós-plantio. 65 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras.

Pozza, A.A.A., Martinez, H.E.P., Caixeta, S.L., Cardoso, A.A., Zambolim, L., Pozza, E.A. (2001). Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho pardo em mudas de cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36:53-60, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100007>.

Pozza, A.A.A., Martinez, H.E.P., Pozza, E.A., Caixeta, S.L., Zambolim, L. (2000). Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. *Summa Phytopathologica* 26:29-34.

Pozza, E.A., Carvalho, V.L., Chalfoun, S.M. (2010). Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: Guimaraes, R.J., Mendes, A.N.G., Baliza, D.P., (eds.). *Semiologia*

do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras:UFLA, p. 69 - 101.

Pozza, E.A., Pozza, A.A.A. (2012). Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: Machado, A.K.F.M., Ogoshi, C., Perina, F.J., Silva, G.M., Neento, H.S., Costa, L.S.A.S., Alencar, N.E., Martins, S.J., Terra, W.C., Zancan, W.L.A., (eds.). Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário. São Carlos - SP:Suprema Gráfica e Editora, p. 259-282.

R Development Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Acesso em: 26 mar. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

Reis, P.R., Cunha, R.L. (2010). (ed.). Café arábica: do plantio à colheita. Lavras: U.R. EPAMIG SM. v.1, 895p.

Sá Júnior, A. de, Carvalho, L. G. de, Da Silva, F. F., Carvalho Alves, M. de. (2012). Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. Theoretical and Applied Climatology, 108(1-2), 1-7, <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>.

Santos, F.D.S., de Souza, P.E., Pozza, E.A., Miranda, J.C., Carvalho, E.A., Fernandes, L.H.M., Pozza, A.A.A. (2008). Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira 43:783-791, <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2008000700001>.

Santos, F.S., Souza, P.E., Pozza, E.A. (2004). Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. Summa Phytopathologica 30:31-37.

Shaner, G., Finney, R.E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slowmilde wing resistance in Knox wheat. Phytopathology, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 1051-1056.

Silva, M. G. D., Pozza, E. A., Monteiro, F. P., Lima, C. V. R. V. D. (2016). Effect of light and temperature on *Cercospora coffeicola* and *Coffea arabica* pathosystem. Coffee Science, Lavras, v. 11, n. 2, p. 148 - 160, abr./jun.

Silva, M.G.da., Pozza, E.A., Chaves, E., Neto, H.S., Vasco, G.B., de Paula, P.V.A.A., Dornelas, G.A., Alves, M.de C., Silva, M.de L.O.e., Pozza, A.A.A. (2019). Spatio-temporal aspects of brown eye spot and nutrients in irrigated coffee. European journal of plant pathology, v. 153, n. 3, p. 931-946, <https://doi.org/10.1007/s10658-018-01611-z>.

Souza, A.G.C., Rodrigues, F.Á., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G. (2011). Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. Journal of Phytopathology, 159:6-11.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A. (2017). Physiology and plant development. Porto Alegre: Artmed, 858.

USDA Foreign Agricultural Service. (2019). Coffee: World Markets and Trade. Coffee: World Markets and Trade, April, 1–9, <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>.

Valencia, A.G. (1970). Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el café. *Cenicafé, Chinchina*, v. 21, n. 3, p. 105-114.

Vasco, G.B., Pozza, E.A., Scalco, M.S., Santos, L.S.D., Custódio, A.A.de.P., Oliveira e Silva, M.D.L. (2015). Incidência da cercosporiose em frutos de cafeeiro: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. *Coffee Science, Lavras*, v. 10, n. 1, p. 38 - 45, <https://doi.org/10.25186/cs.v10i1.725>.

Vasco, G.B., Pozza, E.A., Silva, M.G.D., Pozza, A.A.A., Chaves, E. (2018). Interaction of K and B in the Intensity of Coffee Rust in Nutrient Solution. *Coffee Science, Lavras*, v. 13, n. 2, p. 238 - 244, <https://doi.org/10.25186/cs.v13i2.1428>.

Villela, G.M., Guimarães, R.J., Pinto, C.G., Scalco, M.S., Sales Junior, J.C., Camilo, W.R., Alves, G. (2015). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados em formação. *Coffee Science*, v. 10, n. 3, p. 271-279.

Vitti, G.C., Lima, E., Cicarone, F. (2006). Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: Fernandes, M.S., Souza, S.R., Santos L.A. (eds). *Nutrição Mineral de Plantas*. 1.ed. Viçosa, MG. p. 299-326.