

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E MOLÍBDICA EM CAFEIRO
CONILON: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, CRESCIMENTO,
PRODUÇÃO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES**

THIAGO LOPES ROSADO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
NOVEMBRO - 2020**

ADUBAÇÃO NITROGENADA E MOLÍBDICA EM CAFEIRO
CONILON: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, CRESCIMENTO,
PRODUÇÃO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES

THIAGO LOPES ROSADO

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
NOVEMBRO - 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

R788

Rosado, Thiago Lopes.

Adubação nitrogenada e molíbdica em cafeeiro conilon : atributos químicos do solo, crescimento, produção e teores foliares de nutrientes / Thiago Lopes Rosado. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

101 f. : il.

Bibliografia: 96 - 101.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.
Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Coffea canephora. 2. Molibdênio. 3. Nitrogênio. 4. Nutrição mineral. 5. Produtividade. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

ADUBAÇÃO NITROGENADA E MOLÍBDICA EM CAFEEIRO
CONILON: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, CRESCIMENTO,
PRODUÇÃO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES

THIAGO LOPES ROSADO

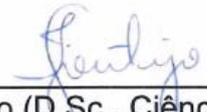
“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 17 de novembro de 2020

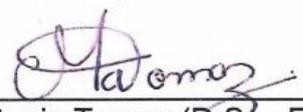
Comissão Examinadora:



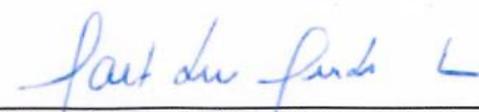
Prof. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Fruticultura) - UENF



Prof. Ivoney Gontijo (D.Sc., Ciência do Solo) - UFES



Prof. Marcelo Antonio Tomaz (D.Sc., Fitotecnia) - UFES



Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Nutrição de Plantas) - UENF
Orientadora

Dedico

A Deus, que me deu a vida, saúde, sabedoria, força e oportunidade para buscar e alcançar meus objetivos;

À minha esposa Márcia Helena Milanezi, por ter sido meu porto seguro durante as turbulências, pela paciência, compreensão, incentivo, companheirismo e amor;

Aos meus pais, Ronaldo Lopes Rosado e Edna Maria Soares Lopes, pelo exemplo de vida e amor incondicional;

Aos meus avós, Etevaldo Lopes Rosado, Ivanda Gava, Simião da Costa Soares e Lindaura Almeida Soares, pelos ensinamentos, ternura e amor;

A todos os familiares, em especial à minha irmã Thaiz A. Lopes Rosado, à minha sogra Adélia Milanezi e às minhas enteadas Lara Milanezi Lima e Mila Lima Milanezi, pelo afeto e carinho.

“Feliz o homem que não procede conforme o conselho dos ímpios, não trilha o caminho dos pecadores ...”

(Salmo 01)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade de realização desse trabalho;

Ao Instituto Federal do Espírito Santo *Campus* Santa Teresa, por possibilitar minha qualificação e o desenvolvimento desse projeto;

À minha orientadora, professora Marta Simone Mendonça Freitas, pela confiança, disponibilidade, orientação, incentivo, compreensão e carinho;

Ao professor Almy Junior Cordeiro de Carvalho, pela competência na condução do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal;

Aos professores Abraão Carlos Verdin Filho, André Assis Pires, Gustavo Haddad Souza Vieira, Henrique Duarte Vieira, Ivoney Gontijo, Marcelo Antonio Tomaz, Marciano Kaulz e Rômulo Môra, pelo apoio e valiosa contribuição;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelo aprendizado adquirido nas disciplinas cursadas;

Ao técnico José Accacio, pela disponibilidade e apoio na realização das análises nutricionais;

Ao Engenheiro Agrônomo Eli Antonio Fullin e ao Laboratório Fullin, pelo auxílio na realização das análises de solo;

Ao amigo Valmir Milanezi, pelo apoio irrestrito no desenvolvimento desse projeto de pesquisa em sua propriedade rural;

Aos estudantes de Agronomia Kariny Nieiro Scopel, Matheus Margon Lopes e Ronildo Barcellos, pelo apoio durante a condução do experimento.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Café no Brasil e no mundo	3
2.2 Café conilon no estado do Espírito Santo – histórico, evolução e importância socioeconômica.....	4
2.3 Origem, aspectos botânicos e fisiológicos do <i>Coffea canephora</i>	6
2.4 Dinâmica do nitrogênio no solo e adubação nitrogenada em <i>Coffea canephora</i>	08
2.5 Dinâmica do molibdênio no sistema solo-planta.....	11
2.6 Processos enzimáticos envolvidos no metabolismo do nitrogênio	13
2.7 Atividade da enzima nitrato redutase e adubação molíbdica.....	14
3. TRABALHOS	17
3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NUTRIÇÃO MOLÍBDICA DO CAFEEIRO CONILON ADUBADO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO	17
3.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO CAFEEIRO CONILON SOB ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO	43
3.3 NUTRIÇÃO DO CAFEEIRO CONILON SOB ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO	68
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	94

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
APÊNDICE.....	102

RESUMO

ROSADO, Thiago Lopes, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Novembro de 2020. Adubação nitrogenada e molíbdica em cafeeiro conilon: atributos químicos do solo, crescimento, produção e teores foliares de nutrientes. Orientadora: Prof^a. Dra. Marta Simone Mendonça Freitas.

O nitrogênio é o nutriente mais aplicado em lavouras de *Coffea canephora*, em razão da elevada exigência da cultura e baixa disponibilidade na maioria dos solos. No entanto, a absorção de nitrogênio, especialmente na forma de nitrato, não garante sua efetiva utilização na síntese de biomoléculas. A redução do nitrato no citosol, mediada pela enzima nitrato redutase, muitas vezes é limitada pela deficiência de molibdênio. O molibdênio é encontrado em baixas concentrações no solo e sua disponibilidade é fortemente afetada pelo pH, que determina a dinâmica de cargas elétricas e a adsorção do molibdato no solo. Objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio nos atributos químicos do solo, crescimento, produção e nutrição do cafeeiro conilon, conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo. O experimento foi conduzido de junho de 2018 a maio de 2020, no município de Santa Teresa, estado do Espírito Santo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de nitrogênio (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Avaliou-se a altura de planta, número de ramos plagiotrópicos produtivos, comprimento do entrenó

ortotrópico, diâmetro do caule, comprimento de ramo plagiotrópico, número de nós por ramo plagiotrópico, número de rosetas por ramo, número de frutos por ramo, produtividade de café beneficiado e rendimento de grãos. Em cada ano agrícola avaliado, ao final de novembro e janeiro, foram retirados o 3º e 4º par de folhas de ramos plagiotrópicos situados no terço médio da planta, para a determinação dos teores de amônio, nitrato, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e molibdênio. Ao término de cada ciclo produtivo, coletaram-se amostras de solo para avaliação do pH em H₂O, pH em KCl, alumínio trocável, acidez potencial, matéria orgânica e molibdênio, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. A diminuição do pH provocada pelas doses de nitrogênio afetou o perfil de cargas elétricas do solo e reduziu em 67% os teores de molibdênio nas folhas do *C. canephora*. Para as avaliações de crescimento e produção do cafeeiro conilon, os resultados obtidos demonstram que o comprimento de ramos plagiotrópicos, número de nós por ramo lateral, número de rosetas e de frutos por ramo produtivo apresentam estreita relação com a produtividade do cafeeiro e foram influenciados pela adubação nitrogenada. Doses crescentes de nitrogênio promoveram incrementos quadráticos para a produtividade de café beneficiado, com acréscimo de 35,3% e 88,9% para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente. Apesar do conilon manter teores basais de nitrato nas folhas, a adubação molíbdica impediu o acúmulo excessivo de NO₃⁻ em plantas submetidas a doses de nitrogênio superiores a 515 kg ha⁻¹. No segundo ano, as maiores concentrações de N-NH₄⁺, fósforo, potássio e cálcio foram alcançadas com doses de nitrogênio entre 698 e 967 kg ha⁻¹, que proporcionaram produtividade superior a 145 sacas ha⁻¹.

ABSTRACT

ROSADO, Thiago Lopes, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. November, 2020. Nitrogen and molybdcic fertilization in conilon coffee: soil chemical attributes, growth, production and leaf nutrient content. Advisor: Professor Marta Simone Mendonça Freitas.

Nitrogen is the most applied nutrient in *Coffea canephora* crops, due to the high requirement of the crop and low availability in most soils. However, the absorption of nitrogen, especially in the form of nitrate, does not guarantee its effective use in the synthesis of biomolecules. The reduction of nitrate in the cytosol, mediated by the enzyme nitrate reductase, is often limited by the deficiency of molybdenum. The molybdenum is found in low concentrations in the soil and its availability is strongly affected by pH, which determines the dynamics of electrical charges and the adsorption of molybdate in the soil. This study, conducted during two coffee production cycles under field conditions, aimed to evaluate the effects of the application of N doses and fertilization with Mo on the chemical soil attributes, growth, production and nutrition of conilon coffee. The experiment was carried out from June 2018 to May 2020 in the municipality of Santa Teresa, state of Espírito Santo. The experimental design used was in randomized blocks, in a 5 x 2 factorial scheme, being the first factor nitrogen doses (300, 500, 700, 900 and 1,100 kg ha⁻¹ year⁻¹) and second factor the absence and presence of molybdcic fertilization, with four replications, totaling 40 experimental units. Was evaluated the plant height, number of productive plagiotropic branch, orthotropic internode

length, stem diameter, plagiotropic branch length, number of nodes per plagiotropic branch, number of rosettes per branch, number of fruits per branch, processed coffee yield and grain yield. In each agricultural year evaluated, at the end of November and January, the 3rd and 4th pairs of leaves were collected of the plagiotropic branches located in the middle third of the plant to determine the concentrations of ammonium, nitrate, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur and molybdenum. At the end of each production cycle, soil samples were collected to evaluate the pH in H₂O, pH in KCl, exchangeable aluminum, potential acidity, organic matter and molybdenum, at depths of 0-20 cm and 20-40 cm. The decrease in pH caused by the doses of nitrogen affected the electric charge profile of the soil and reduced molybdenum content in the leaves of *C. canephora* by 67%. For the assessments of growth and production of coffee conilon, the results obtained demonstrate that the length of plagiotropic branches, number of nodes per side branch, number of rosettes and fruits per productive branch were closely related to coffee productivity and were influenced by nitrogen fertilization. Increasing doses of nitrogen promoted quadratic increments for the yield of coffee, with addition of 35.3% and 88.9% for the harvests 2018/2019 and 2019/2020, respectively. Although the conilon maintains basal levels of nitrate in the leaves, molybdcic fertilization prevented the excessive accumulation of NO₃⁻ in plants submitted to nitrogen doses above 515 kg ha⁻¹. In the second year, the highest concentrations of N-NH₄⁺, phosphorus, potassium and calcium were achieved with doses of nitrogen between 698 and 967 kg ha⁻¹, which provided yield greater than 145 bags ha⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) representa a principal atividade do agronegócio do estado do Espírito Santo, que desponta como maior produtor nacional dessa espécie. Em 2020, o estado foi responsável por 64,1% da produção nacional, com 9,13 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg (Conab, 2020).

Com avanços no melhoramento genético, atualmente, as cultivares de *Coffea canephora* possuem elevado potencial produtivo e grande exigência nutricional, que torna indispensável o manejo da fertilidade do solo e a nutrição mineral equilibrada para obtenção de elevada produtividade (Partelli et al., 2016).

Dentre os elementos minerais essenciais, destaca-se o nitrogênio (N), por ser o nutriente requerido em maior quantidade em lavouras de café conilon (Covre et al., 2018; Dubberstein et al., 2016; Bragança et al., 2007). Nos tecidos vegetais, o N é empregado na síntese de várias biomoléculas como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, trifosfato de adenosina, ácido indol acético, coenzimas como NAD e NADP e vitaminas do complexo B (Taiz et al., 2017).

De acordo com Cameron et al. (2013), o fornecimento de N ao solo, por meio da adubação, não garante a adequada nutrição das plantas. A eficiência da adubação nitrogenada pode ser comprometida por processos que ocorrem no solo ou no tecido vegetal, reduzindo a disponibilidade de N às plantas e sua assimilação, respectivamente.

Embora o N possa ser absorvido pelas raízes na forma de amônio, nitrato, ureia, ureídeos, aminoácidos e peptídeos (Feng et al., 2020), as formas

inorgânicas NO_3^- e NH_4^+ apresentam maior contribuição na nutrição mineral. Entretanto, devido ao intenso processo de nitrificação que ocorre no solo, o nitrato representa a principal forma de N absorvido pelas plantas (Noguero e Lacombe, 2016).

Após absorvido pelas raízes, o nitrato é reduzido a nitrito pela enzima nitrato redutase, que catalisa a reação $\text{NO}_3^- + \text{NAD(P)H} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{NAD(P)}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Em seguida, o nitrito é reduzido a amônio e então, assimilado (Rana et al., 2020).

Santos et al. (2019) salientam que a conversão do nitrato a nitrito no citosol, mediada pela enzima nitrato redutase, é normalmente a etapa limitante do processo de redução assimilatória do nitrato, muitas vezes resultado da deficiência de molibdênio (Mo).

O Mo atua como componente estrutural da enzima nitrato redutase e está intimamente ligado ao transporte de elétrons durante as reações bioquímicas do processo de redução do nitrato a nitrito (Bittner, 2014). Logo, em condições de deficiência de Mo, a atividade da nitrato redutase é reduzida, provocando acúmulo de nitrato na planta e sintomas de deficiência de N, mesmo quando as plantas apresentam adequado suprimento desse nutriente (Marschner, 2011).

Para o gênero *Coffea*, são escassos os trabalhos sobre a adubação molíbdica e os efeitos da aplicação do Mo na nutrição das plantas. Ademais, há carência de estudos sobre os efeitos do fornecimento de Mo associado ao suprimento de N nos atributos químicos do solo, crescimento, produção e nutrição do cafeeiro. As poucas pesquisas desenvolvidas sobre o tema foram conduzidas em *C. arabica*, exigindo cautela na extrapolação dos resultados para o *C. canephora*.

Nesse contexto, objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio nos atributos químicos do solo, crescimento, produção e nutrição do cafeeiro conilon conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Café no Brasil e no mundo

Encontram-se catalogadas atualmente, 124 espécies do gênero *Coffea*. Porém, apenas duas espécies, *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon e robusta), respondem por quase a totalidade do café produzido no mundo (Davis et al., 2011), que em 2018, representou aproximadamente 170,94 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg (ICO, 2020).

A cafeicultura mundial e toda a cadeia produtiva movimenta mais de 90 bilhões de dólares anualmente e emprega, de forma direta e indireta, aproximadamente 500 milhões de pessoas (CIC, 2010). A produção de café está presente em 56 países, enquanto o consumo ocorre em centenas de nações (ICO, 2020). O cultivo do café, e todos os desdobramentos que gera nos diferentes setores da economia mundial, faz da cafeicultura a segunda atividade na geração de riquezas no planeta, ficando atrás apenas do petróleo (Mishra e Slater, 2012).

No Brasil, a cafeicultura apresenta enorme importância social e econômica. A produção de *C. arabica* e *C. canephora* distribui-se em 16 estados da federação, em aproximadamente 2.000 municípios. O cultivo de café está presente em cerca de 287 mil propriedades rurais, em uma área cultivada de 2,16 milhões de hectares, resultando na geração de 8 milhões de postos de trabalho, diretos e indiretos (Silva et al., 2017). Dentre os estados produtores, destacam-se

Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná, que juntos, respondem por mais de 98% da produção nacional (Conab, 2020).

A produção brasileira de café em 2020 alcançou 61,62 milhões de sacas, colocando o país na posição de maior produtor e exportador, sendo responsável por cerca de um terço da produção mundial. Do total produzido, o *C. arabica* representa aproximadamente 76,9%, enquanto o *C. canephora* responde por cerca de 23,1% (Conab, 2020).

Além de maior produtor mundial de café, o Brasil evidencia-se por ser o segundo maior consumidor, atrás apenas dos Estados Unidos. Cerca de 22,25 milhões de sacas, o que corresponde a 35,4% da produção nacional, é consumido internamente, número que representa aproximadamente 13,2% do consumo mundial (ICO, 2020).

Devido às dimensões continentais e diversidade climática, o Brasil destaca-se como grande produtor de *Coffea*. A área cultivada com *C. arabica* no Brasil em 2020 alcançou 1,75 milhão de hectares, resultando em uma produção de 47,37 milhões de sacas. Por causa das condições edafoclimáticas, o estado de Minas Gerais notabiliza-se como maior produtor nacional de arábica. No mesmo ano, a área cultivada no estado foi de 1,23 milhão de hectares, o que representa 70,2% da área plantada com arábica no Brasil (Conab, 2020).

Para o *C. canephora*, a área cultivada no Brasil em 2020 alcançou 402,03 mil hectares, com produção de 14,25 milhões de sacas. O estado do Espírito Santo desponta como maior produtor dessa espécie, com área plantada de 265,20 mil hectares, o que corresponde a 65,9% da área total cultivada no país. No que tange à produção, o estado foi responsável em 2020, por 64,1% da produção nacional, com 9,13 milhões de sacas (Conab, 2020).

2.2 Café conilon no estado do Espírito Santo – histórico, evolução e importância socioeconômica

O cafeeiro conilon foi introduzido no estado do Espírito Santo em 1912, por iniciativa do então governador do estado, Jerônimo Monteiro, que levou as primeiras sementes e mudas para o município de Cachoeiro de Itapemirim, sul da unidade federativa. Porém, o cultivo do conilon só ganhou expressão na década de 70, no município de São Gabriel da Palha, região norte do estado (Silva et al.,

2017). A partir daí, inúmeros fatores contribuíram para o crescimento do cultivo do *C. canephora* no estado, entre eles: a redução da área cultivada com *C. arabica*, devido à política de erradicação dos cafezais, especialmente no período entre 1963 e 1967; o financiamento para a implantação de novas lavouras, que passou a atender aos plantios de conilon, em meados de 1970; a atuação do Instituto Brasileiro do Café (IBC) no desenvolvimento do café conilon; os impactos provocados na produção de café arábica, face ao ataque da ferrugem do café, ocorrido na segunda metade da década de 70; a implantação de uma indústria de café solúvel no estado, em 1971; e o crescente consumo de café solúvel nos mercados da Europa e América do Norte (Silva et al., 2017).

No início da década de 60, levantamentos do IBC mostravam que o cultivo de *C. canephora* se concentrava especialmente no sul do Espírito Santo. A partir daí, observou-se um progressivo deslocamento do cafeeiro conilon em direção à região norte do estado, especialmente em áreas próximas às margens do Rio Doce. Atualmente, essa região é responsável por maior parte da produção de conilon do estado (Ferrão et al., 2017a).

Dessa forma, em razão das condições edafoclimáticas, da vocação e talento dos cafeicultores, das políticas públicas empregadas, dos serviços de assistência técnica e extensão rural, de uma crescente demanda no mercado mundial, o estado do Espírito Santo iniciou sua trajetória de crescimento no cultivo e produção do *C. canephora* (Silva et al., 2017).

A produção de café conilon no estado do Espírito Santo passou por um período de grandes transformações nos últimos 50 anos. Contudo, as mudanças mais significativas que resultaram no aumento da produção e produtividade ocorreram nas últimas duas décadas (Silva et al., 2017). Segundo dados da Conab (2020), no ano de 2001, a produção capixaba de *Coffea canephora* foi 5,65 milhões de sacas, saltando para 9,13 milhões em 2020 (Conab, 2020), com redução na área cultivada. Para Ferrão et al. (2017b), esses resultados foram alcançados em virtude do trabalho desenvolvido por instituições públicas de pesquisa, assistência técnica e extensão rural, que resultou no melhoramento genético e desenvolvimento de novas cultivares; em tecnologias voltadas à irrigação das lavouras; em avanços no manejo da cultura, no que se refere ao adensamento, desbrota e poda; no adequado manejo da adubação e nutrição das

plantas; no controle de pragas e doenças; e em avanços no campo da colheita, pós-colheita e beneficiamento dos grãos.

Desde a década de 70, o cultivo do *Coffea canephora* apresenta relevante importância social e econômica para o estado do Espírito Santo. Atualmente, trata-se da principal atividade agrícola do estado. Apenas a cadeia produtiva do conilon responde por 35% do Produto Interno Bruto agrícola, movimentando bilhões de reais na economia capixaba (Incaper, 2020).

O *C. canephora* está presente em 64 dos 78 municípios capixabas, que se caracterizam pelo clima quente e altitude inferior a 500 metros. Seu cultivo ocorre em cerca de 40 mil propriedades rurais do estado, o que corresponde a cerca de 80% das propriedades rurais localizadas em terras quentes. Estima-se que 78 mil famílias estejam diretamente envolvidas na produção dos grãos, uma vez que as lavouras de conilon são responsáveis pela geração de 209,4 mil postos de trabalho no estado (Taques e Dadalto, 2017).

Considerando todos os seguimentos da economia envolvidos na cadeia produtiva do café conilon, que inclui a produção, agroindustrialização, comércio e distribuição de insumos, logística e exportação dos grãos, estima-se que essa atividade é responsável por gerar aproximadamente 250 mil empregos diretos e indiretos no estado (Incaper, 2020).

2.3 Origem, aspectos botânicos e fisiológicos do *Coffea canephora*

O *C. canephora* tem o continente africano como centro de origem, especialmente uma área de baixa altitude, quente e úmida, que se estende da Guiné ao Congo, da costa oeste à região central do continente (Conagin e Mendes, 1961). Foi descrito em 1897 pelo botânico alemão Albrecht Froehner como *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Charrier e Berthaud, 1985). Atualmente é a segunda espécie mais cultivada no mundo, ficando atrás apenas do *C. arabica* (ICO, 2020).

Devido aos avanços em análises morfológicas e moleculares, foi possível construir o arcabouço taxonômico do cafeeiro. O café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) é uma planta Eudicotiledônea, da classe das Angiospermas, subclasse das Sempetals, ordem Rubiales, família Rubiaceae,

subfamília Ixoroideae, tribo Coffeae, pertencente ao gênero *Coffea* (Davis et al., 2011).

Trata-se de uma espécie diploide ($2n = 2x = 22$ cromossomos), alógama, perene, sendo caracterizada como arbusto multicaule, de caules lenhosos e normalmente ramificada, com folhas alongadas de coloração verde menos intensa, lanceoladas, com bordas onduladas e nervuras salientes. Possui floração gregária, isso é, as plantas florescem simultaneamente. As flores são hermafroditas, de coloração branca, apresentando grande número de flores por inflorescência e por axila foliar. Apresenta autoincompatibilidade, ou seja, quando autopolinizada ou cruzada com indivíduos geneticamente relacionados, não resulta na fertilização e formação do zigoto. A polinização ocorre com o auxílio do vento e de insetos (Ferrão et al., 2017a).

Seus frutos de formado variável, a depender do material genético, normalmente são pequenos, esféricos, de coloração que varia de amarelo, laranja a vermelho, quando maduros (Souza et al., 2017). Esses apresentam elevado teor de sólidos solúveis e cafeína. Em razão disso, possui bebida mais neutra e amargor mais pronunciado, com menor acidez, empregado especialmente em misturas com o *C. arabica* e na fabricação de cafés solúveis (Pinheiro et al., 2019).

As plantas de *C. canephora* apresentam ramos com crescimento vertical, denominados ortotrópicos, enquanto os ramos plagiotrópicos ou produtivos crescem horizontalmente. Após atingir sua maturidade, os ramos ortotrópicos envelhecem, perdem o vigor e se tornam pouco produtivos. Essa característica da planta faz com que seja necessária a poda, para a renovação das hastes e a manutenção do potencial produtivo da lavoura (Verdin Filho et al., 2014).

De acordo com Rena e Guimarães (2000), o *C. canephora* apresenta sistema radicular pseudopivotante. Isso porque, geralmente as raízes pivotantes são curtas, grossas e terminam abruptamente. Para Silva et al. (2020), a morfologia, arquitetura, distribuição e profundidade das raízes no solo dependem de diversos fatores, como idade da planta, tipo de irrigação, manejo nutricional, atributos químicos do solo, densidade de plantio, práticas culturais, tipo de propagação utilizada, bem como do material genético.

Na implantação de lavouras comerciais, o *C. canephora* pode ser propagado sexuadamente, via sementes, ou assexuadamente, por meio da

clonagem de plantas, pela utilização da técnica de estaquia (Almeida et al., 2011). Até o início da década de 90, a propagação seminífera predominava nos viveiros do estado do Espírito Santo. Entretanto, com o avanço dos programas de melhoramento genético, o lançamento de cultivares clonais pelo Incaper e a implantação de jardins clonais, a propagação assexuada rapidamente se difundiu pelo estado e, hoje, representa a principal forma de produção de mudas (Fonseca et al., 2017).

A espécie *C. canephora* é composta por dois grupos distintos: robusta e conilon. O grupo robusta recebeu essa denominação em razão de sua rusticidade e resistência às doenças. É cultivado especialmente em países do continente Africano e Asiático, que respondem por cerca de 78% da produção dessa espécie. Já o grupo conilon tem seu nome derivado do rio Kouillou, no Congo. Seu cultivo ocorre predominantemente no Brasil, que apresenta poucas áreas de robusta, encontradas especialmente no estado de Rondônia (Ferrão et al., 2017a).

O cafeeiro conilon demonstra melhor desenvolvimento em regiões tropicais de baixa altitude, com temperaturas elevadas e médias anuais entre 22 e 26 °C. Esse grupo exige elevada demanda hídrica, sendo consideradas aptas para o cultivo em regiões com déficit hídrico anual menor que 200 mm (Tiques e Dadalto, 2017).

O *C. canephora* apresenta elevado potencial produtivo, tanto que a produtividade média brasileira alcançou 38,56 sacas beneficiadas de 60 kg por hectare, em 2020 (Conab, 2020). No entanto, é comum em propriedades que cultivam conilon no norte do estado do Espírito Santo, se obter produtividade superior a 100 sacas por hectare, especialmente em lavouras conduzidas sem restrição hídrica, com manejo de pragas e doenças, nutrição equilibrada, materiais genéticos responsivos e tratos culturais adequados (Partelli et al., 2016).

2.4 Dinâmica do nitrogênio no solo e adubação nitrogenada em *Coffea canephora*

O ciclo do N é complexo e sua dinâmica no solo é influenciada por diversos fatores, podendo destacar o pH do meio, teor de matéria orgânica, textura do solo, aeração do solo e atividade microbológica (Cameron et al., 2013).

De forma geral, o N disponível para as plantas, pode ser proveniente da mineralização de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal; da adubação mineral, fornecido na forma nítrica (NO_3^-), amoniacal (NH_4^+) ou amídica [$\text{CO}(\text{NH}_2)$]; da fixação biológica de N, por meio da associação entre bactérias e cianobactérias capazes de realizar, em simbiose com plantas, fungos e diatomáceas, a fixação do N; da fixação de N por microrganismos de vida livre que habitam o solo; das chuvas, onde o ácido nítrico formado na atmosfera é proveniente das reações ocasionadas pela energia dos relâmpagos, ou por reações fotoquímicas entre o óxido nítrico e o ozônio na estratosfera (Taiz et al., 2017).

No solo, o N encontra-se na forma orgânica e mineral, prevalecendo a forma orgânica, que corresponde em média, a 95% do N total. A mineralização da matéria orgânica por meio da atividade microbiológica e atuação de enzimas específicas disponibiliza ao solo, na forma amoniacal, o N presente nas diferentes biomoléculas que compunham o resíduo orgânico mineralizado. No entanto, a matéria orgânica pode ser fonte ou dreno de N, dependendo da natureza do material, especialmente a relação carbono/nitrogênio. Para atuar em substratos com elevada relação carbono/nitrogênio, os microrganismos decompositores utilizam N mineral presente na solução do solo. Entretanto, à medida que o substrato é metabolizado, o carbono orgânico é oxidado e a relação carbono/nitrogênio diminui, havendo então, liberação líquida de N mineral ao solo (Chen et al., 2014).

Embora o N possa ser absorvido pelas raízes na forma de amônio, nitrato, ureia, ureídeos, aminoácidos e peptídeos (Feng et al., 2020; Han et al., 2016), as formas inorgânicas NO_3^- e NH_4^+ apresentam maior contribuição na nutrição mineral de plantas.

No solo, o amônio, resultante da mineralização de resíduos orgânicos, ou proveniente de fertilizantes amoniacais, ou ainda amídicos – que geram amônio com sua hidrólise – normalmente é rapidamente oxidado a nitrato, em um processo mediado por bactérias, denominado nitrificação (Barth et al., 2019). Por isso, o nitrato representa a principal forma de N absorvido pelas plantas, ocorrendo em menor proporção à absorção de amônio (Noguero e Lacombe, 2016).

Em cultivos de *C. canephora*, o uso de fertilizantes nitrogenados é um recurso eficaz para elevar a produtividade da cultura (Oliosi et al., 2017), porque o N é o nutriente mais extraído pelo cafeeiro conilon (Dubberstein et al., 2016; Covre et al., 2018). De acordo com Partelli et al. (2016), os teores de N em folhas diagnóstico do cafeeiro conilon atingem valores médios de 30,6 g kg⁻¹, sendo considerado como faixa de suficiência adequada para lavouras com elevada produtividade, teores de 23,4 a 34,2 g kg⁻¹ em pré-florada e de 25,2 a 33,3 g kg⁻¹ no período de granação.

O N está presente em diversos compostos orgânicos nos vegetais, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, trifosfato de adenosina, ácido indol acético, coenzimas como NAD e NADP e vitaminas do complexo B, tendo função central na produtividade das culturas (Taiz et al., 2017). Assim, a nutrição equilibrada com N resulta em rápido desenvolvimento do cafeeiro, com aumento na área foliar (Colodetti et al., 2014), crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos (Abranches et al., 2019; Magiero et al., 2017), número de nós por ramo plagiotrópicos (Abranches et al., 2018) e de frutos por nó (Lima et al., 2016). Todas essas variáveis resultam, em última análise, no aumento de produtividade das plantas.

Recentemente, o desenvolvimento de materiais genéticos com elevada produtividade tem alterado o manejo da adubação nitrogenada e a recomendação de N em lavouras de *C. canephora*. Isso, porque a produtividade alcançada por novas cultivares disponíveis no mercado é superior a 6.000 kg de café beneficiado por hectare. Como consequência, torna-se necessário o emprego de altas doses de N para a adequada nutrição de plantas com elevado potencial produtivo (Partelli et al., 2016).

O emprego de altas doses de N para a obtenção de elevada produtividade em *C. canephora* está previsto no manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2017). Recentemente, o fornecimento de elevadas doses de N como estratégia para o aumento na produtividade do cafeeiro conilon foi estudado por Busato et al. (2016). Nesse trabalho de longa duração conduzido em campo, utilizando o clone 12 da cultivar “Vitoria-Incaper 8142”, a produtividade máxima no primeiro ano de avaliação, 144,8 sacas ha⁻¹, foi alcançada com o fornecimento de 830 kg ha⁻¹ de N; enquanto na segunda safra, a produtividade máxima, 120,5 sacas ha⁻¹, foi

obtida com o fornecimento de 815 kg ha⁻¹ de N.

2.5 Dinâmica do molibdênio no sistema solo-planta

Dentre os micronutrientes, o Mo é seguramente o menos abundante na crosta terrestre. De forma geral, sua concentração nas rochas é baixa, sendo mais profuso em rochas ígneas básicas (Kaiser et al., 2005). Segundo Pereira et al. (2013), esse elemento é comumente encontrado em minerais na forma de molibdenita, ferromolibdenita, powellita, molibdita e wulfenita.

No solo, o Mo encontra-se na forma de H₂MoO₄, HMoO₄⁻ ou MoO₄²⁻, a depender do pH do meio. Em ambientes ácidos, prevalece a forma iônica HMoO₄⁻, enquanto o ânion molibdato (MoO₄²⁻) ocorre predominante em solos com pH superior a 5,0 (Kaiser et al., 2005). Os teores de Mo no solo ficam entre 0,11 e 6 mg kg⁻¹, sendo pouco comum, solos com elevadas concentrações desse nutriente (Nie et al., 2020).

A disponibilidade do Mo no solo é fortemente influenciada pelo pH do meio, sendo maior com a redução da acidez. A relação entre pH e disponibilidade de Mo no solo deve-se especialmente a dois fatores principais: primeiro, a redução do pH eleva a densidade de cargas positivas nos coloides minerais do solo, com cargas dependentes de pH, tornando o solo mais eletropositivo, aumentando a adsorção do Mo (Xu et al., 2013). Em segundo lugar, com a elevação do pH, além da redução da densidade de cargas positivas nos coloides minerais, as hidroxilas presentes na solução do solo deslocam o ânion MoO₄²⁻ retido na superfície dos coloides para a solução do solo, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas. Por isso, a redução do pH do solo em uma unidade resulta em diminuição de 10 vezes na disponibilidade de Mo às plantas (Malavolta, 2006).

A dinâmica de cargas do solo apresenta grande influência na adsorção e disponibilidade de Mo na solução. Em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, com predomínio de hematita, goethita e gibbsita na fração argila, a adsorção específica do MoO₄²⁻ é elevada, devido à grande densidade de cargas positivas na superfície dos coloides minerais, decorrente do elevado ponto de carga zero (Rutkowska et al., 2017).

Outro fator que afeta fortemente a disponibilidade do Mo no solo é a formação de precipitados com ferro e alumínio, especialmente em latossolos. Os precipitados de Ferro-Molibdatos e Alumínio-Molibdatos removem o Mo da solução do solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas. A reversibilidade dessas reações dependerá da solubilidade dos compostos formados e do pH do meio (Dechen et al., 2018).

A influência da matéria orgânica do solo na disponibilidade de Mo às plantas ainda é pouco conhecida e os resultados, contraditórios. Alguns trabalhos mostram aumento na disponibilidade de Mo com incremento dos teores de matéria orgânica do solo, já outras pesquisas apontam para uma diminuição dos teores desse nutriente (Siebert et al., 2015).

A interação entre nutrientes também afeta significativamente a disponibilidade de Mo para as plantas e a absorção pelas raízes. O fósforo e enxofre são os nutrientes que apresentam maior interação com o Mo no solo. Esses elementos exercem efeito contrário sobre a disponibilidade de Mo às plantas. O fósforo apresenta efeito sinérgico com o Mo, pois a elevação dos teores de fósforo no solo faz com que o fosfato desloque do complexo de troca o Mo que estava retido às cargas positivas nos coloides, resultando em aumento na concentração de Mo na solução do solo. Além disso, a interação desses dois elementos pode resultar na formação de compostos fosfomolibdatos, que, devido à sua solubilidade, são rapidamente absorvidos pelas raízes (Wurzburger et al., 2012). Em contrapartida, a elevada concentração de enxofre no solo promove a redução na absorção de Mo, devido à inibição competitiva, na qual ambos os ânions competem pelos mesmos transportadores na membrana plasmática das células das raízes (Vatansever et al., 2016).

A maior parte do Mo é absorvido pelas plantas como oxiânion MoO_4^{2-} , sendo que o fluxo de massa tem maior contribuição no transporte desse nutriente até a superfície das raízes (Malavolta, 2006). O processo de absorção envolve tanto a participação de transportadores específicos de alta afinidade, quanto de transportadores de sulfato. Após absorvido, o Mo é utilizado na síntese de biomoléculas nos vegetais, especialmente das enzimas xantina desidrogenase, amidoxima redutase mitocondrial, aldeído oxidase, sulfito oxidase, nitrato redutase (NR) e nitrogenase (Rana et al., 2020).

O ânion molibdato apresenta mobilidade moderada nos tecidos vegetais. Por isso, sua deficiência pode se manifestar nas folhas mais velhas ou novas, dependendo da cultura. De maneira geral, os sintomas normalmente estão associados à deficiência de N e ao acúmulo de nitrato nos tecidos, uma vez que o Mo está intimamente ligado à atividade da enzima NR e ao processo de redução do nitrato nos vegetais (Marschner, 2011).

As concentrações de Mo nas plantas variam fortemente, a depender da espécie vegetal e da parte da planta analisada. Malavolta (2006) considera como faixa de suficiência para as espécies cultivadas, teor foliar entre 0,6 e 10 mg kg⁻¹. Santos et al. (2018) verificaram teores foliares de Mo superiores a 1,0 mg kg⁻¹ durante o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, enquanto para a cultura do milho, Araújo et al. (2010) obtiveram maior produtividade em plantas com teores foliares de Mo superiores a 1,0 mg kg⁻¹. De acordo com Bittner (2014), nas plantas, grande parte do Mo encontra-se compondo a enzima NR e nitrogenase, o que evidencia a importância desse nutriente no metabolismo do N.

2.6 Processos enzimáticos envolvidos no metabolismo do nitrogênio

O N apresenta uma dinâmica muito complexa no tecido vegetal, semelhante àquela observada no solo. Após absorvido pelas raízes das plantas, o NH₄⁺ e o NO₃⁻ seguem rotas diferentes. Embora os vegetais possam absorver o N na forma amoniacal, nítrica e amídica, a assimilação do N, ou seja, sua utilização na síntese de biomoléculas, especialmente aminoácidos, somente ocorre sob a sua forma reduzida (NH₄⁺) (Feng et al., 2020).

Depois de absorvido pelas raízes, o amônio pode tornar-se tóxico às plantas, quando presente em níveis elevados no tecido vegetal. Isso, pois esse íon atua dissipando o gradiente de prótons transmembrana, essencial para a ocorrência de vários processos nos vegetais, entre eles o transporte de elétrons na membrana dos tilacoides, durante a fotossíntese, bem como o transporte de elétrons na membrana interna das mitocôndrias, no processo de respiração. Desse modo, as plantas normalmente assimilam o amônio próximo da região de absorção. Quando a absorção de amônio supera a capacidade da planta em assimilar esse íon, o NH₄⁺ é acumulado temporariamente nos vacúolos das

células, para ser posteriormente incorporado a compostos orgânicos (Taiz et al., 2017).

A principal rota de assimilação do N em compostos orgânicos nos vegetais é a síntese de glutamina, devido à atuação da enzima glutamina sintetase (GS), por meio da reação $\text{glutamato} + \text{NH}_4^+ + \text{ATP} \longrightarrow \text{glutamina} + \text{ADP} + \text{Pi}$. A enzima GS está presente no citosol, onde utiliza o N absorvido na forma amoniacal pelas raízes; e nos plastídios em tecidos não clorofilados ou cloroplastos em tecidos clorofilados, onde utiliza o amônio proveniente da redução do nitrato. Nos cloroplastos, a GS pode utilizar ainda o NH_4^+ proveniente da fotorrespiração. Contudo, pode ocorrer em condições específicas, a assimilação do amônio por uma rota alternativa, em uma reação catalisada pela glutamato desidrogenase. Essa rota apresenta menor relevância no processo de assimilação do N. Assim, considerando a rota principal de assimilação do N, o amônio é utilizado para a síntese de glutamina, importante aminoácido presente nos vegetais. O N presente na glutamina, posteriormente pode ser transferido e incorporado a outros aminoácidos, como a asparagina, por exemplo, por meio de reações de transaminação (Marschner, 2011).

Já o N nítrico, após absorvido pelas raízes, segue uma rota mais complexa. No citosol das células vegetais, o nitrato é reduzido a nitrito (NO_2^-), pela atuação da enzima NR, que catalisa a reação $\text{NO}_3^- + \text{NAD(P)H} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{NAD(P)}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Nessa reação, o NADH e NADPH atuam como doadores de elétrons (Rana et al., 2020).

O NO_2^- é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico às plantas. Por isso, as células vegetais transportam rapidamente o nitrito formado no citosol para os plastídios ou cloroplastos (Bittner, 2014). Nessas organelas, o NO_2^- é reduzido a NH_4^+ pela enzima nitrito redutase, por meio da reação $\text{NO}_2^- + 6 \text{ Ferredoxina reduzida} + 8\text{H}^+ \longrightarrow \text{NH}_4^+ + 6 \text{ Ferredoxina oxidada} + 2\text{H}_2\text{O}$. Nessa reação, a ferredoxina atua como doador de elétrons. Posteriormente, o amônio formado será utilizado na síntese de biomoléculas (Taiz et al., 2017).

2.7 Atividade da enzima nitrato redutase e adubação molíbdica

De acordo com Debouba et al. (2013), para a maioria das culturas, a absorção de nitrato pelas raízes supera o amônio. Por isso, sob o ponto de vista

metabólico, a enzima NR é considerada chave no processo de assimilação do N, uma vez que catalisa o primeiro passo na via de redução do nitrato. Para Santos et al. (2019), trata-se da etapa mais limitante do processo de redução do nitrato para a incorporação do N em compostos orgânicos.

A enzima NR é uma flavoproteína, localizada primariamente no citosol das células corticais da epiderme da raiz e nas células mesofílicas da parte aérea das plantas (Marschner, 2011). Essa enzima é formada por duas subunidades idênticas, com três grupos prostéticos cada, sendo o grupo flavina adenina dinucleotídeo (FAD), grupo Heme e um complexo molibdênio, formado por Mo e uma molécula de pterina (Rana et al., 2020).

A redução do nitrato a nitrito nos vegetais ocorre em razão da presença do substrato, do aparato enzimático e de agentes redutores. Inicialmente, dois elétrons são doados pelo NADH e NADPH ao grupo FAD. Em seguida, esses elétrons são deslocados para o grupo Heme e posteriormente para o complexo molibdênio. Nessa subunidade da enzima NR, os elétrons recebidos são transferidos para a reação de redução do NO_3^- a NO_2^- (Taiz et al., 2017).

Inúmeros aspectos afetam a atividade da NR. Freitas et al. (2007) relatam que a NR é altamente modulada por fatores ambientais, como luz, temperatura e disponibilidade de água, enquanto Bittner (2014) destaca a disponibilidade de carboidratos e agentes redutores nos tecidos vegetais. Para Noguero e Lacombe (2016), a síntese da enzima e a atividade da NR estão intimamente ligadas à presença de substrato, de modo que há uma relação entre atividade da NR e disponibilidade de NO_3^- nas células vegetais.

Além dos fatores mencionados anteriormente, a disponibilidade de Mo para as plantas, bem como a adequada nutrição molibídica, tem grande influência na síntese e atividade da NR. Isso, porque esse nutriente é componente estrutural da enzima, sendo a NR a principal proteína contendo Mo nos vegetais (Rana et al., 2020). Marschner (2011) cita que, em condições de deficiência de Mo, a atividade da NR é reduzida, provocando acúmulo de nitrato na planta e sintomas de deficiência de N, mesmo quando as plantas apresentam adequado suprimento desse nutriente.

A relação existente entre nutrição molibídica e atividade da NR foi observada por diversos autores, como Chagas et al. (2015) para a cultura da soja, Santos et al. (2019) para a cana-de-açúcar e Imran et al. (2019) para o trigo.

Todos os autores verificaram aumento da atividade da NR com o fornecimento de Mo, que, em última análise, resultou em maior desenvolvimento das plantas e aumento de produtividade.

3. TRABALHOS

3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NUTRIÇÃO MOLÍBDICA DO CAFEIRO CONILON ADUBADO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO¹

RESUMO - O molibdênio é um elemento mineral essencial às plantas, encontrado em baixas concentrações no solo. Sua disponibilidade é fortemente afetada pelo pH do solo, que determina a dinâmica de cargas elétricas e a adsorção do molibdato. Objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo e na nutrição molíbdica do *Coffea canephora*, avaliado em dois ciclos produtivos, em condições de campo. O experimento foi conduzido no período de junho de 2018 a maio de 2020. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de nitrogênio (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica. Ao término de cada ciclo produtivo, coletaram-se amostras de solo para avaliação do pH em H₂O, pH em KCl, alumínio trocável, acidez potencial, matéria orgânica e molibdênio, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Também foram retiradas o 3º e 4º par de folhas de ramos plagiotrópicos situados no terço médio da planta para a determinação dos teores de molibdênio. Os resultados demonstram que a ureia

¹ Artigo submetido à Revista Brasileira de Ciência do Solo.

apresentou elevado potencial de acidificação do solo, influenciando os valores de alumínio trocável, acidez potencial e ΔpH , nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. A diminuição do pH provocada pelas doses de nitrogênio proporcionou alterações no perfil de cargas elétricas do solo e reduziu em 67% os teores de molibdênio nas folhas do *C. canephora*. A aplicação de molibdato de sódio via solo foi eficiente em fornecer molibdênio ao cafeeiro conilon. No entanto, a adubação molíbdica não influenciou os teores de molibdênio no solo, nas avaliações realizadas ao final de cada ciclo produtivo. O cafeeiro mostrou-se eficiente na absorção radicular de molibdênio, superando as limitações impostas pelo rápido processo de adsorção do molibdato e formação do molibdênio não-lábil.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, acidez do solo, cargas elétricas positivas, adsorção de molibdênio.

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND MOLYBDIC NUTRITION OF CONILON COFFEE FERTILIZED WITH NITROGEN AND MOLYBDENUM

ABSTRACT - Molybdenum is an essential mineral element for plants, found in low concentrations in the soil. Its availability is strongly affected by the pH of the soil, which determines the dynamics of electrical charges and the adsorption of molybdate. The present study aims to evaluate the effects of the application of N doses and fertilization with Mo on the chemical attributes of a Yellow Latosol and on the molybdic nutrition of *Coffea canephora*, evaluated during two productive cycles, under field conditions. The experiment was conducted from June 2018 to May 2020. The experimental design used was in randomized blocks, in a 5 x 2 factorial scheme, being the first factor nitrogen doses (300, 500, 700, 900 and 1,100 kg ha⁻¹ year⁻¹) and second factor the absence and presence of molybdic fertilization. At the end of each production cycle, soil samples were collected to evaluate the pH in H₂O, pH in KCl, exchangeable aluminum, potential acidity, organic matter and molybdenum, at depths of 0-20 cm and 20-40 cm. The 3rd and 4th pairs of leaves were collected of the plagiotropic branches located in the middle third of the plant to determine molybdenum levels. The results show that urea has high potential for soil acidification, influencing the values of exchangeable aluminum, potential acidity and ΔpH , at depths of 0-20 and 20-40

cm. The decrease in pH caused by the doses of nitrogen affected the electric charge profile of the soil and reduced molybdenum content in the leaves of *C. canephora* by 67%. The application of sodium molybdate via soil was efficient in providing molybdenum to conilon coffee. Nevertheless, molybdic fertilization did not influence the molybdenum content in the soil in the evaluations carried out at the end of each productive cycle. The coffee tree proved to be efficient in the root absorption of molybdenum, overcoming the limitations imposed by the fast process of adsorption of molybdate and formation of non-labile molybdenum.

Keywords: *Coffea canephora*, soil acidity, positive electrical charges, adsorption of molybdenum.

INTRODUÇÃO

Em lavouras de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), os fertilizantes nitrogenados de hidrólise ácida são os maiores responsáveis pela acidificação do solo, devido às elevadas doses de N empregadas no cultivo (Partelli et al., 2012). Colodetti et al. (2015) destacam que o N é o nutriente requerido em maior quantidade pelo cafeeiro conilon, tanto que Prezotti et al. (2017) recomendam, para lavouras com elevado potencial produtivo, doses de N superiores a 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Fatores econômicos relacionados ao processo de produção fazem da ureia o fertilizante nitrogenado mais consumido na agricultura mundial (Silva et al., 2011). Devido a facilidade de aquisição, elevada concentração de N, menor custo por quilograma de N, baixa corrosividade e elevada solubilidade, a ureia é a fonte de N mais utilizada em lavouras de *C. canephora* (Olios et al., 2017).

Após aplicada ao solo, a ureia sofre hidrólise enzimática, resultando na formação do amônio, no consumo de íons H⁺ e elevação do pH. No entanto, a nitrificação do NH₄⁺ acarreta na geração de prótons, com a redução do pH para valores inferiores aos originais (Rochette et al., 2013). Para o cafeeiro, diversos autores verificaram redução do pH do solo com o fornecimento de N na forma de ureia (Díaz et al., 2011; Partelli et al., 2012; Dominghetti et al., 2016).

O molibdênio (Mo) é um elemento mineral essencial às plantas, encontrado em baixas concentrações no solo. Nas plantas, integra diferentes

sistemas enzimáticos, sendo encontrado na xantina desidrogenase, amidoxima redutase mitocondrial, aldeído oxidase, sulfito oxidase, nitrato redutase e nitrogenase (McGrath et al., 2010). O Mo está presente em baixas concentrações na litosfera, sendo mais abundante em rochas ígneas básicas. É comumente encontrado nos minerais na forma de molibdenita, ferromolibdenita, powellita, molibdita e wulfenita (Kaiser et al., 2005). Na solução do solo, mantém-se na forma de H_2MoO_4 , HMoO_4^- ou MoO_4^{2-} , a depender da acidez do meio. Todavia, em solos com pH superior a 5, ocorre predominante o molibdato (MoO_4^{2-}), forma iônica mais absorvida pelas plantas (Noguero e Lacombe, 2016).

Diversos fatores afetam a disponibilidade do Mo na solução do solo, podendo destacar a textura do solo, a presença de oxidróxidos de ferro e alumínio na fração argila, o aporte de carbono orgânico, o potencial redox, a interação iônica com fósforo e enxofre e a acidez (Rutkowska et al., 2017). Xu et al. (2013) afirmam que o pH é o fator que provoca os maiores efeitos na disponibilidade de Mo na solução do solo, pois em solos ácidos, ocorre o aumento na densidade de cargas elétricas positivas na superfície dos coloides minerais, favorecendo a adsorção específica e a formação do Mo não-lábil.

Os solos podem ser naturalmente ácidos, em decorrência do material de origem e da intensidade dos agentes do intemperismo. Por conseguinte, em solos cultivados, diversos fatores podem contribuir para o processo de acidificação, como a absorção de cátions pelas plantas com posterior extrusão de íons H^+ , a lixiviação das bases no solo, a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das plantas, a mineralização da matéria orgânica, a nitrificação e o emprego de fertilizantes minerais (Rosado et al., 2014; Goulding, 2016).

Objetivou-se no presente estudo, avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo e na nutrição molíbdica do *C. canephora*, conduzido por dois ciclos produtivos, em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de junho de 2018 a maio de 2020 no município de Santa Teresa, estado do Espírito Santo, Brasil, situado entre as coordenadas $19^\circ 47' 15''$ de latitude sul e $40^\circ 38' 52''$ de longitude oeste de

Greenwich e altitude média de 165 metros. O clima da região é tropical, com inverno seco e verão chuvoso, Aw segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

O solo, de declividade Suave Ondulado, foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2018), classe textural Franco Argilosa, apresentando para a profundidade de 0-20 cm, 436, 243 e 321 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, e 367, 265 e 368 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, para a profundidade de 20-40 cm.

A lavoura foi implantada em abril de 2016, com espaçamento de 3,0 x 0,9 metros, com 3.704 plantas por hectare, e conduzida com três hastes por planta, seguindo as recomendações de Verdin Filho et al. (2014). A área experimental foi composta por seis materiais genéticos distintos e compatíveis entre si, sendo avaliadas plantas do clone 108P, pertencente à cultivar Diamante ES8112.

Desde o plantio do cafeeiro, o manejo da fertilidade do solo foi realizado de acordo com as recomendações de Prezotti et al. (2017), utilizando os fertilizantes nitrato de cálcio, fosfato monoamônico, cloreto de potássio, sulfato de magnésio, óxido de zinco e ácido bórico como fontes de N+Ca, P+N, K, Mg+S, Zn e B, respectivamente.

Após a primeira colheita, em junho de 2018, realizou-se a coleta de solo na área experimental para caracterização química, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1). Os resultados da análise de solo não indicaram a necessidade do uso de corretivo de acidez.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Junho de 2018																		
Profun- didade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----							----%----			
0-20	6,3	5,0	1,0	0,0	2,9	9,9	7,0	123	350	16	3,0	137	14	139	0,6	0,7	2,4	70,8
20-40	6,1	4,0	0,6	0,0	2,5	7,9	5,4	55	280	8	2,0	175	12	120	0,4	0,5	1,7	68,5
Abril de 2019																		
Profun- didade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----							----%----			
0-20	5,9	4,6	1,2	0,0	3,3	10,0	6,7	108	335	19	7,2	142	9,3	151	0,8	3,1	2,1	67,0
20-40	5,8	3,8	0,6	0,1	2,9	8,1	5,2	45	316	9	3,8	156	9,1	109	0,4	1,4	1,5	64,2

pH em H₂O 1:2,5; Ca, Mg e Al: extraídos por KCl; H+Al: extraídos por acetato de cálcio; P: extraído por resina de troca aniônica; K, Cu, Fe, Zn, Mn e Mo: extraídos por Mehlich; S-SO₄²⁻: extraído por fosfato de cálcio; B: extraído por cloreto de bário; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; SB: soma de bases; MO: matéria orgânica, determinada pelo método Walkley-Black; V: porcentagem de saturação por bases.

A adubação do cafeeiro conilon (exceto para N e Mo) durante o período experimental obedeceu às recomendações de Prezotti et al. (2017) para lavouras com produtividade estimada entre 131-170 sacas beneficiadas de 60 kg por hectare. Os tratos culturais empregados no cafeeiro, no que refere a desbrota, poda, manejo fitossanitário e controle de plantas invasoras seguiram as recomendações técnicas de Ferrão et al. (2017).

Ao longo de todo o período experimental, sempre que a precipitação pluvial foi insuficiente, realizou-se a irrigação do cafeeiro, sendo a lâmina aplicada calculada em razão da evapotranspiração da cultura (ET_c), obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (k_c) em cada fase de desenvolvimento. A ET_o foi calculada pelo método Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998), utilizando-se dados meteorológicos obtidos em uma estação climatológica automática pertencente ao Ifes - Campus Santa Teresa, localizada a 3,8 km da área experimental. Para o k_c, foram adotados valores sugeridos por Bonomo et al. (2017).

Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, com espaçamento de 30 cm entre gotejadores, resultando em uma faixa irrigada contínua. Adotou-se o turno de rega fixo, sendo as irrigações realizadas a cada três dias, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo (CC). Na Figura 1 são

apresentados os valores dos dados meteorológicos observados durante o período experimental.

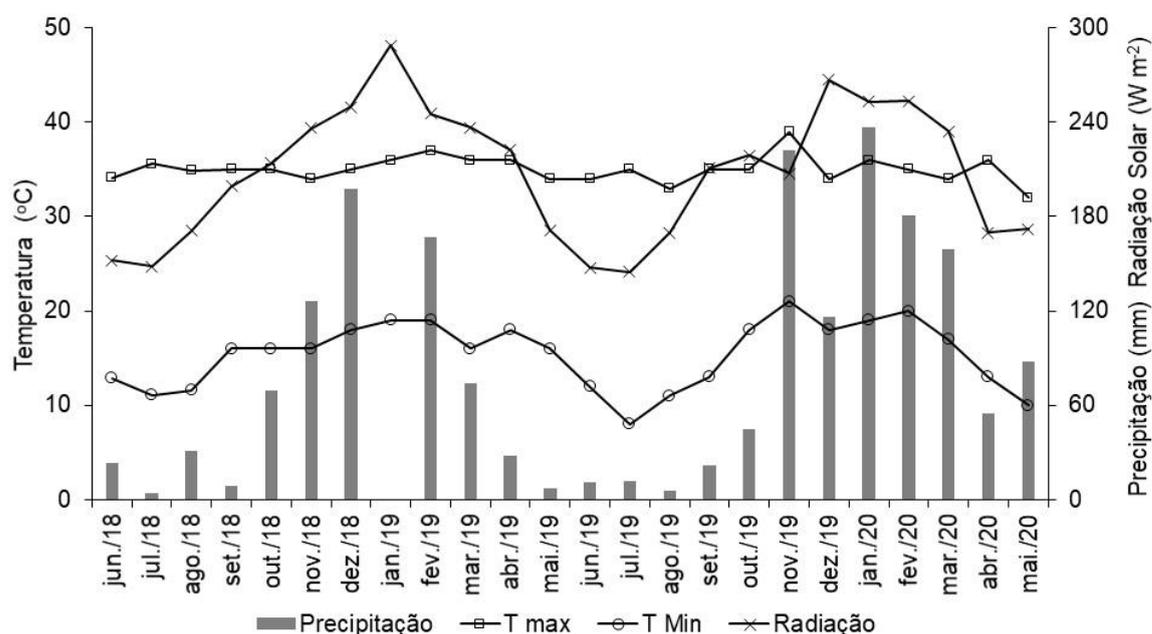


Figura 1. Valores das variáveis climáticas observados durante o período experimental (junho/2018 a maio/2020).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de N (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Para a escolha das doses de N, considerou-se a dose de 560 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sugerida por Prezotti et al. (2017) para lavouras de conilon com produtividade estimada de 131 a 170 sacas por hectare. A menor dose de N empregada nesse estudo representa aproximadamente metade da recomendação, enquanto a maior, é quase o dobro da dose indicada. A parcela experimental foi composta por 21 plantas, dispostas em três fileiras, considerando úteis as cinco plantas da linha central, pois as duas plantas das extremidades, bem como as duas fileiras laterais serviram como bordadura.

Durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020, a aplicação dos tratamentos (N e Mo) ocorreu entre outubro e fevereiro. Em cada ano agrícola, a dose de N proposta para os diferentes tratamentos foi dividida em cinco aplicações e realizadas no início dos meses de outubro, novembro, dezembro,

janeiro e fevereiro. Como fonte de N, utilizou-se a ureia agrícola (46% de N), por possuir elevada solubilidade e apresentar menor custo por kilograma de N.

Para a aplicação do N, após pesada em balança digital eletrônica, a ureia foi dissolvida em água, obtendo-se uma solução homogênea com 129,1 g L⁻¹ de ureia. Posteriormente, a solução foi aplicada sobre o solo, paralela à mangueira de irrigação, com o auxílio de copos de polietileno previamente aferidos. Em cada uma das cinco aplicações, cada planta recebeu 272, 454, 636, 818 e 1.000 mL de solução, referente aos tratamentos 300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Imediatamente após o fornecimento do N, procedeu com a irrigação do cafeeiro conilon, visando promover a rápida incorporação da ureia no solo, favorecer a absorção de N pelas plantas, além de reduzir as perdas de N por volatilização da amônia.

Considerando os resultados obtidos por Araújo et al. (2010) para a cultura do milho, com incrementos de produtividade até a dose de 1,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado via foliar; a intensidade do processo de adsorção de Mo e formação de Mo não-lábil em solos tropicais (Nie et al., 2020; Wurzbürger et al., 2012; Santos, 2012); os poucos relatos de toxidez por molibdênio em espécies cultivadas (Singh et al., 2010); e as doses de N empregadas nesse estudo; optou-se pela dose de 4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado ao solo. Em cada ano agrícola, a dose de Mo foi dividida em duas aplicações e realizadas no início dos meses de novembro e janeiro, empregando o fertilizante molibdato de sódio (39% Mo) como fonte de Mo. Após pesado em balança digital de precisão, o molibdato de sódio foi dissolvido em água, obtendo-se uma solução homogênea com 55,4 g L⁻¹ de molibdato de sódio. Em seguida, cada planta recebeu 25 mL da solução, utilizando uma pipeta semiautomática de volume fixo. Posteriormente, foi acionado o sistema de irrigação, permitindo a incorporação do fertilizante e a rápida absorção do Mo pelas plantas.

Em cada ano agrícola avaliado, ao final de novembro e janeiro, foram retiradas folhas do *C. canephora* para a determinação dos teores de Mo. Coletaram-se o 3º e 4º par de folhas a partir da extremidade de ramos plagiotrópicos situados no terço médio da planta, em dois ramos plagiotrópicos voltados para lados opostos, na entre linha da lavoura. Realizou-se a coleta em todas as cinco plantas úteis de cada unidade experimental. Em seguida, as folhas de cada parcela foram acondicionadas em saco de papel, identificadas e levadas

para estufa de circulação de ar, onde foram mantidas por 96 horas, com temperatura entre 60° e 65° C. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas em sacos de polietileno. Os teores de Mo foram determinados após digestão aberta com HNO₃ e H₂O₂ e quantificados em aparelho de espectrometria de emissão atômica (ICPE-9000) (Peters, 2005).

Ao final de maio de 2019 e 2020, foram retiradas, com o auxílio de um trado holandês, amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para avaliar os atributos químicos do solo nas diferentes profundidades. Em cada parcela, coletaram-se cinco amostras simples para cada profundidade avaliada, que foram homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta. Essa, posteriormente, foi seca ao ar, destorroada e passada em peneira de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar; em seguida, foi encaminhada para o laboratório para a realização das seguintes análises químicas: pH em H₂O (1:2,5), pH em KCl (KCl 1,0 mol L⁻¹), Al trocável (extrator KCl 1,0 mol L⁻¹), acidez potencial (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹), matéria orgânica (método Walkley-Black, oxidação úmida com Na₂Cr₂O₇ + H₂SO₄) e Mo (extrator Mehlich-1, HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), seguindo metodologias descritas por Silva (2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em razão da significância para as variáveis, foram ajustadas equações de regressão. Adotou-se o nível de significância de 5% (P<0,05) em todos os testes estatísticos, utilizando o programa R (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre o fator qualitativo (Mo) e o quantitativo (N), para os atributos do solo, durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Entretanto, verificou-se efeito isolado da adubação nitrogenada para as variáveis avaliadas.

Observa-se na Figura 2A que o aumento das doses de N aplicado ao solo, promoveu decréscimo nos valores de pH, para as profundidades analisadas. Na análise realizada em 2019, para a profundidade de 20-40 cm, verificou-se redução linear para os valores de pH. Para as demais avaliações, o modelo de ajuste quadrático foi o que melhor representou o comportamento dos dados obtidos.

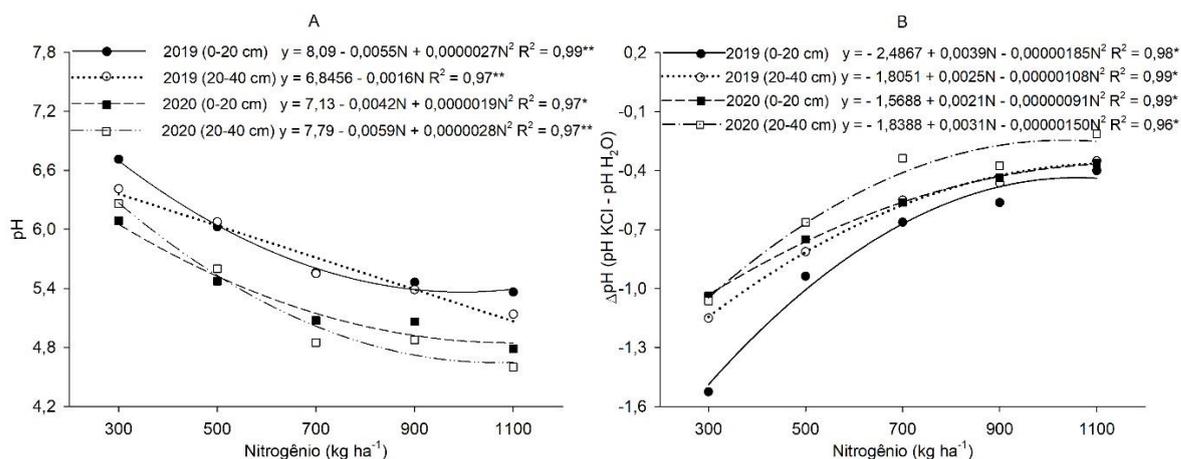
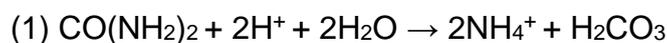


Figura 2. Valores de pH em H₂O (A) e ΔpH (pH em KCl - pH em H₂O) (B) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm do solo cultivado com café conilon, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Comparado ao tratamento que recebeu a menor dose de N, a aplicação de 1.100 kg ha⁻¹ de N reduziu o pH do solo em 1,38 e 1,28 unidade, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nos resultados observados em 2019. No segundo ano avaliado, registraram-se decréscimos de 1,23 e 1,58 unidade, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Os resultados apresentados evidenciam o efeito da adubação nitrogenada na acidificação do solo, visto que a redução do pH em uma unidade corresponde ao aumento em dez vezes na atividade hidrogeniônica, devido à escala logarítmica empregada.

O valor de pH indica o teor de íons hidrônio (H₃O^{+(aq)}) livres por unidade de volume da solução, caracterizado como acidez ativa. De acordo com Minato et al. (2020), a hidrólise enzimática da ureia resulta inicialmente em aumento do pH do solo, especialmente próximo aos grânulos do fertilizante, em razão do consumo de íons H⁺ (Equação 1). Porém, Rochette et al. (2013) destacam que, após a nitrificação do amônio, o pH decresce para valores inferiores aos originais, devido à geração de íons H⁺ (Equações 2 e 3). Com isso, cada molécula de ureia gera, no final do processo de nitrificação do amônio, um saldo de dois íons H⁺.



Diversos autores relataram intensa acidificação do solo após a aplicação de N na forma de ureia. Em Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com café conilon, Guarçoni (2011) registrou aumento da acidez do solo na profundidade de 0-20 cm, com redução média do pH em 0,9 unidade após a adição de 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N. Ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada em *C. canephora* cultivado em dois Cambissolos cubanos, Díaz et al. (2011) verificaram que o fornecimento de 400 kg ha⁻¹ de N promoveu decréscimo nos valores de pH de 0,72 e 0,67 unidade, para a profundidade de 0-30 cm.

Goulding (2016) esclarece que o aumento da acidez pode ser provocado por diversos eventos que ocorrem no solo. Para Tian e Niu (2015), a adubação mineral, com destaque para a aplicação de N na forma amídica e amoniacal, representa o principal agente de acidificação dos solos. Almeida Junior et al. (2015) consideram a diminuição do pH e os efeitos decorrentes da acidez do solo como os principais fatores capazes de reduzir a capacidade produtiva dos solos tropicais.

É importante destacar que houve substancial redução do pH do solo nesse estudo, quando comparado aos dados disponíveis na literatura. Rochette et al. (2013) esclarecem que as variações de pH estão relacionadas ao poder tampão hidrogeniônico do solo, que é dependente do teor e tipo de mineral que compõe a fração argila e dos teores de matéria orgânica, que juntos, determinam a capacidade de troca de cátions do solo. Certamente os atributos físico-químicos do solo utilizado neste experimento, com textura média e baixos teores de matéria orgânica, explicam, em parte, os resultados obtidos.

A forma com que os fertilizantes minerais foram aplicados ao solo pode ter contribuído para a acentuada redução do pH. Durante os dois ciclos produtivos do cafeeiro, as adubações recomendadas, bem como os tratamentos propostos foram dissolvidos em água e aplicados na faixa de solo molhada pelos gotejadores. Esse manejo, que visou simular a prática da fertirrigação, seguramente favoreceu a manutenção dos fertilizantes no bulbo molhado. Com isso, o volume de solo em contato com a ureia foi menor, intensificando a acidificação. Ao avaliar a variabilidade espacial do pH em cafeeiro fertirrigado por gotejamento, Rezende et al. (2012) concluíram que o pH do solo tende a diminuir quando os fertilizantes são fornecidos via fertirrigação, em razão da manutenção dos nutrientes e do sistema radicular do cafeeiro em um volume de solo reduzido.

O ΔpH refere-se à diferença entre o pH em KCl (1 mol L^{-1}) e o pH em H_2O (1:2,5), sendo um importante atributo para determinar a carga elétrica líquida do solo. O valor de ΔpH é negativo em solos eletronegativos e positivo em solos eletropositivos. O ΔpH é zero quando o pH equivale ao ponto de carga zero (PCZ) do solo, indicando que o balanço de cargas dos coloides minerais e orgânicos é nulo (Dinali et al., 2019).

De acordo com os dados apresentados na Figura 2B, constata-se que a adubação nitrogenada provocou mudança significativa no perfil de cargas elétricas do solo. Doses de N resultaram em elevação do ΔpH do solo, com ajuste quadrático para os dados obtidos nas avaliações de 2019 e 2020, nas diferentes profundidades amostradas. Os valores de ΔpH menos negativos e próximos de zero apontam para o acréscimo da densidade de cargas elétricas positivas, decorrente do aumento da acidez do solo.

Sun e Selim (2019) relatam que a redução do pH aumenta a densidade de cargas elétricas positivas do solo, devido à protonação de grupos estruturais -SiOH e -AlOH expostos na superfície dos minerais de argila silicatada, assim como os grupos -AlOH e -FeOH nos oxi-hidróxidos de Fe e Al, responsáveis pela geração de cargas elétricas variáveis no solo. De acordo com Nie et al. (2020), o acréscimo das cargas elétricas positivas no complexo sortivo eleva a capacidade máxima de adsorção de ânions como o fosfato e o molibdato, o que torna o solo forte dreno de P e Mo, competindo com as plantas pelos ânions em solução.

Nota-se na Figura 2B que o ΔpH obtido em 2020, para as diferentes profundidades, esteve mais próximo do PCZ quando comparado aos valores alcançados em 2019. Os resultados indicam que o aumento da acidez observado no período avaliado tornou o solo menos eletronegativo, devido à protonação de grupamentos OH na superfície dos minerais de argila silicatada e oxi-hidróxidos de Fe e Al. Tal modificação elevou a densidade de cargas elétricas positivas do solo.

Verifica-se ainda na Figura 2B valores de ΔpH mais negativos para a profundidade de 0-20 cm, nas avaliações realizadas em 2019 e 2020. É possível supor que os maiores teores de carbono orgânico na camada de 0-20 cm sejam responsáveis pelos resultados obtidos, em razão da elevada densidade de cargas elétricas e baixo PCZ da matéria orgânica, a exemplo dos resultados encontrados por Ramos et al. (2018). O aumento da densidade de cargas elétricas negativas

na camada superficial do solo foi observado por Baldotto e Velloso (2014), em estudo da eletroquímica de solos em ambientes tropicais. Os autores atribuíram os resultados à matéria orgânica, presente em maior concentração nos primeiros centímetros do solo.

Os valores de Al trocável no solo foram significativamente influenciados em razão da adubação nitrogenada (Figura 3A). Verifica-se que a redução do pH do solo provocada pelas doses de N promoveu aumento linear para esse atributo, demonstrando haver uma relação inversa muito estreita entre pH do solo e teores de Al trocável.

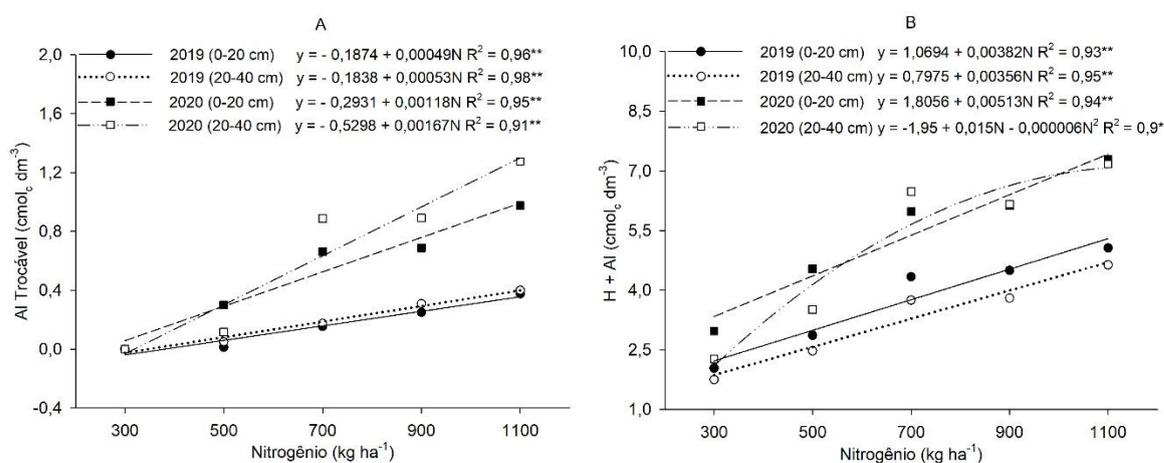


Figura 3. Valores de Al trocável (A) e H + Al (B) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm do solo cultivado com café conilon, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Além do Al em solução e do Al trocável, adsorvido fracamente às cargas negativas dos colóides, diversas formas de Al podem ser encontradas no solo. Entre elas, destaca-se o Al ligado a compostos orgânicos com estabilidade variada, o Al ligado a compostos inorgânicos de baixa cristalinidade e amorfos, além de polímeros de hidróxi-Al das entrecamadas de filossilicatos 2:1. Contudo, o Al extraído por KCl 1,0 mol L⁻¹ normalmente corresponde ao Al trocável, em equilíbrio com a solução (Cunha et al., 2015).

A toxicidade do Al em solos ácidos depende das formas de Al presentes na solução do solo (Cunha et al., 2018). A atividade das espécies tóxicas de Al em solução é governada pelo pH, resultando em neutralização total ou parcial das cargas elétricas positivas por grupamentos OH⁻. Por isso, em função do pH do

solo e da constante de dissociação ácida, o Al pode ser encontrado nas formas de Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ e $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$. As espécies de Al mais tóxicas são Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, geralmente presentes na solução do solo em pH inferior a 5,5 (Rutkowska et al., 2015).

Após vasta pesquisa e baseados em resultados de 106 artigos científicos que avaliaram os efeitos da aplicação de N mineral nos atributos químicos de diferentes solos, cultivados com espécies vegetais distintas, Tian e Niu (2015) observaram que a adubação nitrogenada com fonte amoniacal e amídica contribuiu para a acidificação do solo e elevação dos teores de Al trocável. Os autores concluíram que os solos em diferentes ecossistemas terrestres são sensíveis ao aporte de fertilizantes nitrogenados, com impacto na diminuição do pH, na redução dos teores de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e no aumento da disponibilidade de cátions ácidos (Al^{3+} , Fe^{2+} e Mn^{2+}).

A acidez potencial (H + Al) é composta pelo somatório da acidez trocável e acidez não trocável. Reflete a ocupação do complexo sortivo por íons H^+ e Al^{3+} , que após dessorção, provocam a acidificação do solo. Observa-se na Figura 3B que a aplicação de doses de N resultou em aumento da acidez potencial, para as diferentes profundidades avaliadas. Na análise realizada em 2020, para a profundidade de 20-40 cm, o modelo de ajuste quadrático foi o que melhor representou o comportamento dos dados obtidos. Nas demais avaliações, verificou-se aumento linear para os valores de H + Al.

Ao avaliar as Figuras 3A e 3B, verifica-se a estreita relação existente em Al trocável e H + Al, descrita por Almeida Junior et al. (2015) e Montes et al. (2016). O aumento da acidez potencial em solos cultivados com *C. canephora*, decorrente da acidificação provocada pela aplicação de ureia, foi observado por Guarçoni (2011) e Partelli et al. (2012). É importante destacar, baseado nos resultados das Figuras 2A, 3A e 3B, que o fornecimento de N na forma de ureia apresentou grande potencial de acidificação do solo e aumento nos valores de Al trocável e H + Al, que se estendeu para a profundidade de 20-40 cm do solo. A manutenção do adequado pH e baixos valores de Al trocável na camada de 20-40 cm do solo apresenta grande importância para o cafeeiro conilon. Em lavoura de *C. canephora* irrigada por gotejamento, Covre et al. (2015) encontraram 32% da área superficial das raízes na camada de 20-40 cm do solo.

Os teores de matéria orgânica do solo são apresentados na Figura 4. Observa-se durante o período avaliado, para as diferentes profundidades, que não foi obtido ajuste de equação com coeficiente significativo para os dados coletados. Resultados semelhantes foram relatados por Guarçoni (2011), que, ao longo de sete anos, não observou alterações significativas nos teores de matéria orgânica para a profundidade de 0-20 cm do solo, cultivado com café conilon, adubado com 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N na forma de ureia.

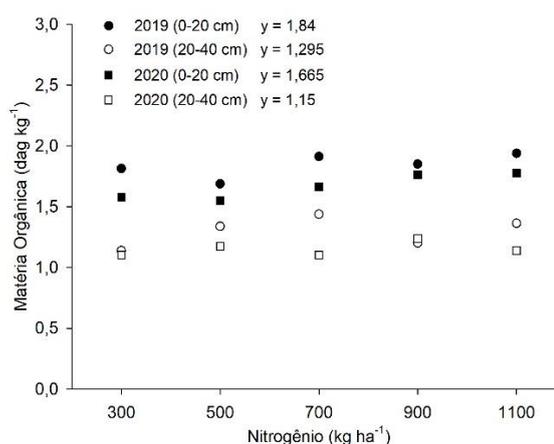


Figura 4. Teores de matéria orgânica nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm do solo cultivado com café conilon, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio.

Os valores médios de matéria orgânica apresentados na Figura 4, para a profundidade de 20-40 cm são considerados baixos por Prezotti et al. (2017). Apesar de números superiores para a profundidade de 0-20 cm, os teores de matéria orgânica estão aquém dos recomendados para o *C. canephora*. Silva et al. (2015) ressaltam a importância da manutenção de teores adequados de matéria orgânica em solos cultivados com cafeeiro conilon, especialmente para aqueles que possuem avançado grau de intemperismo e baixa fertilidade natural.

Em lavouras de café, diversos estudos comprovaram a importância da matéria orgânica para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A contribuição da matéria orgânica na densidade aparente, porosidade, resistência a penetração, agregação e estabilidade de agregados, estruturação, infiltração e armazenamento de água foi relatada por Guimarães et al. (2014), Burak et al. (2016) e Partelli et al. (2016). Benefícios da matéria orgânica para os atributos

químicos e biológicos do solo cultivado com cafeeiro conilon foram demonstrados por Partelli et al. (2012), enquanto Teixeira et al. (2014) observaram que a fauna edáfica é afetada positivamente pela adição de carbono orgânico ao solo. Thomazini et al. (2013) destacam que o aporte de carbono orgânico apresenta grande relevância na sustentabilidade dos sistemas de produção de *C. canephora*, sendo a matéria orgânica um importante indicador de qualidade do solo.

Os teores de Mo no solo, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em razão dos tratamentos aplicados, são apresentados na Figura 5A. Destaca-se a ausência de interação significativa entre N e Mo, durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Nota-se ainda que os teores de Mo no solo não foram influenciados isoladamente pela adubação molíbdica, tampouco pelas doses de N.

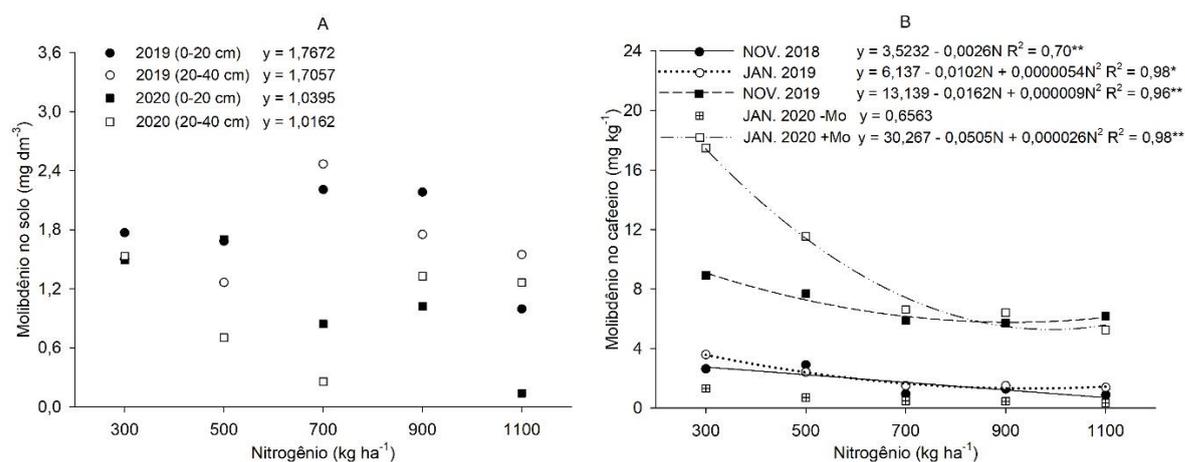


Figura 5. Teores de molibdênio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm do solo (A) e em folhas do cafeeiro conilon (B), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Apesar dos resultados apresentados para os teores de Mo no solo, verifica-se na Figura 5B que a adubação nitrogenada afetou as concentrações de Mo no cafeeiro, onde o aumento das doses de N proporcionou decréscimo nos teores do micronutriente, com ajuste linear para os valores obtidos em novembro de 2018 e quadrático para janeiro e novembro de 2019. Na avaliação realizada em janeiro de 2020, houve interação significativa entre doses de N e adubação

molíbdica, com ajuste quadrático para os tratamentos que receberam adubação molíbdica, enquanto na ausência do fornecimento de Mo, as médias não diferiram estatisticamente.

Os resultados obtidos em janeiro de 2020 demonstram que a adubação via solo foi eficiente em fornecer Mo ao cafeeiro conilon, visto que a aplicação de 4 kg ha^{-1} de Mo elevou o teor médio do micronutriente nas folhas do cafeeiro em 1.341%. Ainda assim, para os dois anos avaliados, a adubação molíbdica em novembro de janeiro não resultou em acréscimo nos teores de Mo no solo, nas observações realizadas em maio de 2019 e 2020.

O Mo é exigido em pequenas quantidades pelas plantas. No entanto, integra diferentes sistemas enzimáticos, essenciais em reações de oxidação e redução. Na maioria das espécies vegetais, grande parte do Mo está presente na enzima nitrato redutase, flavoproteína localizada primariamente no citosol das células corticais da epiderme da raiz e nas células mesofílicas da parte aérea das plantas (Bittner, 2014). Essa proteína possui papel central no processo de assimilação do nitrato, pois catalisa a redução do NO_3^- a NO_2^- , primeiro passo na via de redução do nitrato para a assimilação do N na forma amoniacal (Vatansever et al., 2016). Em plantas deficientes em Mo, observa-se menor atividade da nitrato redutase (Santos et al., 2019) e acúmulo de nitrato nas células (Imran et al., 2019).

Os resultados apresentados para os teores de Mo no solo podem ser explicados pela elevada afinidade do ânion molibdato pelas cargas positivas dos coloides minerais que compõem a fração argila. Ao avaliar a disponibilidade de Mo em solo ácido, Nie et al. (2020) observaram intensa adsorção específica do molibdato às cargas positivas do complexo sortivo, especialmente em óxidos de Ferro. O envelhecimento dessas ligações covalentes, de alta estabilidade, com troca de ligantes impede o retorno do Mo à solução do solo.

De acordo com Rutkowska et al. (2017), em solos oxidicos ácidos, a disponibilidade do Mo na solução do solo pode ser reduzida pela formação de precipitados com ferro e alumínio. Dechen et al. (2018) destacam que a estabilidade dos compostos Ferro-Molibdatos e Alumínio-Molibdatos, bem como a reversibilidade dessas reações dependerá da solubilidade dos compostos formados e do pH do meio.

Diversos trabalhos avaliando a cinética de adsorção do Mo demonstraram a velocidade com que o ânion molibdato é removido da solução do solo, especialmente em solos ácidos e oxídicos, ricos em Fe e Al, com elevado PCZ. Ao investigar a adsorção de Mo em solos chilenos, Vistoso Gacitua et al. (2009) verificaram que após adição do micronutriente às amostras de solo, mais de 89% do molibdato foi adsorvido ao final de 72 horas. Resultados mais impactantes foram apresentados por Wurzburger et al. (2012), em estudo sobre adsorção e dessorção do Mo em solos tropicais do Panamá. Após aplicação do molibdato ao solo seguido de 25 horas de incubação, os autores observaram que os teores de Mo lábil, extraído com resina de troca aniônica, representaram menos de 2% do Mo total.

Pelo exposto, verifica-se que o solo pode atuar como dreno de Mo, resultando na depleção do molibdato em solução, comprometendo consequentemente a nutrição molibídica das plantas. Buscando superar as limitações impostas pelo célere processo de conversão do Mo lábil em não-lábil, os vegetais desenvolveram mecanismos para realizar a rápida absorção do molibdato, mesmo com o Mo presente em baixas concentrações na solução do solo.

A aquisição de Mo pelas raízes ocorre normalmente por meio do sistema de alta afinidade, devido à baixa concentração de molibdato na solução do solo, sendo a absorção, o transporte e o armazenamento de Mo nas plantas, processos com elevado controle genético (Bittner, 2014). Ainda que o Mo possa utilizar os transportadores de sulfato, devido à similaridade entre os ânions, com estruturas tetraédricas e carga negativa dupla, Vatansever et al. (2016) destacam que a absorção do molibdato pode ser realizada por transportadores específicos, como o MOT1 e MOT2. Segundo Jiménez et al. (2017), essas proteínas podem ser encontradas na plasmalema, no tonoplasto e na membrana mitocondrial de células vegetais.

Mendel e Kruse (2012) destacam que as proteínas carregadoras presentes nas raízes são capazes de realizar a absorção de molibdato com grande agilidade, mesmo sob valor de k_M nanomolar. Em trabalho pioneiro acerca da absorção de Mo em *Phaseolus vulgaris* L. e *Oryza sativa* L., Kannan e Ramani (1978) verificaram elevados níveis de molibdato na parte aérea das plantas apenas seis horas após a adubação molibídica. A rápida absorção do molibdato

pelas raízes foi comprovada por Gao et al. (2016), em estudo com *Lotus japonicus*. Bittner (2014) relata que, em muitos casos, quando a célere absorção de molibdato pelas raízes supera a demanda pelo Mo pelas plantas para a síntese de biomoléculas, o nutriente é armazenado temporariamente nos vacúolos, sendo posteriormente remobilizado.

Ante o exposto e considerando os resultados obtidos na avaliação de janeiro de 2020 (Figura 5B), postula-se que os teores de Mo no cafeeiro foram influenciados pela adubação molíbdica devido à elevada capacidade de absorção do micronutriente pelas raízes, favorecendo a remoção do molibdato da solução do solo, especialmente nas primeiras horas após a adubação. Com o passar do tempo, todavia, presume-se que o solo atuou como forte dreno de Mo, removendo o molibdato da solução e o transformando em Mo não-lábil, o que justifica os baixos teores de Mo no solo (Figura 5A), nas análises realizadas meses após a adubação molíbdica.

Constata-se ainda, ao observar a Figura 5B, que a aplicação de doses de N promoveu redução dos teores de Mo em folhas de *C. canephora*. Esses resultados podem ser atribuídos à acidificação do solo provocada pelo fornecimento de N (Figura 2A), acarretando em maior densidade de cargas positivas no complexo sortivo (Figura 2B). Em estudo sobre modelagem cinética, adsorção e dessorção de Mo, Sun e Selim (2019) concluíram que o pH é o principal fator que governa a disponibilidade do molibdato na solução do solo. De acordo com Xu et al. (2013), a diminuição do pH amplia a densidade de cargas elétricas positivas na superfície de coloides minerais que compõem a fração argila, favorecendo a adsorção específica do molibdato e a formação do Mo não-lábil.

O fenômeno de adsorção do Mo em solos brasileiros e sua relação com o pH foi inicialmente investigado por Catani et al. (1970). Em amplo estudo com dez solos europeus, McGrath et al. (2010) observaram íntima relação entre o pH do solo e a disponibilidade de Mo às plantas. Para os solos que receberam adubação molíbdica, o aumento do pH de 5,2 para 8,0 elevou em 17 vezes a concentração de Mo em solução. Os autores verificaram que a ampliação na disponibilidade do Mo impactou na nutrição molíbdica das diferentes culturas avaliadas. Ao pesquisar a influência das propriedades físico-químicas do solo no teor de Mo em solução, Rutkowska et al. (2017) relataram redução significativa do Mo lábil com o

aumento da acidez do solo. Os autores registraram acréscimo de 164% na concentração do micronutriente com a elevação do pH em uma unidade. Mencionaram ainda que a nutrição molíbdica das culturas foi afetada pelas variações de pH do solo.

Ao observar a Figura 5A, nota-se que os teores médios de Mo no solo alcançaram $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ no primeiro ano avaliado, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Na análise realizada em 2020, os valores foram reduzidos a $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$, em ambas as profundidades amostradas. No que se refere à nutrição do cafeeiro (Figura 5B), na avaliação empreendida em janeiro de 2020, a concentração média do micronutriente para os tratamentos que não receberam adubação molíbdica foi de $0,65 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto os teores de Mo variaram entre $5,75$ e $17,46 \text{ mg kg}^{-1}$ em plantas adubadas com molibdato de sódio.

Verifica-se durante o período avaliado, que os valores de Mo no solo não se relacionaram com os teores obtidos em folhas do cafeeiro conilon. Resultados semelhantes foram apresentados por Santos (2012), ao comparar métodos de extração de Mo em três Argissolos do nordeste Brasileiro. O autor não observou, para os diferentes extratores utilizados, correlação entre os teores de Mo no solo e a nutrição molíbdica da cana-de-açúcar.

A relação entre a concentração de nutrientes em *Coffea* e os valores presentes na análise química de solo foi investigada por Souza et al. (2018). Os mesmos verificaram que os teores foliares de macronutrientes se correlacionam com os valores obtidos na avaliação da fertilidade do solo, com alguns desvios, que foram atribuídos à fase fenológica da planta. Os autores destacaram a importância da análise foliar como ferramenta para a recomendação da adubação, por retratar de forma fidedigna o estado nutricional do cafeeiro.

Os dados apresentados demonstram que a análise de solo, realizada meses após a adubação molíbdica, mostrou-se efetiva na determinação dos teores de Mo-lábil. No entanto, não deve ser utilizada para inferir sobre a nutrição molíbdica do *C. canephora* durante o ciclo de cultivo, em razão da velocidade com que os processos de absorção e adsorção do Mo ocorrem. Esses resultados evidenciam a importância da avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon por meio da diagnose foliar, utilizando a própria planta como extratora dos nutrientes no solo.

CONCLUSÕES

- A ureia apresentou elevado potencial de acidificação do solo, influenciando os valores de Al trocável, acidez potencial e ΔpH nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm;
- A redução do pH provocada pelas doses de N afetou o perfil de cargas elétricas do solo, tornando-o menos eletronegativo e impactando os teores de Mo no *C. canephora*;
- A aplicação de molibdato de sódio via solo foi eficiente em disponibilizar Mo ao cafeeiro conilon. Contudo, a adubação molíbdica não influenciou os teores de Mo no solo, nas avaliações realizadas ao final de cada ciclo produtivo;
- O cafeeiro mostrou-se eficiente na absorção radicular de Mo, superando as limitações impostas pelo rápido processo de adsorção do molibdato e formação do Mo não-lábil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO; 1998.
- Almeida Júnior AB, Nascimento CWA, Barros FMR. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos do estado da Paraíba. Rev Bras Cienc Solo. 2015;39:767-73.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Z. 2013;22:711-28.
- Araújo GAA, Teixeira AR, Miranda GV, Galvão JCC, Rocha PRR. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. Sci Agr. 2010;11:231-7.
- Arnon DI, Stout PR. Molybdenum as an essential element for higher plants. Plant Physiol. 1939;14:599-602.
- Baldotto MA, Velloso ACX. Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais. Rev Ceres. 2014;61:1012-21.

- Bittner F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Front Plant Sci.* 2014;5:1-6.
- Bonomo DZ, Bonomo R, Partelli FL, Souza JM. Genótipos de café conilon sob ajuste de diferentes coeficientes de cultura ajustados. *Irriga.* 2017;22:236-48.
- Burak DL, Santos DA, Passos RR. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com relevo e matéria orgânica e produtividade em café conilon. *Coffee Sci.* 2016;11:455-66.
- Catani RA, Alcarde JC, Furlani PR. A adsorção de molibdênio pelo solo. *An Esalq.* 1970;27:223-37.
- Colodetti TV, Rodrigues WN, Martins LD, Brinate SVB, Tomaz MA, Amaral JFT, Verdin Filho AC. Nitrogen availability modulating the growth of improved genotypes of *Coffea canephora*. *Afr J Agr Res.* 2015;10:3150-6.
- Covre AM, Partelli FL, Gontijo I, Zucoloto M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. *Pesq Agropec Bras.* 2015;50:1006-16.
- Cunha GOM, Almeida JA, Ernani PR, Pereira ER, Skoronski E, Lourenço LS, Brunetto G. Chemical species and aluminum concentration in the solution of acid soils cultivated with soybean and corn under liming. *Rev Bras Cienc Solo.* 2018;42:1-16.
- Cunha GOM, Almeida JA, Testoni AS, Barboza BB. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al^{3+} extraível com KCl. *Rev Bras Cienc Solo.* 2015;39:1362-77.
- Díaz AP, González CAB, Alonso GMM, Espinosa RAR, Núñez RV, Castro MIR. Fertilización nitrogenada después de la poda del cafeto robusta en Cambisoles. *Pesq Agropec Bras.* 2011;46:935-43.
- Dinali GS, Root RA, Amistadi MK, Chorover J, Lopes G, Guilherme LRG. Rare earth elements (REY) sorption on soils of contrasting mineralogy and texture. *Environ Int.* 2019;128:279-91.
- Dominghetti AW, Guelfi DR, Guimarães RJ, Caputo ALC, Spehar CR, Faquin V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Cienc Agrotec.* 2016;40:173-83.
- Ferrão RG, Fonseca AFA, Ferrão MAG, De Muner LH. *Café conilon*. 2nd ed. Vitória: Incaper; 2017.

- Gao JS, Wu FF, Shen ZL, Meng Y, Cai YP, Lin Y. A putative molybdate transporter LjMOT1 is required for molybdenum transport in *Lotus japonicus*. *Physiol Plantarum*. 2016;158:331-40.
- Goulding KWT. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use Manage*. 2016;32:390-9.
- Guarçoni AM. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. *Semin-Cienc Agrar*. 2011;32:949-58.
- Guimarães GP, Mendonça ES, Passos RR, Andrade FV. Soil aggregation and organic carbon of oxisols under coffee in agroforestry systems. *Rev Bras Cienc Solo*. 2014;38:278-87.
- Imran M, Sun X, Hussain S, Ali U, Rana MS, Rasul F, Saleem MH, Moussa MG, Bhandana P, Afzal J, Elyamine AM, Hu CX. Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources. *Int J of Mol Sci*. 2019;20:1-17.
- Jimenez MT, Gil-Díaz P, León-Mediavilla J, Wen J, Mysore KS, Imperial J, González-Guerrero M. *Medicago truncatula* molybdate transporter type 1 (MtMOT1.3) is a plasma membrane molybdenum transporter required for nitrogenase activity in root nodules under molybdenum deficiency. *New Phytol*. 2017;216:1223-35.
- Kaiser BN, Gridley KL, Brady JN, Phillips T, Tyerman SD. The role of molybdenum in agricultural plant production. *Ann Bot-London*. 2005;96:745-54.
- Kannan S, Ramani S. Studies on molybdenum absorption and transport in bean and rice. *Plant Physiol*. 1978;62:179-81.
- McGrath SP, Micó C, Curdy R, Zhao FJ. Predicting molybdenum toxicity to higher plants: influence of soil properties. *Environ Pollut*. 2010;158:3095-102.
- Mendel RR, Kruse T. Cell biology of molybdenum in plants and humans. *Biochim Biophys Acta*. 2012;1823:1568-79.
- Minato EA, Cassim BMAR, Besen MR, Mazzi FL, Inoue TT, Batista MA. Controlled-release nitrogen fertilizers: characterization, ammonia volatilization, and effects on second-season corn. *Rev Bras Cienc Solo*. 2020;44:1-13.
- Montes RM, Parent LE, Amorim DA, Rozane DE, Parent S, Natale W, Modesto VC. Nitrogen and potassium fertilization in a guava orchard evaluated for five cycles: soil cationic balance. *Rev Bras Cienc Solo*. 2016;40:1-11.

- Nie Z, Li J, Liu H, Liu S, Wang D, Zhao P, Liu H. Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chem.* 2020;18:663-8.
- Noguero M, Lacombe B. Transporters involved in root nitrate uptake and sensing by *Arabidopsis*. *Front Plant Sci.* 2016;7:1-7.
- Oliosi G, Rodrigues JO, Falqueto AR, Pires FP, Monte JA, Partelli FL. Fluorescência transiente da clorofila *a* e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. *Coffee Sci.* 2017;12:248-59.
- Partelli FL, Valicheski RR, Vieira HD, Gontijo I, Ferreira EPB. Physical soil attributes of Conilon coffee (*Coffea canephora*) under organic and conventional management systems. *Aust J Crop Sci.* 2016;10:646-53.
- Partelli FL, Vieira HD, Ferreira EPB, Viana AP, Martins MA, Urquiaga S. Chemical and microbiological soil characteristics under conventional and organic coffee production systems. *Commun Soil Sci Plant.* 2012;43:847-64.
- Peters JB. Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed & forage analysis. Madison: University of Wisconsin; 2013. Available from: <https://uwlab.soils.wisc.edu/about-us/lab-procedures-and-methods/>
- Prezotti LC, Guarçoni MA, Bragança SM, Lani JA. Calagem e adubação do café conilon. In: Ferrão RG, Fonseca AFA, Ferrão MAG, De Muner LH, editores. *Café conilon*. 2nd ed. Vitória: Incaper; 2017. p. 347-357.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria; 2018. Available from: <http://www.R-project.org/>.
- Ramos FT, Dores EFC, Weber OLS, Beber DC, Campelo Jr JH, Maia JCS. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. *J Sci Food Agr.* 2018;98:3595-3602.
- Rezende FC, Ribeiro VB, Ávila LF, Faria MA, Silva EL. Variabilidade espacial do pH em área com cafeeiro fertirrigado e sistema tradicional. *Coffee Sci.* 2012;7:198-207.
- Rochette P, Angers DA, Chantini MH, Gasser M, Macdonald JD, Pelster DE, Bertrand N. NH₃ volatilization, soil NH₄ concentration and soil pH following subsurface banding of urea at increasing rates. *Can J Soil Sci.* 2013;93:261-8.

- Rosado TL, Gontijo I, Almeida MS, Andrade FV. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim-mombaça. *Rev Bras Cienc Solo*. 2014;38:840-9.
- Rutkowska B, Szulc W, Hoch M, Spychaj-Fabisiak E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. *Soil Use Manage*. 2015;31:114-20.
- Rutkowska B, Szulc W, Spychaj-Fabisiak E, Pior N. Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. *Plant Soil Environ*. 2017;63:491-7.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa; 2018.
- Santos MJ. Extração e determinação de Mo em três argissolos do nordeste cultivados com cana-de-açúcar [dissertação]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2012.
- Santos RL, Freire FJ, Oliveira ECA, Freire MBGS, West JB, Barbosa JA, Bezerra PC. Nitrate reductase activity and nitrogen and biomass accumulation in sugarcane under molybdenum and nitrogen fertilization. *Rev Bras Cienc Solo*. 2019;43:1-19.
- Silva FC. Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes. 2nd ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2009.
- Silva NS, Guido ML, Luqueño FF, Marsch R, Dendooven L. Emission of greenhouse gases from an agricultural soil amended with urea: a laboratory study. *Appl Soil Ecol*. 2011;47:92-7.
- Silva VM, Teixeira AFR, Souza JL, Guimarães GP, Benassi AC, Mendonça ES. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café conilon. *Rev Bras Cienc Solo*. 2015;39:1436-44.
- Singh AL, Jat RS, Chaudhari V, Bariya H, Sharmam SJ. Toxicities and Tolerance of Mineral Elements Boron, Cobalt, Molybdenum and Nickel in Crop Plants. *P Stress*. 2010;4:31-56.
- Sousa JS, Neves JCL, Martinez HEP, Alvarez V. VH. Relationship between coffee leaf analysis and soil chemical analysis. *Rev Bras Cienc Solo*. 2018;42:1-13.
- Sun W, Selim HM. Kinetic modeling of pH-dependent molybdenum (VI) adsorption and desorption on iron oxide-coated sand. *Soil Sci Soc Am J*. 2019;83:357-65.

- Teixeira AFR, Silva VM, Mendonça ES. Fauna edáfica em sistemas arborizados de café conilon em solo de tabuleiros costeiros. *Coffee Sci.* 2014;9:385-93.
- Thomazini A, Azevedo HCA, Pinheiro PL, Mendonça ES. Indicadores participativos de qualidade do cafeeiro conilon e do solo em sistema agroflorestal e convencional. *Biosci J.* 2013;29:1469-78.
- Tian D, Niu S. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environ Res Lett.* 2015;10:1-10.
- Vatansever R, Filiz E, Ozyigit II. In silico identification and comparative analysis of molybdenum (Mo) transporter genes in plants. *Braz J Bot.* 2016;39:87-99.
- Verdin Filho AC, Tomaz MA, Ferrão RG, Ferrão MAG, Fonseca AFA, Rodrigues WN. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. *Coffee Sci.* 2014;9:489-94.
- Vistoso Gacitua EM, Bolan NS, Theng BKG, Mora ML. Kinetics of molybdate and phosphate sorption by some Chilean Andisols. *J Soil Sci Plant Nut.* 2009;9:55-68.
- Wurzburger N, Bellenger JP, Kraepiel AML, Hedin LO. Molybdenum and phosphorus interact to constrain asymbiotic nitrogen fixation in tropical forests. *Plos One.* 2012;7:1-7.
- Xu N, Braida W, Christodoulatos C, Chen J. A review of molybdenum adsorption in soils/bed sediments: speciation, mechanism, and model applications. *Soil Sediment Contam.* 2013; 22:912-29.

3.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO CAFEIEIRO CONILON SOB ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO²

RESUMO - O nitrogênio é o nutriente mais aplicado em lavouras de *Coffea canephora*, em razão da elevada exigência da cultura e baixa disponibilidade na maioria dos solos. A eficiência da adubação nitrogenada pode ser maximizada pela nutrição molíbdica, devido à atuação do molibdênio no metabolismo do nitrato. Objetivou-se no presente estudo, avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio no crescimento e produtividade do cafeeiro conilon, conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo. O experimento foi conduzido de junho de 2018 a maio de 2020. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de nitrogênio (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica. Avaliaram-se em cada ano agrícola, as variáveis de crescimento do conilon, além da produtividade de café beneficiado e rendimento de grãos. O comprimento de ramos plagiotrópicos, número de nós por ramo lateral, número de rosetas e de frutos por ramo produtivo apresentaram estreita relação com a produtividade do cafeeiro e foram influenciados pela adubação nitrogenada. Doses crescentes de nitrogênio promoveram incrementos quadráticos para a produtividade de café beneficiado, com acréscimo de 35,3% e 88,9% para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, quando comparado às menores doses de nitrogênio.

² Artigo submetido à Australian Journal of Crop Science.

No segundo ano avaliado, a aplicação de molibdênio resultou em aumento no comprimento da haste ortotrópica e de ramos plagiotrópicos, além de proporcionar incremento de 3,7% na produtividade do *C. canephora*.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, nutrição molíbdica, nutrição nitrogenada, crescimento vegetativo, produtividade.

GROWTH AND PRODUCTION OF COFFEE CONILON UNDER FERTILIZATION OF NITROGEN AND MOLYBDENUM

ABSTRACT - Nitrogen is the most applied nutrient in *Coffea canephora* crops, due to the high requirement of the crop and low availability in most soils. The efficiency of nitrogen fertilization can be maximized by molybdcic nutrition, due to the role of molybdenum in the metabolism of nitrate. This study, conducted during two coffee production cycles under field conditions, aimed the effects of the application of N doses and fertilization with Mo on the growth and production of Conilon coffee. The experiment was conducted from June 2018 to May 2020. The experimental design used was in randomized blocks, in a 5 x 2 factorial scheme, being the first factor nitrogen doses (300, 500, 700, 900 and 1,100 kg ha⁻¹ year⁻¹) and second factor the absence and presence of molybdcic fertilization. We evaluated the Conilon growth variables in each agricultural year, in addition to the productivity of processed coffee and grain yield. The length of plagiotropic branches, number of nodes per side branch, number of rosettes and fruits per productive branch were closely related to coffee productivity and were influenced by nitrogen fertilization. Increasing doses of nitrogen promoted quadratic increments for the yield of coffee, with addition of 35.3% and 88.9% for the harvests 2018/2019 and 2019/2020, respectively, when compared to the lowest nitrogen doses. In the second year evaluated, the application of molybdenum resulted in an increase in the length of the orthotropic stem and plagiotropic branches, in addition to providing increase of 3.7% in the productivity of *C. canephora*.

Keywords: *Coffea canephora*, molybdenum nutrition, nitrogen nutrition, vegetative growth, productivity.

INTRODUÇÃO

O *Coffea canephora* apresenta grande potencial produtivo, que resulta em elevada exigência nutricional. Dentre os nutrientes, destaca-se o nitrogênio (N), por ser o nutriente requerido em maior quantidade em lavouras de conilon (Covre et al., 2018). Nos tecidos vegetais, o N é empregado na síntese de várias biomoléculas como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, trifosfato de adenosina, ácido indol acético, coenzimas como NAD e NADP e vitaminas do complexo B (Taiz et al., 2017). Pelas funções que desempenha nos vegetais, observa-se que o N está intimamente relacionado ao crescimento e à produção do cafeeiro.

Verifica-se que a adubação nitrogenada exerce respostas positivas para características do crescimento do cafeeiro conilon tais como o diâmetro de caule (Colodetti et al., 2015), a área foliar (Colodetti et al., 2014), o crescimento de ramos plagiotrópicos (Magiero et al., 2017) e o acúmulo de matéria seca (Machado et al., 2016). Segundo Partelli et al. (2013), os componentes do desenvolvimento vegetativo do cafeeiro possuem vínculo estreito com o crescimento reprodutivo (floração e frutificação) e produção. Busato et al. (2016) demonstraram os efeitos da adubação nitrogenada no desenvolvimento do *C. canephora*, bem como a relação entre os elementos do crescimento vegetativo e produção das plantas.

Na maioria dos solos brasileiros, a disponibilidade do N é insuficiente para atender à demanda das culturas (Ribeiro et al., 2019), o que torna indispensável a adubação nitrogenada do cafeeiro conilon, para a obtenção de altas produtividades. Ainda assim, o fornecimento de N ao solo por meio da adubação, não garante a adequada nutrição das plantas. A eficiência da adubação nitrogenada pode ser comprometida por processos que ocorrem no solo ou no tecido vegetal, reduzindo a disponibilidade de N às plantas e sua assimilação, respectivamente.

Esses processos dependem da disponibilidade de molibdênio (Mo), pois mesmo em baixas concentrações nos vegetais, esse nutriente possui papel central no processo de redução assimilatória do nitrato, por ser constituinte da enzima nitrato redutase. Ao avaliar os efeitos induzidos do Mo nas enzimas do metabolismo do N na cultura do trigo, Imram et al. (2019) revelaram que a

assimilação de N em plantas deficientes em Mo foi comprometida, devido à menor atividade da nitrato redutase, resultando em acúmulo de nitrato nos tecidos. Nesse sentido, Santos et al. (2019) concluíram que a eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar pode ser maximizada com o suprimento de Mo às plantas, em virtude da atuação do Mo no metabolismo do N.

Para o cafeeiro conilon, são escassos os trabalhos sobre a adubação molíbdica, associado ao suprimento de N. Objetivou-se no presente estudo, avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio no crescimento e produtividade do cafeeiro conilon, conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de junho de 2018 a maio de 2020 no município de Santa Teresa, estado do Espírito Santo, Brasil, situado entre as coordenadas 19°47'15" de latitude sul e 40°38'52" de longitude oeste de Greenwich e altitude média de 165 metros. O clima da região é tropical, com inverno seco e verão chuvoso, Aw segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

O solo, de declividade Suave Ondulado, foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2018), classe textural Franco Argilosa, apresentando para a profundidade de 0-20 cm, 436, 243 e 321 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, e 367, 265 e 368 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, para a profundidade de 20-40 cm.

A lavoura foi implantada em abril de 2016, com espaçamento de 3,0 x 0,9 metros, com 3.704 plantas por hectare, e conduzida com três hastes por planta, seguindo as recomendações de Verdin Filho et al. (2014). A área experimental foi composta por seis materiais genéticos distintos e compatíveis entre si, sendo avaliadas plantas do clone 108P, pertencente a cultivar Diamante ES8112.

Desde o plantio do cafeeiro, o manejo da fertilidade do solo foi realizado de acordo com as recomendações de Prezotti et al. (2017), utilizando os fertilizantes nitrato de cálcio, fosfato monoamônico, cloreto de potássio, sulfato de magnésio, óxido de zinco e ácido bórico como fontes de N+Ca, P+N, K, Mg+S, Zn e B, respectivamente.

Após a primeira colheita, em junho de 2018, realizou-se a coleta de solo na área experimental para caracterização química, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1). Os resultados da análise de solo não indicaram a necessidade do uso de corretivo de acidez.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Junho de 2018																			
Profundidade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V	
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----												----%----
0-20	6,3	5,0	1,0	0,0	2,9	9,9	7,0	123	350	16	3,0	137	14	139	0,6	0,7	2,4	70,8	
20-40	6,1	4,0	0,6	0,0	2,5	7,9	5,4	55	280	8	2,0	175	12	120	0,4	0,5	1,7	68,5	
Abril de 2019																			
Profundidade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V	
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----												----%----
0-20	5,9	4,6	1,2	0,0	3,3	10,0	6,7	108	335	19	7,2	142	9,3	151	0,8	3,1	2,1	67,0	
20-40	5,8	3,8	0,6	0,1	2,9	8,1	5,2	45	316	9	3,8	156	9,1	109	0,4	1,4	1,5	64,2	

pH em H₂O 1:2,5; Ca, Mg e Al: extraídos por KCl; H+Al: extraídos por acetato de cálcio; P: extraído por resina de troca aniônica; K, Cu, Fe, Zn, Mn e Mo: extraídos por Mehlich; S-SO₄²⁻: extraído por fosfato de cálcio; B: extraído por cloreto de bário; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; SB: soma de bases; MO: matéria orgânica, determinada pelo método Walkley-Black; V: porcentagem de saturação por bases.

A adubação do cafeeiro conilon (exceto para N e Mo) durante o período experimental obedeceu às recomendações de Prezotti et al. (2017), para lavouras com produtividade estimada entre 131-170 sacas beneficiadas de 60 kg por hectare. Os tratos culturais empregados no cafeeiro, no que refere a desbrota, poda, manejo fitossanitário e controle de plantas invasoras seguiram as recomendações técnicas de Ferrão et al. (2017).

Ao longo de todo o período experimental, sempre que a precipitação pluvial foi insuficiente, realizou-se a irrigação do cafeeiro, sendo a lâmina aplicada calculada em razão da evapotranspiração da cultura (ET_c), obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (k_c) em cada fase de desenvolvimento. A ET_o foi calculada pelo método Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998), utilizando-se dados meteorológicos obtidos em uma estação climatológica automática pertencente ao Ifes - Campus Santa Teresa,

localizada a 3,8 km da área experimental. Para o kc, foram adotados valores sugeridos por Bonomo et al. (2017).

Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, com espaçamento de 30 cm entre gotejadores, resultando em uma faixa irrigada contínua. Adotou-se o turno de rega fixo, sendo as irrigações realizadas a cada três dias, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo (CC). Na Figura 1 são apresentados os valores dos dados meteorológicos observados durante o período experimental.

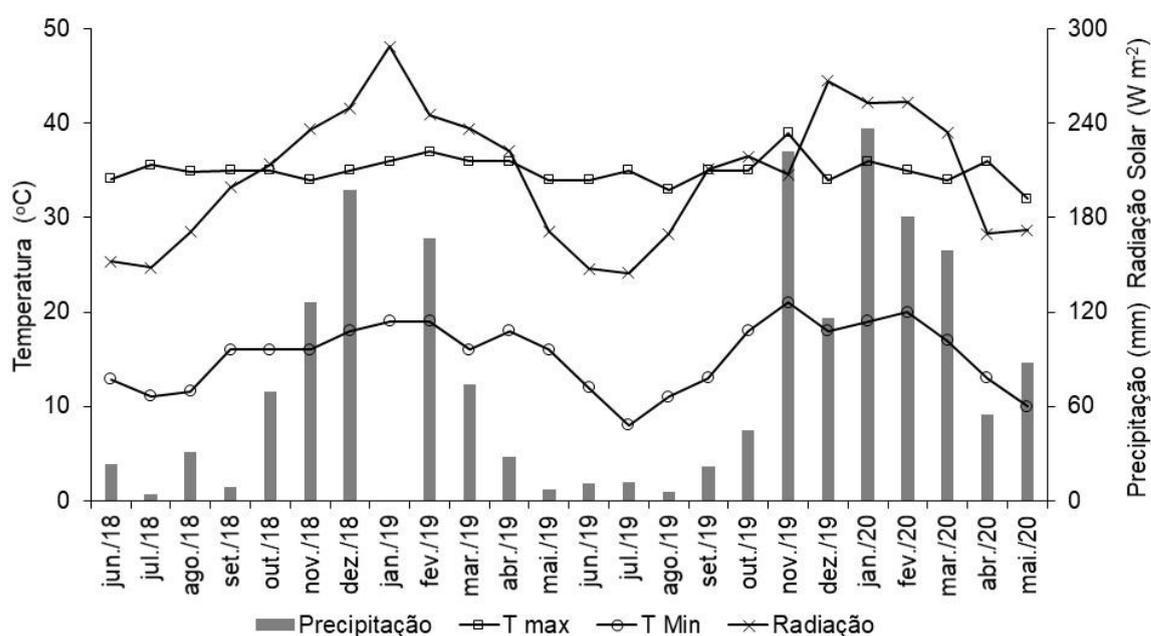


Figura 1. Valores das variáveis climáticas observados durante o período experimental (junho/2018 a maio/2020).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de N (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Para a escolha das doses de N, considerou-se a dose de 560 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sugerida por Prezotti et al. (2017) para lavouras de conilon com produtividade estimada de 131 a 170 sacas por hectare. A menor dose de N empregada nesse estudo representa aproximadamente metade da recomendação, enquanto a maior, é quase o dobro da dose indicada. A parcela experimental foi composta por 21 plantas, dispostas em três fileiras, considerando úteis as cinco plantas da linha central, pois as duas

plantas das extremidades, bem como as duas fileiras laterais serviram como bordadura.

Durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020, a aplicação dos tratamentos (N e Mo) ocorreu entre outubro e fevereiro. Em cada ano agrícola, a dose de N proposta para os diferentes tratamentos foi dividida em cinco aplicações e realizadas nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Como fonte de N, utilizou-se a ureia agrícola (46% de N), por possuir elevada solubilidade e apresentar menor custo por quilograma de N.

Para a aplicação do N, após pesada em balança digital eletrônica, a ureia foi dissolvida em água, obtendo-se uma solução homogênea com 129,1 g L⁻¹ de ureia. Posteriormente, a solução foi aplicada sobre o solo, paralela à mangueira de irrigação, com o auxílio de copos de polietileno previamente aferidos. Em cada uma das cinco aplicações, cada planta recebeu 272, 454, 636, 818 e 1.000 mL de solução, referentes aos tratamentos 300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Imediatamente após o fornecimento do N, procedeu com a irrigação do cafeeiro conilon, visando promover a rápida incorporação da ureia no solo, favorecer a absorção de N pelas plantas, além de reduzir as perdas de N por volatilização da amônia.

Considerando os resultados obtidos por Araújo et al. (2010) para a cultura do milho, com incrementos de produtividade até a dose de 1,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado via foliar; a intensidade do processo de adsorção de Mo e formação de Mo não-lábil em solos tropicais (Nie et al., 2020; Wurzbürger et al., 2012; Santos, 2012); os poucos relatos de toxidez por molibdênio em espécies cultivadas (Singh et al., 2010); e as doses de N empregadas nesse estudo; optou-se pela dose de 4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado ao solo. Em cada ano agrícola, a dose de Mo foi dividida em duas aplicações, realizadas nos meses de novembro e janeiro, empregando o fertilizante molibdato de sódio (39% Mo) como fonte de Mo. Após pesado em balança digital de precisão, o molibdato de sódio foi dissolvido em água, obtendo-se uma solução homogênea com 55,4 g L⁻¹ de molibdato de sódio. Em seguida, cada planta recebeu 25 mL da solução, utilizando uma pipeta semiautomática de volume fixo. Posteriormente, foi acionado o sistema de irrigação, permitindo a incorporação do fertilizante e a rápida absorção do Mo pelas plantas.

No primeiro ano de condução do experimento, as avaliações de crescimento tiveram início na pré-florada do cafeeiro, em julho de 2018, por meio da análise das cinco plantas úteis que compõem cada unidade experimental. Inicialmente, identificou-se o primeiro ramo plagiotrópico voltado para a entre linha, a partir da base da planta, que não produzira frutos na colheita anterior. Em seguida, o ramo foi marcado e procedeu com a contagem do número de nós.

Na fase de maturação dos frutos, em maio de 2019, foram realizadas as demais avaliações de crescimento. O número de rosetas (nós com a presença de frutos), bem como o número de frutos por ramos plagiotrópicos foram alcançados por contagem direta, examinando o mesmo ramo marcado para determinação do número de nós. A altura do *C. canephora* foi mensurada com o auxílio de uma régua topográfica, graduada em centímetros, medindo-se do colo da planta até o meristema apical ortotrópico. O diâmetro de ramos ortotrópicos (diâmetro de caule) foi obtido com medições realizadas a 100 cm do colo da planta, utilizando um paquímetro digital, sendo o valor por planta, resultado da média das três hastes. O número de ramos plagiotrópicos por haste ortotrópica foi avaliado por contagem de todos os plagiotrópicos primários produtivos da planta, sendo o valor apresentado, resultado da média das três hastes. O comprimento médio do entrenó ortotrópico foi encontrado utilizando os valores de comprimento da haste ortotrópica, dividido pelo número de pares de ramos plagiotrópicos menos um.

Para se obter o comprimento de ramos plagiotrópicos, foi selecionado o primeiro ramo sem frutos, voltado para a entre linha, a partir da base da planta. Posteriormente, o ramo foi marcado com um fitilho colorido e medido com o auxílio de uma trena. As avaliações, para o segundo ano de condução do experimento, seguiram a mesma metodologia descrita anteriormente, sendo realizadas nos mesmos meses.

A colheita do cafeeiro conilon relativa às safras de 2018/2019 e 2019/2020 foi efetuada, em ambos os anos, na última semana de maio, quando a lavoura apresentava aproximadamente 80% de frutos cerejas. A colheita de todas as cinco plantas úteis que compõem cada unidade experimental foi realizada por meio de derriça manual no pano. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos de ráfia e pesados em balança digital eletrônica, obtendo-se a massa de café maduro, colhida em cada parcela. A produção de café beneficiado foi alcançada após secagem e beneficiamento dos frutos. O rendimento de grãos

para cada unidade experimental foi obtido pela razão entre a massa de café beneficiado e o peso do café maduro, sendo os resultados expressos em %.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em razão da significância para as variáveis, foram ajustadas equações de regressão. Adotou-se o nível de significância de 5% ($P < 0,05$) em todos os testes estatísticos, utilizando o programa R (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou não haver interação significativa entre o fator qualitativo (Mo) e o quantitativo (N), para as variáveis observadas, durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. No entanto, verificou-se no período avaliado, efeito isolado da adubação molíbdica, bem como da aplicação de doses de N para os componentes de crescimento e produção do *C. canephora*.

A adubação nitrogenada influenciou o crescimento em altura do cafeeiro, nos dois anos avaliados (Figura 2A). Observa-se que a aplicação de doses de N, durante o primeiro ano de condução do experimento, proporcionou aumento linear na altura das plantas. Ao empregar a equação do modelo de ajuste obtido, pode-se verificar acréscimo de 1,23 cm no crescimento da haste ortotrópica para cada 100 kg de N aplicado. Com isso, plantas submetidas a 1.100 kg ha⁻¹ de N apresentaram crescimento 5,7% superior àquelas adubadas com 300 kg ha⁻¹.

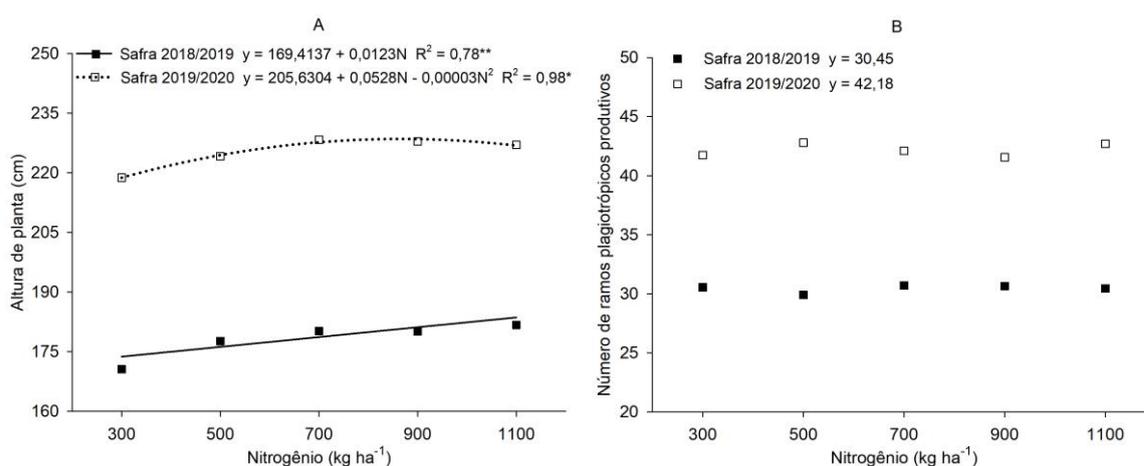


Figura 2. Altura de planta (A) e número de ramos plagiotrópicos produtivos (B) do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Na avaliação realizada em maio de 2020, verifica-se que a aplicação de N promoveu incrementos quadráticos para a altura das plantas. Houve resposta positiva para crescimento da haste ortotrópica até a dose estimada de 880 kg ha⁻¹ de N. Nesta dose, as plantas alcançaram 228,88 cm, sendo 10,11 cm superior àquelas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram apresentados por Busato et al. (2016), ao investigar o desenvolvimento vegetativo e produção do *C. canephora* irrigado, submetido a doses crescentes de N. Os autores observaram que o N influenciou positivamente o crescimento das plantas até 1.003 kg ha⁻¹, na análise realizada ao final do segundo ano de condução do cafeeiro conilon.

A relação entre adubação nitrogenada e desenvolvimento do cafeeiro foi discutida por DaMatta et al. (2007), em ampla revisão acerca da ecofisiologia do crescimento e produção do gênero *Coffea*. Clemente et al. (2015) verificaram que o aumento da disponibilidade de N ao cafeeiro influenciou a concentração de açúcares totais, enquanto Rocha (2019) observou que a adubação nitrogenada favoreceu a síntese de aminoácidos e proteínas. Para Taiz et al. (2017), a síntese de aminoácidos e açúcares está intimamente associada ao crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas.

O número de ramos plagiotrópicos produtivos do *C. canephora* é apresentado na Figura 2B. Não houve efeito de doses de N sobre o número de ramos produtivos. Destaca-se que o elevado crescimento do cafeeiro conilon, alcançado nas maiores doses de N, não proporcionou aumento no número de ramos produtivos, em ambas as observações. É compreensível os resultados obtidos em 2019, uma vez que a antese, que resultou nos ramos produtivos, ocorreu entre julho e setembro de 2018, portanto, antes da aplicação dos tratamentos. No entanto, o padrão se manteve na análise realizada em maio de 2020. Cabe registrar que, para o ano agrícola de 2019/2020, o número de ramos plagiotrópicos produtivos foi 38,5% superior ao verificado na safra de 2018/2019.

A literatura disponibiliza informações conflitantes acerca da relação entre crescimento do caule e emissão de ramos plagiotrópicos em *Coffea*. Avaliando o desenvolvimento de plantas adultas de café conilon, consorciado com adubos verdes, Jaeggi et al. (2019) observaram que o maior aporte de feijão-guandu ao solo proporcionou crescimento superior das hastes ortotrópicas do cafeeiro, sem proporcionar aumento significativo no número de ramos laterais. Dados

semelhantes foram relatados por Araújo et al. (2014) e resultados divergentes foram obtidos por Machado (2015). Esse último autor, estudando o desenvolvimento inicial de 13 materiais genéticos de *C. canephora* submetidos a doses de N, observou que a adubação nitrogenada proporcionou crescimento da haste ortotrópica e maior número de nós no ramo ortotrópico.

Apesar da ausência de interação significativa entre Mo e N para as variáveis de crescimento e produção do *C. canephora*, verifica-se, ao analisar os efeitos simples, que o comprimento da haste ortotrópica foi influenciado pela adubação molíbdica. Observa-se na Tabela 2 que a aplicação de Mo proporcionou aumento na altura das plantas de 3,9% no primeiro e 2,4% no segundo ano avaliado, em relação ao tratamento sem adubação.

Tabela 2. Variáveis de crescimento e produção do cafeeiro conilon em função da aplicação de molibdênio

Variáveis	Safrá 2018/2019			Safrá 2019/2020		
	+ Mo	- Mo	CV (%)	+ Mo	- Mo	CV (%)
Altura de planta (cm)	181,4 a	174,6 b	3,22	227,9 a	222,5 b	2,46
Nº de ramos plagiotrópicos produtivos	30,45		2,14	42,18		6,32
Comprimento do entrenó ortotrópico (cm)	3,82		1,08	3,78		2,32
Diâmetro do caule (mm)	17,60		6,22	21,66		4,78
Comprimento de ramo plagiotrópico (cm)	86,76		1,39	67,7 a	63,2 b	4,37
Nº de nós por ramo plagiotrópico	13,48		3,81	19,83		11,13
Nº de rosetas por ramo	13,20		3,65	18,69		10,61
Nº de frutos por ramo	216,78		3,3	289,82		3,75
Produtividade de café beneficiado (sc ha ⁻¹)	95,49		3,87	127,5 a	123 b	4,21
Rendimento de grãos (%)	24,33		3,94	25,37		2,06

Letras distintas na linha, para o mesmo ano agrícola, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O Mo é exigido em pequenas quantidades pelas plantas. Porém, é considerado essencial por ser componente das enzimas amidoxíma redutase mitocondrial, xantina desidrogenase, sulfito oxidase, aldeído oxidase, nitrato redutase e nitrogenase (Kaiser et al., 2005). Pelas funções, verifica-se que o Mo influencia o metabolismo do N de forma geral, afetando a fixação biológica de N e a redução assimilatória do nitrato. A contribuição do Mo para o cafeeiro foi inicialmente descrita por Malavolta et al. (1961), ao investigar o desenvolvimento do arábica cultivado em solução nutritiva. Apesar de diversos autores relatarem a importância da nutrição molíbdica para o gênero *Coffea*, são escassos os estudos que avaliam o desempenho da cultura em resposta à aplicação de Mo.

Os resultados apresentados para o número de ramos plagiotrópicos produtivos podem ser compreendidos avaliando a Figura 3A. Verifica-se, na avaliação de maio de 2020, que o aumento no fornecimento de N, a partir da dose estimada de 511 kg ha⁻¹, resultou em maior comprimento médio do entrenó ortotrópico do cafeeiro. Ao comparar o valor registrado no vértice da parábola com o obtido na dose de 1.100 kg ha⁻¹, constata-se que, para a dose máxima de N, houve acréscimo de 3,07 mm no comprimento médio do internódio ortotrópico. Pelo exposto, o crescimento da haste ortotrópica promovido pela adubação nitrogenada não acarretou em maior número de ramos laterais devido ao alongamento do entrenó ortotrópico. Taiz et al. (2017) relatam que diversos fatores, como o sombreamento e a nutrição nitrogenada, podem favorecer o crescimento da planta por meio do alongamento dos internódios, resultando na redução de ramificações laterais.

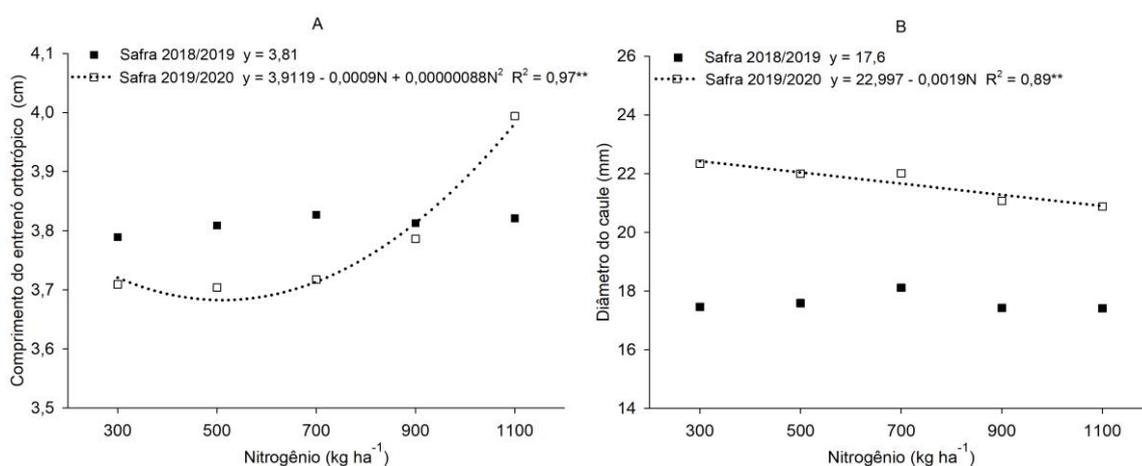


Figura 3. Comprimento médio do entrenó ortotrópico (A) e diâmetro do caule (B) do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Os resultados de diâmetro da haste ortotrópica são apresentados na Figura 3B. Nota-se que não houve significância para doses de N ao final do primeiro ano de condução do experimento. Na avaliação realizada em maio de 2020, observa-se que a adubação nitrogenada influenciou negativamente o diâmetro do caule. Comparando o valor médio obtido no ano agrícola de 2018/2019 com os encontrados na safra de 2019/2020, empregando o modelo de ajuste linear, constata-se que o aumento do fornecimento de N ao cafeeiro

resultou em menor incremento no diâmetro da haste ortotrópica. Em 12 meses, obteve-se acréscimo de 4,83 mm em plantas adubadas a 300 kg ha⁻¹ de N, enquanto para a dose de 1.100 kg ha⁻¹ de N, o aumento foi de apenas 3,31 mm. Pelo exposto, verifica-se que as maiores doses de N provocaram estiolamento das hastes ortotrópicas, resultando em maior alongamento do entrenó ortotrópico e redução do diâmetro do caule.

A relação entre o elevado suprimento de N e menor incremento no diâmetro da haste ortotrópica do cafeeiro conilon foi apresentada por Machado (2015). O autor observou que doses de N superiores às recomendadas afetaram negativamente o diâmetro do caule de 9 dos 13 materiais genéticos de *C. canephora* estudados. Avaliando a partição de matéria seca em plantas adultas de conilon, Bragança et al. (2010) constataram que as hastes ortotrópicas representam, ao lado dos frutos, o principal dreno de fotoassimilados. Verificaram ainda que o acúmulo de matéria seca no caule das plantas se correlacionava negativamente com a produtividade do cafeeiro, sugerindo que os frutos atuam como dreno preferencial de carboidratos, resultando em menor desenvolvimento radial dos ramos ortotrópicos.

Taiz et al. (2017) explicam que o processo de lignificação da parede celular em células do caule é intenso, e dependente da biossíntese de compostos fenólicos. Relatam ainda que as rotas do metabolismo secundário para a síntese de biomoléculas podem ser favorecidas ou minoradas por diversos fatores, com destaque para as condições ambientais, disponibilidade hídrica, estágio de desenvolvimento do vegetal e estado nutricional da planta.

A adubação nitrogenada influenciou significativamente o comprimento de ramos plagiotrópicos, nos dois anos de condução do *C. canephora* (Figura 4A). Para a avaliação realizada em 2019, constata-se, ao empregar o modelo de ajuste linear, que o fornecimento de 1.100 kg ha⁻¹ de N resultou em aumento de 30,9% no comprimento dos ramos laterais, quando comparado à menor dose de N. No segundo ano de avaliações, verifica-se que a aplicação de N promoveu incrementos quadráticos para variável, com resposta positiva para o comprimento de ramos plagiotrópicos até a dose estimada de 712 kg ha⁻¹ de N. Nesta dose, os ramos laterais alcançaram 70,52 cm, sendo 10,89 cm superiores aos ramos de plantas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N. Destaca-se que o comprimento de ramos

observado em 2020 foi inferior ao registrado em 2019 para todas as doses de N, resultados justificados pela fase fenológica da lavoura.

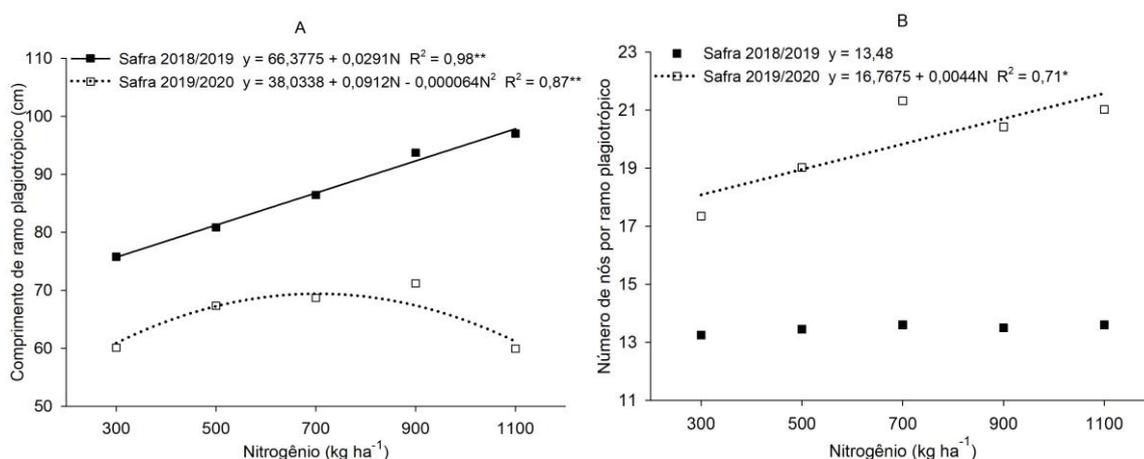


Figura 4. Comprimento de ramo plagiotrópico (A) e número de nós por ramo plagiotrópico (B) do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Busato et al. (2016) observaram nas avaliações realizadas em novembro, dezembro e fevereiro, que doses crescentes de N promoveram incrementos quadráticos para o comprimento de ramos produtivos do *C. canephora*. No entanto, os autores verificaram em todas as análises que os ramos plagiotrópicos alcançaram máximo comprimento com o fornecimento de N superior a 1.000 kg ha^{-1} . Estudando o crescimento vegetativo do cafeeiro conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de N, Magiero et al. (2017) apresentaram respostas positivas para o comprimento de ramos laterais com a aplicação de até 116,3% da adubação nitrogenada recomendada, havendo decréscimo nas maiores doses de N.

De acordo com Taiz et al. (2017), a arquitetura das espermatófitas consiste em múltiplas repetições de fitômeros, módulo composto por entrenó, nó, folha e meristema axilar. A formação dos ramos laterais ou reprodutivos a partir do meristema axilar apresenta rigoroso controle genético, sendo afetada pelos hormônios auxina, citocininas e estrigolactonas. Para Partelli et al. (2013), o desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos em *C. canephora* é acentuado entre

outubro e maio. A intensidade do crescimento é dependente do material genético e influenciada pela temperatura, disponibilidade hídrica e nutrição das plantas.

Verifica-se na Tabela 2 que a adubação molíbdica proporcionou aumento significativo para o comprimento de ramos plagiotrópicos do cafeeiro conilon, na avaliação realizada em 2020. A aplicação de 4 kg ha⁻¹ de Mo resultou em acréscimo de 7,1% no comprimento de ramos laterais, quando comparado às plantas que não receberam o micronutriente.

Embora não tenha sido observada significância para a interação Mo e N, a importância da nutrição molíbdica para o crescimento das plantas foi relatada em diversos estudos, devido especialmente à atuação do nutriente no metabolismo do N, como constituinte da enzima nitrato redutase. Apesar de não avaliar a contribuição do Mo para o cafeeiro, vários autores inferem sobre a participação do micronutriente no processo de redução assimilatória do nitrato (Freitas et al., 2007; Carelli et al., 1990).

Os resultados obtidos para o número de nós por ramo plagiotrópico do *C. canephora* são apresentados na Figura 4B. Inicialmente, cabe destacar que os valores exibidos foram coletados nos meses de julho de 2018 e 2019. Isso explica a ausência de significância para o primeiro ano, uma vez que a avaliação do cafeeiro ocorreu antes da aplicação dos tratamentos. Entretanto, para o ano de 2019, verifica-se que a adubação do cafeeiro conilon com doses crescentes de N influenciou positivamente o número de nós por ramo lateral. Ao empregar a equação do modelo de ajuste obtido, verifica-se aumento de um nó por ramo plagiotrópico para cada 227 kg de N aplicado. Com isso, plantas adubadas com 1.100 kg ha⁻¹ de N apresentaram para essa variável, resultado 19,5% superior àquelas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N.

É importante destacar a semelhança no comportamento dos dados obtidos para comprimento e número de nós por ramo plagiotrópico, demonstrando a estreita relação entre as variáveis, descrita por DaMatta et al. (2007). Ao avaliar o efeito da aplicação de ureia revestida no crescimento do cafeeiro arábica, Abranches et al. (2018) comprovaram a existência de correlação positiva entre comprimento e número de nós por ramo produtivo. Diferente dos resultados apresentados no presente trabalho, os autores observaram que doses crescentes de N promoveram incrementos quadráticos para ambas as variáveis. Mas,

verificaram que o ponto máximo para os componentes foi alcançado com doses similares de N.

Em ramos plagiotrópicos do *C. canephora*, as folhas são formadas a partir dos nós. As gemas seriadas, presentes na axila da folha, dão origem aos glomérulos. Nessas estruturas, desenvolvem-se as inflorescências, normalmente nos meses de agosto e setembro (Rena e Barros, 2004). Com o início da frutificação, cada nó que originou frutos em suas gemas passa a ser chamado de roseta. Por isso, observa-se certa semelhança entre os resultados obtidos para o número de nós e número de rosetas por ramo plagiotrópico (Figura 5A).

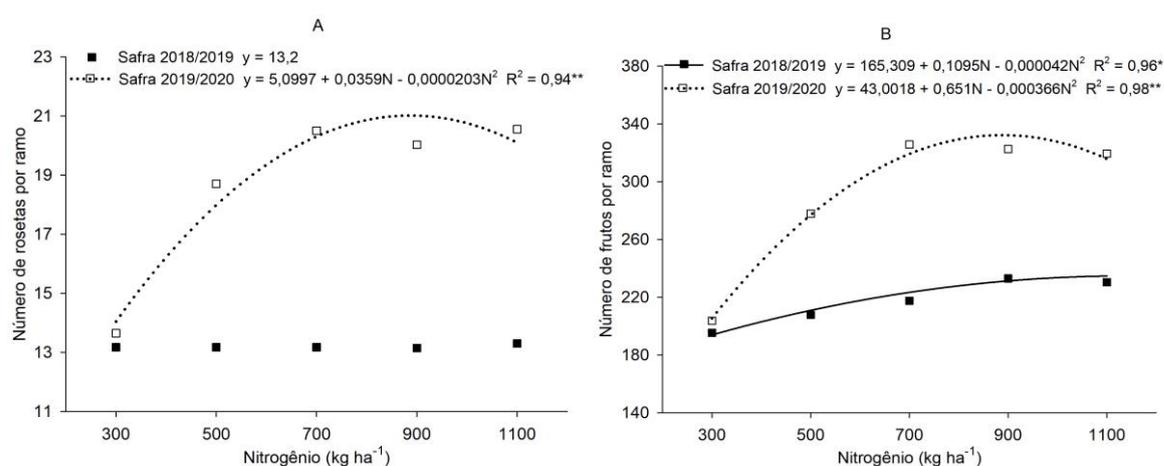


Figura 5. Número de rosetas por ramo plagiotrópico (A) e número de frutos por ramo produtivo (B) do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Não foi observado efeito da adubação nitrogenada sobre o número de rosetas por ramo plagiotrópico na avaliação de 2019. Na análise realizada no segundo ano de condução do cafeeiro, o modelo de ajuste quadrático foi o que melhor representou o comportamento dos dados obtidos. Verifica-se que a aplicação de doses crescentes de N proporcionou aumento no número de rosetas por ramo produtivo, até a dose estimada de 884 kg ha⁻¹ de N.

Ao analisar os resultados obtidos para o número de nós e de rosetas por ramo lateral no segundo ano de observação, verifica-se certa similaridade dos dados, pois foram coletados a partir dos mesmos ramos plagiotrópicos, avaliados em julho de 2019 e maio de 2020. Entretanto, nota-se diferença substancial entre

os componentes em plantas submetidas a baixos níveis de N. Para a menor dose de N, constata-se que o número de rosetas foi quatro unidades inferior ao número de nós por ramo produtivo. Para níveis mais elevados de N, as variáveis apresentaram semelhanças, com número de nós ligeiramente superior ao número de rosetas por ramo lateral.

Rena e Barros (2004) esclarecem que a presença de nós nos ramos laterais do *C. canephora* não garante o florescimento e a frutificação. As gemas seriadas, que podem originar ramos secundários, precisam se transformar em gemas reprodutivas. Após o processo de diferenciação e um período de dormência, ocorre a antese. Isso explica os resultados obtidos para o número de rosetas em plantas submetidas a doses elevadas de N.

Em plantas adubadas com baixos níveis de N, o menor número de rosetas pode ser atribuído à nutrição nitrogenada deficiente. A baixa concentração de N no cafeeiro conilon pode ter afetado as diferentes etapas do processo de florescimento, comprometendo a antese. Além disso, caso a abertura da flor tenha ocorrido, a deficiência de N pode ter prejudicado o pegamento e o desenvolvimento dos frutos, resultando em nós sem frutos e menor número de rosetas por ramo produtivo. Dubberstein et al. (2016) investigaram o acúmulo de macronutrientes durante o processo de frutificação do *C. canephora* e concluíram que o N é o elemento mineral presente em maior concentração nos frutos.

Apesar de não ter sido observado no primeiro ano, efeito da adubação nitrogenada sobre o número de nós e de rosetas por ramo plagiotrópico, verifica-se, dentro dos limites avaliados, aumento no número de frutos por ramo produtivo do cafeeiro conilon, submetido a níveis crescentes de N (Figura 5B). É importante ressaltar que os frutos contabilizados na análise de maio de 2019 são provenientes da antese que ocorreu entre julho e setembro de 2018, portanto, antes da aplicação dos tratamentos. Isso demonstra que as diferenças obtidas para o número de frutos por ramo não decorrem do processo de florescimento do cafeeiro. Os resultados confirmam que o fornecimento de N favoreceu o pegamento e o desenvolvimento dos frutos, reduzindo a abscisão ou queda deste órgão.

Dubberstein et al. (2017) demonstraram que a queda dos frutos é um fenômeno que ocorre naturalmente em *C. canephora*, especialmente nos três primeiros meses após o florescimento. Os autores verificaram que durante o

desenvolvimento inicial, os frutos competem por espaço nas rosetas dos ramos produtivos, ocasionando o desprendimento dos órgãos menores e mais fracos. No entanto, DaMatta et al. (2007) relatam que a queda dos frutos pode estar relacionada a fatores bióticos e abióticos. Dentre os abióticos, Custódio et al. (2014) destacam a restrição hídrica e deficiências nutricionais como os mais relevantes.

Ao avaliar o crescimento e produtividade do cafeeiro arábica adubado com diferentes fertilizantes nitrogenados, Lima et al. (2016) constataram que o fornecimento de N resultou em maior pagamento de frutos, quando comparado ao tratamento controle. Bragança et al. (2007) ressaltam a importância do N durante o processo de desenvolvimento dos frutos, pois representam relevante dreno de N no cafeeiro conilon. Por meio da partição de nutrientes, os autores verificaram que este órgão concentra 17% de todo o N presente em uma planta adulta.

Para o segundo ano de avaliação, verifica-se que a aplicação de N promoveu aumento no número de frutos por ramo plagiotrópico, com ajuste quadrático para os dados coletados (Figura 5B). Esses resultados corroboram com os apresentados por Magiero (2013), que avaliou o crescimento vegetativo e a produção do *C. canephora* fertirrigado com diferentes parcelamentos e níveis de N e observou o maior número de frutos por ramo no fornecimento de 158,9% da dose de N recomendada, quando parcelada em 15 vezes.

Comparando o modelo de ajuste obtido para o número de rosetas e o número de frutos por ramo, verifica-se similaridade no comportamento dos dados das variáveis. Para número de rosetas por ramo produtivo, o vértice da parábola foi atingido na dose estimada de 884 kg ha⁻¹ de N, enquanto o maior número de frutos por ramo plagiotrópico foi alcançado com a aplicação estimada de 889 kg ha⁻¹ de N.

Na Figura 6 são apresentados os resultados de produtividade de café beneficiado e rendimento de grãos, em função de doses de N. Observa-se na Figura 6A que a produtividade de café beneficiado para as safras de 2018/2019 e 2019/2020 seguiu modelo de ajuste quadrático, com decréscimo nos valores para os maiores níveis de N. Para o ano agrícola de 2018/2019, a produtividade máxima, de 105,71 sacas ha⁻¹, foi obtida com a aplicação estimada de 1.075 kg ha⁻¹ de N. No segundo ano de condução do cafeeiro, incrementos de produtividade foram registrados até a dose estimada de 833 kg ha⁻¹ de N,

alcançando 149,51 sacas ha^{-1} . No primeiro ano avaliado, a adubação com 1.075 kg ha^{-1} de N resultou em aumento de produtividade de 35,3%, quando comparado à menor dose de N. Na safra de 2019/2020, verificou-se acréscimo de produtividade de 88,9% quando as plantas foram adubadas com 833 kg ha^{-1} de N.

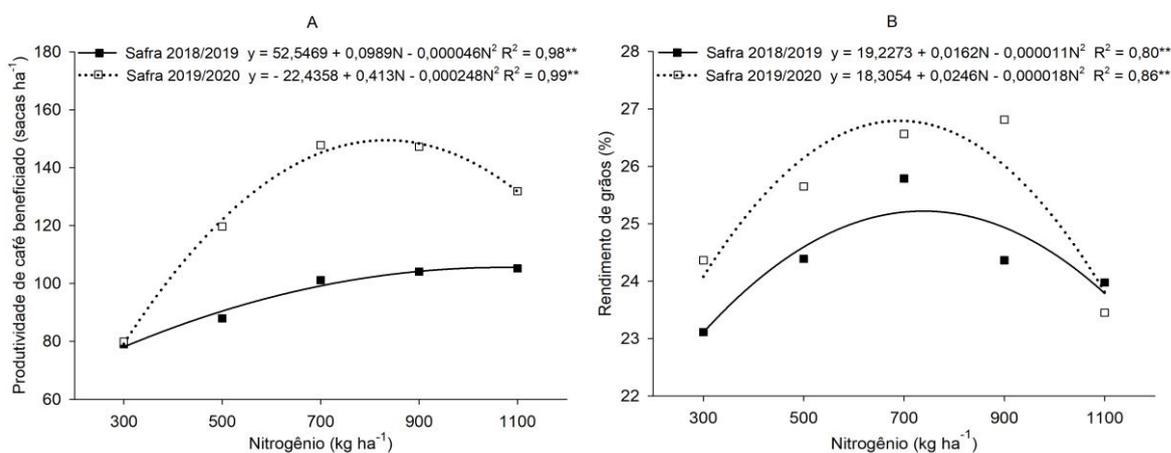


Figura 6. Produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg por hectare (A) e rendimento de grãos (B) do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Avaliando os resultados apresentados na Figura 6A e os dados obtidos para as variáveis de crescimento do *C. canephora*, verifica-se que o crescimento vegetativo influenciou a produtividade das plantas. Destaca-se que o comprimento de ramo plagiotrópico, número de nós por ramo lateral, número de rosetas e de frutos por ramo produtivo apresentaram estreita relação com a produtividade do cafeeiro conilon, especialmente para o segundo ano de condução do experimento. Entretanto, constata-se que a altura das plantas não afetou a produtividade do cafeeiro, em contraste aos resultados exibidos por Busato et al. (2016). Além disso, o número de ramos plagiotrópicos não exerceu influência significativa na produtividade, divergindo dos dados apresentados por Jaeggi et al. (2019), para o *C. canephora*.

Os resultados alcançados com incrementos quadráticos para a produtividade de café beneficiado corroboram com os apresentados por Busato et al. (2016), ao analisar a produção do cafeeiro conilon submetido a doses de N de até 1.320 kg ha^{-1} . Nota-se ainda, grande semelhança entre os dados exibidos pelos autores no primeiro ano de avaliação e os obtidos nesse trabalho, para a

safras de 2019/2020. Os pesquisadores verificaram que a máxima produtividade, de 144,63 sacas ha^{-1} , foi atingida quando o cafeeiro recebeu a aplicação de 829 kg ha^{-1} de N.

Cabe salientar que a produtividade máxima obtida nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 certamente não correspondem à produtividade máxima econômica. Ao analisar os resultados obtidos no segundo ano de avaliações, verifica-se que a produtividade do cafeeiro adubado com 637 kg ha^{-1} de N alcançou 140 sacas ha^{-1} . Então, fez-se necessário a aplicação de mais 196 kg ha^{-1} de N para atingir a produtividade máxima, de 149,51 sacas ha^{-1} . Os resultados apontam para a necessidade da análise financeira do custo/benefício da adubação nitrogenada, visando alcançar a produtividade máxima econômica.

Destaca-se que o fornecimento de 4 kg ha^{-1} de Mo resultou em aumento significativo na produtividade do *C. canephora* para a safra de 2019/2020 (Tabela 2). A adubação molíbdica proporcionou acréscimo de 3,7% na produtividade de café beneficiado. Apesar dos escassos estudos com o cafeeiro, trabalhos recentes demonstram que a aplicação de Mo promoveu incrementos de produtividade em culturas como cana-de-açúcar (Santos et al., 2018) e milho (Caioni et al., 2016).

Os dados apresentados na Tabela 2 demonstram que a adubação molíbdica não resultou em diferenças significativas para o crescimento e produção do cafeeiro conilon no primeiro ano de avaliações, exceto para a altura das plantas. Para o segundo ano, no entanto, verifica-se que a aplicação de Mo proporcionou resultados superiores para altura das plantas, comprimento de ramos plagiotrópicos e produtividade de café beneficiado. Esses resultados apontam para a redução da disponibilidade do micronutriente no solo, indicando que a adubação molíbdica poderia proporcionar respostas mais expressivas com a continuidade do estudo.

Os resultados exibidos na Figura 6B evidenciam que a adubação nitrogenada afetou o rendimento do café conilon. Verifica-se que o maior rendimento de grãos para a safra de 2018/2019 foi obtido com a aplicação estimada de 736 kg ha^{-1} de N, sendo necessário 3,97 kg de café da roça para a obtenção de 1 kg beneficiado. Na avaliação realizada na safra de 2019/2020, o rendimento máximo, de 26,7%, foi alcançado com o fornecimento estimado de 683 kg ha^{-1} de N, resultando na relação de 3,74:1. Apesar de ser usual na

literatura, considerar para o *C. canephora* a relação de quatro kg de café da roça para a obtenção de um kg beneficiado, estudos comprovam que o rendimento do café conilon pode ser influenciado por diversos fatores, podendo destacar o déficit hídrico (Dardengo et al., 2018) e o manejo nutricional (Magiero, 2013).

Magiero (2013) avaliando o rendimento de *C. canephora* submetido a doses de N, observou ajuste quadrático para a variável e concluiu que o maior rendimento foi obtido com a aplicação de 118,9% da dose de N recomendada. O autor relatou que, sob nutrição nitrogenada desequilibrada em razão da deficiência ou excesso de N, houve redução no rendimento de grãos. Araújo et al. (2014) verificaram que o rendimento do arábica adubado com 100% da dose de N foi 76,3% superior ao registrado em plantas que receberam apenas 30% da adubação indicada.

Cabe ressaltar que o rendimento do café para a colheita de 2020 foi superior ao obtido na avaliação de 2019, para as diferentes doses de N avaliadas. As condições climáticas favoráveis na safra de 2019/2020, com destaque para a precipitação pluvial durante o período de crescimento dos frutos e granação, foram determinantes para os resultados apresentados.

CONCLUSÕES

- A aplicação de Mo resultou em maior comprimento da haste ortotrópica e dos ramos produtivos do cafeeiro conilon, além de promover incremento de produtividade;
- O comprimento de ramos laterais, número de nós, de rosetas e frutos apresentaram estreita relação com a produtividade do cafeeiro e foram influenciados pela aplicação de N;
- A produtividade máxima alcançada na safra 2019/2020, de 149,51 sacas beneficiadas por hectare, foi obtida com a aplicação de 833 kg ha⁻¹ de N;
- O crescimento da haste ortotrópica decorrente da adubação nitrogenada não resultou em maior número de ramos plagiotrópicos no *C. canephora*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abranches JL, Soratto RP, Perdoná MJ (2018) Ureia revestida e o crescimento do cafeeiro arábica. F Amb. 14: 100-108.

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes JLM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Z. 22: 711-728.
- Araújo GAA, Teixeira AR, Miranda GV, Galvão JCC, Rocha PRR (2010) Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. Sci Agr. 11: 231-237.
- Araujo JBS, Rodrigues LB, Rodrigues MC, Martinez HEP, Santos RHS (2014) Adubação nitrogenada em cafeeiros com biomassa de feijão-de-porco. Coffee Sci. 9: 336-346.
- Bonomo DZ, Bonomo R, Partelli FL, Souza JM (2017) Genótipos de café conilon sob ajuste de diferentes coeficientes de cultura ajustados. Irriga. 22: 236-248.
- Bragança SM, Martinez HEP, Leite HG, Santos LP, Lani JA, Sediya CS, Alvarez VH (2010) Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. Rev Ceres. 57: 48-52.
- Bragança SM, Martinez HEP, Leite HG, Santos LP, Sediya CS, Alvarez VH, Lani JA (2007) Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. J Plant Nutr. 31: 103-120.
- Busato C, Busato CCM, Reis EF, Partelli FL (2016) Água e nitrogênio. Rev Cult Gran Cul. 17: 8-11.
- Caioni S, Lazarini E, Parente TL, Pivetta RS, Souza LGM (2016) Nitrogênio e molibdênio para milho irrigado em região de cerrado de baixa altitude. Rev Bras Milho Sorgo. 15: 419-428.
- Carelli MLC, Fahl JI, Magalhães AC (1990) Redução de nitrato em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e de nitrogênio. Bragantia. 49: 1-9.
- Clemente JM, Martinez HEP, Alves LC, Finger FL, Cecon PR (2015) Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. Acta Sci Agron. 37: 297-305.
- Colodetti TV, Rodrigues WN, Martins LD, Brinate SVB, Tomaz MA, Amaral JFT, Verdin Filho AC (2015) Nitrogen availability modulating the growth of improved genotypes of *Coffea canephora*. Afr J Agric Res. 10: 3150-3156.

- Colodetti TV, Rodrigues WN, Martins LD, Tomaz MA (2014) Differential tolerance between genotypes of conilon coffee (*Coffea canephora*) to low availability of nitrogen in the soil. *Aust J Crop Sci.* 8: 1648-1657.
- Covre AM, Partelli FL, Bonomo R, Gontijo I (2018) Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. *Pesq Agropec Bras.* 53: 1025-1037.
- Custódio AAP, Lemos LB, Mingotte FLC, Barbosa JC, Pollo GZ, Santos HM (2014) Florescimento de cafeeiros sob manejos de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. *Coffee Sci.* 9: 245-257.
- DaMatta FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS (2007) Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz J Plant Physiol.* 19: 485-510.
- Dardengo MCJD, Pereira LR, Sousa EF, Reis EF (2018) Yield, quality and water consumption of conilon coffee under irrigated and dryland managements. *Coffee Sci.* 13: 272-282.
- Dubberstein D, Partelli FL, Schmidt R, Dias JRM, Covre AM (2017) Matéria seca em frutos, folhas e ramos plagiotrópicos de cafeeiros cultivados na Amazônia Ocidental. *Coffee Sci.* 12: 74-81.
- Dubberstein D, Partelli FL, Dias JRM, Espindola MC (2016) Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Aust J Crop Sci.* 10: 701-710.
- Ferrão RG, Fonseca AFA, Ferrão MAG, De Muner LH (2017) *Café conilon*, 2ª ed. Incaper, Vitória.
- Freitas RB, Alves JD, Magalhães MM, Goulart PFP, Nascimento MN, Fries DD (2007) Adubação do cafeeiro com nitrato de potássio via solo e folha, no outono-inverno e primavera-verão: efeitos na atividade da redutase do nitrato, no crescimento das plantas e na produção. *Ciênc Agrotec.* 31: 945-952.
- Imran M, Sun X, Hussain S, Ali U, Rana MS, Rasul F, Saleem MH, Moussa MG, Bhandana P, Afzal J, Elyamine AM, Hu CX (2019) Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources. *Int J Mol Sci.* 20: 1-17.
- Jaeggi MEPC, Coelho FC, Pereira IM, Zacarias AJ, Gravina GA, Lima WL, Pereira LL, Moreira TR, Silva SF, Parajara MC (2019) Path analysis of vegetative characteristics in conilon coffee production consorciated with green fertilizers in tropical climate. *J Exp Agric Int.* 40: 1-11.

- Kaiser BN, Gridley KL, Brady JN, Phillips T, Tyerman SD (2005) The role of molybdenum in agricultural plant production. *Ann Bot.* 96: 745-754.
- Lima LC, Gonçalves AC, Fernandes ALT, Silva RO, Lana RMQ (2016) Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. *Coffee Sci.* 11: 97-107.
- Machado LS, Martins LD, Rodrigues WN, Ferreira DS, Côgo AD, Tomaz MA, Amaral JFT (2016) Efficiency and response of conilon coffee genotypes to nitrogen supply. *Afr J Biotechnol.* 15: 1892-1898.
- Machado LS (2015) Eficiência nutricional de clones de cafeeiro conilon no estágio inicial de crescimento quanto ao nitrogênio (master's thesis). Federal University of Espírito Santo, Brazil.
- Magiero M, Bonomo R, Partelli FL, Souza JM (2017) Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. *Rev Agro@ambiente.* 11: 31-39.
- Magiero M (2013) Parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio aplicados no cafeeiro conilon, via fertirrigação (master's thesis). Federal University of Espírito Santo, Brazil.
- Malavolta E, Haag HP, Johnson CM (1961) Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro: VI Efeitos das deficiências de micronutrientes em *Coffea arabica* L. var. Mundo Novo cultivado em solução nutritiva. *Anais Esalq.* 18: 147-167.
- Nie Z, Li J, Liu H, Liu S, Wang D, Zhao P, Liu H (2020) Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chem.* 18: 663-668.
- Partelli FL, Marré WB, Falqueto AR, Vieira HD, Cavatti PC (2013) Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. *J Agr Sci.* 5: 108-116.
- Prezotti LC, Guarçoni MA, Bragança SM, Lani JA (2017) Calagem e adubação do café conilon. In: Ferrão RG, Fonseca AFA, Ferrão MAG, De Muner LH (eds) *Café conilon*, 2ª ed. Incaper, Vitória.
- R Core Team. (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Internet Resource: <http://www.Rproject.org/> (verified Apr 13, 2020).

- Rena AB, Barros RS (2004) Aspectos críticos no estudo da floração do café. In: Zambolim L (ed) Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ribeiro JM, Frazão LA, Cardoso PHS, Oliveira ALG, Sampaio RA, Fernandes LA (2019) Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. *Ci Fl.* 29: 913-923.
- Rocha BCP (2019) Metabolismo do nitrogênio em cafeeiro submetido ao déficit hídrico e doses de nitrato [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos, 5ª ed. Embrapa, Brasília.
- Santos MJ (2012) Extração e determinação de Mo em três argissolos do nordeste cultivados com cana-de-açúcar [dissertação]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Santos RL, Freire FJ, Oliveira ECA, Freire MBGS, West JB, Barbosa JA, Moura MJA, Bezerra PC (2019) Nitrate reductase activity and nitrogen and biomass accumulation in sugarcane under molybdenum and nitrogen fertilization. *Rev Bras Cienc Solo.* 43: 1-19.
- Santos RL, Freire FJ, Oliveira ECA, Simões Neto DE, Medeiros MRFA, Bezerra PC, Moura MJA, Barbosa JA, Lopes NRC, Santos NL (2018) Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization of nitrogen and molybdenum. *J Soil Sci Plant Nutr.* 18: 1002-1020.
- Singh AL, Jat RS, Chaudhari V, Bariya H, Sharma SJ (2010) Toxicities and Tolerance of Mineral Elements Boron, Cobalt, Molybdenum and Nickel in Crop Plants. *P Stress.* 4: 31-56.
- Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A (2017) Fisiologia e desenvolvimento vegetal, 6ª ed. Artmed, Porto Alegre.
- Verdin Filho AC, Tomaz MA, Ferrão RG, Ferrão MAG, Fonseca AFA, Rodrigues WN (2014) Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. *Coffee Sci.* 9: 489-494.
- Wurzburger N, Bellenger JP, Kraepiel AML, Hedin LO (2012) Molybdenum and phosphorus interact to constrain asymbiotic nitrogen fixation in tropical forests. *Plos One.* 7: 1-7.

3.3 NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO CONILON SOB ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E MOLIBDÊNIO³

RESUMO - O nitrogênio (N) é o nutriente mais aplicado em lavouras de *Coffea canephora*. No entanto, a absorção de N, especialmente na forma de nitrato, não garante sua efetiva utilização na síntese de biomoléculas. A redução do nitrato no citosol, mediado pela enzima nitrato redutase, muitas vezes é limitada pela deficiência de molibdênio (Mo). Objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio na nutrição do cafeeiro conilon, conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo. O experimento foi conduzido no período de junho de 2018 a maio de 2020. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de nitrogênio (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica. Avaliou-se os teores foliares de macronutrientes e Mo, além da produtividade de café beneficiado. Doses crescentes de N promoveram aumento linear do S e, dentro de certos limites, elevaram as concentrações de N-NH₄⁺, P, K e Ca em folhas do cafeeiro; enquanto houve decréscimo nos teores de Mg e Mo. O fertilizante molibdato de sódio aplicado no solo foi eficiente em fornecer Mo ao cafeeiro, visto que a adubação com 4 kg ha⁻¹ de Mo elevou o teor médio do micronutriente nas folhas em 1.341%. Apesar do conilon manter teores basais de nitrato nas folhas, a adubação molíbdica impediu o acúmulo excessivo de NO₃⁻

³ Artigo submetido à Journal of Plant Nutrition.

em plantas submetidas a doses de N superiores a 515 kg ha⁻¹. As maiores concentrações de N-NH₄⁺, P, K e Ca foram alcançadas com doses de N entre 698 e 967 kg ha⁻¹, que proporcionaram produtividade superior a 145 sacas ha⁻¹.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, concentração de nitrato, macronutrientes em folhas, interação entre íons, produtividade.

NUTRITION OF CONILON COFFEE UNDER FERTILIZATION OF NITROGEN AND MOLYBDENUM

ABSTRACT - Nitrogen (N) is the most applied nutrient in *Coffea canephora* crop. However, the absorption of N, especially in the form of nitrate, does not guarantee its effective use in the synthesis of biomolecules. The reduction of nitrate in the cytosol, mediated by the enzyme nitrate reductase, is often limited by the deficiency of molybdenum (Mo). This study, conducted during two coffee production cycles under field conditions, aimed to evaluate the effects of the application of N doses and fertilization with Mo on the nutrition of conilon coffee. The experiment was conducted from June 2018 to May 2020. The experimental design used was in randomized blocks, in a 5 x 2 factorial scheme, being the first factor nitrogen doses (300, 500, 700, 900 and 1,100 kg ha⁻¹ year⁻¹) and second factor the absence and presence of molybdc fertilization. We evaluated the leaf content of macronutrients and Mo in addition to the productivity of processed coffee. Increasing doses of N promoted a linear increase in S, and within certain limits, increased the concentrations of N-NH₄⁺, P, K and Ca in coffee leaves; while there was a decrease in the levels of Mg and Mo. The sodium molybdate fertilizer applied to the soil was efficient in supplying Mo to the coffee, since the fertilization with 4 kg ha⁻¹ of Mo increased the average micronutrient content in leaves by 1,341%. Although the conilon maintains basal levels of nitrate in the leaves, molybdc fertilization prevented the excessive accumulation of NO₃⁻ in plants submitted to N doses above 515 kg ha⁻¹. The highest concentrations of N-NH₄⁺, P, K and Ca were achieved with doses of N between 698 and 967 kg ha⁻¹, which provided yield greater than 145 bags ha⁻¹.

Keywords: *Coffea canephora*, nitrate concentration, macronutrients in leaves, interaction between ions, productivity.

INTRODUÇÃO

Com avanços no melhoramento genético, atualmente, as cultivares de conilon possuem alto potencial produtivo. Partelli et al. (2016) destacam que essas cultivares apresentam grande exigência nutricional, que torna indispensável o manejo da fertilidade do solo e a nutrição mineral equilibrada para obtenção de elevada produtividade.

Em lavouras de *C. canephora*, o nitrogênio (N) é o nutriente aplicado em maior quantidade, além de proporcionar os maiores efeitos no aumento da produtividade. Busato et al. (2016) verificaram incrementos na produtividade do cafeeiro conilon em doses superiores a 800 kg ha⁻¹, enquanto Machado et al. (2016) relataram que a eficiência no uso do N e a resposta do cafeeiro à adubação nitrogenada difere para os genótipos estudados.

Devido à dinâmica do N no solo, com possibilidade de perdas por volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão, bem como indisponibilidade temporária devido à imobilização, os estudos sobre a adubação nitrogenada normalmente visam mitigar esses processos, com foco nos eventos que ocorrem no solo. A absorção do N, especialmente na forma de nitrato (NO₃⁻), não garante sua efetiva utilização na síntese de biomoléculas. Nas células vegetais, o NO₃⁻ precisa passar por um processo de redução mediado por enzimas, para ser convertido a amônio (NH₄⁺) e então assimilado (Taiz et al., 2017).

Santos et al. (2019) salientam que a conversão do nitrato a nitrito (NO₂⁻) no citosol, mediado pela enzima nitrato redutase (NR), é normalmente a etapa limitante do processo de redução assimilatória do nitrato, muitas vezes resultado da deficiência de molibdênio (Mo). Em outras culturas, inúmeros trabalhos confirmaram a eficiência da aplicação de Mo associado ao N na atividade da NR (Santos et al., 2019), na redução do nitrato nas células (Imran et al., 2019a), na assimilação do N (Imran et al., 2019b) e no aumento da eficiência da adubação nitrogenada (Caioni et al., 2016), com incrementos na produtividade (Santos et al., 2018).

Para o cafeeiro, são escassos os trabalhos sobre a adubação molíbdica e os efeitos do Mo na absorção dos nutrientes minerais. Além disso, há carência de estudos sobre o fornecimento de Mo associado ao suprimento de N. As poucas pesquisas desenvolvidas sobre o tema foram conduzidas em *C. arabica*, exigindo

cautela na extrapolação dos resultados para o *C. canephora*. Objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio na nutrição do cafeeiro conilon, conduzido durante dois ciclos produtivos em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de junho de 2018 a maio de 2020 no município de Santa Teresa, estado do Espírito Santo, Brasil, situado entre as coordenadas 19°47'15" de latitude sul e 40°38'52" de longitude oeste de Greenwich e altitude média de 165 metros. O clima da região é tropical, com inverno seco e verão chuvoso, Aw segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

O solo, de declividade Suave Ondulado, foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2018), classe textural Franco Argilosa, apresentando para a profundidade de 0-20 cm, 436, 243 e 321 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, e 367, 265 e 368 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, para a profundidade de 20-40 cm.

A lavoura foi implantada em abril de 2016, com espaçamento de 3,0 x 0,9 metros, com 3.704 plantas por hectare, e conduzida com três hastes por planta, seguindo as recomendações de Verdin Filho et al. (2014). A área experimental foi composta por seis materiais genéticos distintos e compatíveis entre si, sendo avaliadas plantas do clone 108P, pertencente a cultivar Diamante ES8112.

Desde o plantio do cafeeiro, o manejo da fertilidade do solo foi realizado de acordo com as recomendações de Prezotti et al. (2017), utilizando os fertilizantes nitrato de cálcio, fosfato monoamônico, cloreto de potássio, sulfato de magnésio, óxido de zinco e ácido bórico como fontes de N+Ca, P+N, K, Mg+S, Zn e B, respectivamente.

Após a primeira colheita, em junho de 2018, realizou-se a coleta de solo na área experimental para caracterização química, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1). Os resultados da análise de solo não indicaram a necessidade do uso de corretivo de acidez.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Junho de 2018																		
Profun- didade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----										----%----
0-20	6,3	5,0	1,0	0,0	2,9	9,9	7,0	123	350	16	3,0	137	14	139	0,6	0,7	2,4	70,8
20-40	6,1	4,0	0,6	0,0	2,5	7,9	5,4	55	280	8	2,0	175	12	120	0,4	0,5	1,7	68,5
Abril de 2019																		
Profun- didade	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	P	K	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	MO	V
(cm)	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----										----%----
0-20	5,9	4,6	1,2	0,0	3,3	10,0	6,7	108	335	19	7,2	142	9,3	151	0,8	3,1	2,1	67,0
20-40	5,8	3,8	0,6	0,1	2,9	8,1	5,2	45	316	9	3,8	156	9,1	109	0,4	1,4	1,5	64,2

pH em H₂O 1:2,5; Ca, Mg e Al: extraídos por KCl; H+Al: extraídos por acetato de cálcio; P: extraído por resina de troca aniônica; K, Cu, Fe, Zn, Mn e Mo: extraídos por Mehlich; S-SO₄²⁻: extraído por fosfato de cálcio; B: extraído por cloreto de bário; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; SB: soma de bases; MO: matéria orgânica, determinada pelo método Walkley-Black; V: porcentagem de saturação por bases.

A adubação do cafeeiro conilon (exceto para N e Mo) durante o período experimental obedeceu às recomendações de Prezotti et al. (2017), para lavouras com produtividade estimada entre 131-170 sacas beneficiadas de 60 kg por hectare. Os tratos culturais empregados no cafeeiro, no que refere a desbrota, poda, manejo fitossanitário e controle de plantas invasoras seguiram as recomendações técnicas de Ferrão et al. (2017).

Ao longo de todo o período experimental, sempre que a precipitação pluvial foi insuficiente, realizou-se a irrigação do cafeeiro, sendo a lâmina aplicada calculada em razão da evapotranspiração da cultura (ET_c), obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (k_c) em cada fase de desenvolvimento. A ET_o foi calculada pelo método Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998), utilizando-se dados meteorológicos obtidos em uma estação climatológica automática pertencente ao Ifes - Campus Santa Teresa, localizada a 3,8 km da área experimental. Para o k_c, foram adotados valores sugeridos por Bonomo et al. (2017).

Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, com espaçamento de 30 cm entre gotejadores, resultando em uma faixa irrigada contínua. Adotou-se o turno de rega fixo, sendo as irrigações realizadas a cada três dias, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo (CC). Na Figura 1 são

apresentados os valores dos dados meteorológicos observados durante o período experimental.

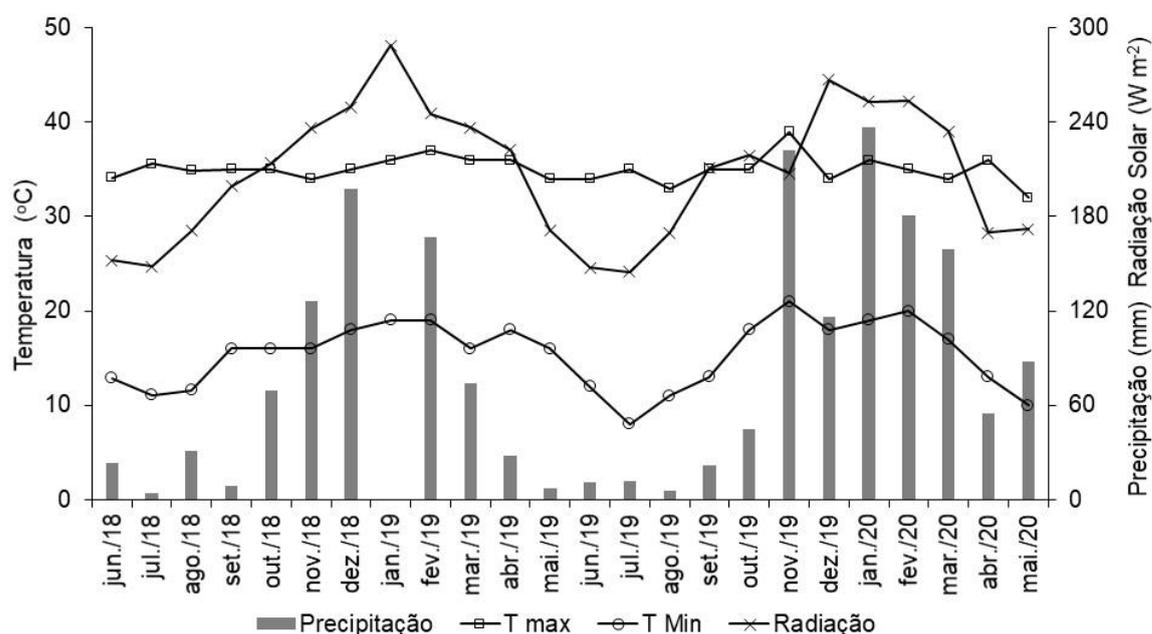


Figura 1. Valores das variáveis climáticas observados durante o período experimental (junho/2018 a maio/2020).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de N (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Para a escolha das doses de N, considerou-se a dose de 560 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sugerida por Prezotti et al. (2017) para lavouras de conilon com produtividade estimada de 131 a 170 sacas por hectare. A menor dose de N empregada nesse estudo representa aproximadamente metade da recomendação, enquanto a maior, é quase o dobro da dose indicada. A parcela experimental foi composta por 21 plantas, dispostas em três fileiras, considerando úteis as cinco plantas da linha central, pois as duas plantas das extremidades, bem como as duas fileiras laterais serviram como bordadura.

Durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020, a aplicação dos tratamentos (N e Mo) ocorreu entre outubro e fevereiro. Em cada ano agrícola, a dose de N proposta para os diferentes tratamentos foi dividida em cinco aplicações e realizadas no início dos meses de outubro, novembro, dezembro,

janeiro e fevereiro. Como fonte de N, utilizou-se a ureia agrícola (46% de N), por possuir elevada solubilidade e apresentar menor custo por kilograma de N.

Para a aplicação do N, após pesada em balança digital eletrônica, a ureia foi dissolvida em água, obtendo-se uma solução homogênea com 129,1 g L⁻¹ de ureia. Posteriormente, a solução foi aplicada sobre o solo, paralela à mangueira de irrigação, com o auxílio de copos de polietileno previamente aferidos. Em cada uma das cinco aplicações, cada planta recebeu 272, 454, 636, 818 e 1.000 mL de solução, referente aos tratamentos 300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Imediatamente após o fornecimento do N, procedeu com a irrigação do cafeeiro conilon, visando promover a rápida incorporação da ureia no solo, favorecer a absorção de N pelas plantas, além de reduzir as perdas de N por volatilização da amônia.

Considerando os resultados obtidos por Araújo et al. (2010) para a cultura do milho, com incrementos de produtividade até a dose de 1,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado via foliar; a intensidade do processo de adsorção de Mo e formação de Mo não-lábil em solos tropicais (Nie et al., 2020; Wurzbarger et al., 2012; Santos, 2012); os poucos relatos de toxidez por molibdênio em espécies cultivadas (Singh et al., 2010); e as doses de N empregadas nesse estudo; optou-se pela dose de 4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mo, aplicado ao solo. Em cada ano agrícola, a dose de Mo foi dividida em duas aplicações e realizadas no início dos meses de novembro e janeiro, empregando o fertilizante molibdato de sódio (39% Mo) como fonte de Mo. Após pesado em balança digital de precisão, o molibdato de sódio foi dissolvido em água, obtendo-se uma solução homogênea com 55,4 g L⁻¹ de molibdato de sódio. Em seguida, cada planta recebeu 25 mL da solução, utilizando uma pipeta semiautomática de volume fixo. Posteriormente, foi acionado o sistema de irrigação, permitindo a incorporação do fertilizante e a rápida absorção do Mo pelas plantas.

Em cada ano agrícola avaliado, ao final de novembro e janeiro, foram retiradas folhas do cafeeiro conilon para a determinação dos nutrientes. Coletaram-se o 3º e 4º par de folhas a partir da extremidade de ramos plagiotrópicos situados no terço médio da planta, em dois ramos plagiotrópicos voltados para lados opostos, na entre linha da lavoura. Realizou-se a coleta em todas as cinco plantas úteis de cada unidade experimental. Em seguida, as folhas de cada parcela foram acondicionadas em saco de papel, identificadas e levadas

para estufa de circulação de ar, onde foram mantidas por 96 horas, com temperatura entre 60° e 65° C. Após secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas para posteriores análises dos nutrientes.

As análises de N nítrico e amoniacal foram realizadas empregando metodologias descritas por Silva (2009). Para a determinação dos teores de NH_4^+ , o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica, enquanto o método do ácido salicílico foi utilizado para a obtenção dos teores de NO_3^- . Os teores de P, K, Ca, Mg, S e Mo foram determinados após digestão aberta com HNO_3 e H_2O_2 e quantificados em aparelho de espectrometria de emissão atômica (ICPE-9000) (Peters, 2005).

A colheita do cafeeiro relativa às safras de 2018/2019 e 2019/2020 foi efetuada na última semana de maio, quando a lavoura apresentava aproximadamente 80% de frutos cerejas. A colheita de todas as cinco plantas úteis que compõem cada unidade experimental foi realizada por meio de derrixa manual no pano. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos de ráfia e pesados, obtendo-se a massa de café maduro, colhida em cada parcela. A produção de café beneficiado foi alcançada após secagem e beneficiamento dos frutos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em razão da significância para as variáveis, foram ajustadas equações de regressão. Adotou-se o nível de significância de 5% ($P < 0,05$) em todos os testes estatísticos, utilizando o programa R (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou não haver interação significativa entre o fator qualitativo (Mo) e o quantitativo (N), para as variáveis observadas, durante os anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. No entanto, verificou-se no período avaliado, efeito isolado da adubação molíbdica, bem como da aplicação de doses de N para os teores dos nutrientes em folhas do *C. canephora*.

Os teores de N (N-NH_4^+) nas folhas do cafeeiro conilon, nos diferentes períodos avaliados, são apresentados na Figura 2A. Verifica-se que o aumento no fornecimento de N resultou em incrementos de N-NH_4^+ nas folhas, para os dois anos agrícolas avaliados, nos diferentes períodos de observação. O modelo de

ajuste quadrático foi o que melhor representou o comportamento dos dados obtidos. Resultados semelhantes foram encontrados por Vilela et al. (2017), testando doses crescentes de N em plantas de *C. canephora* na fase de formação.

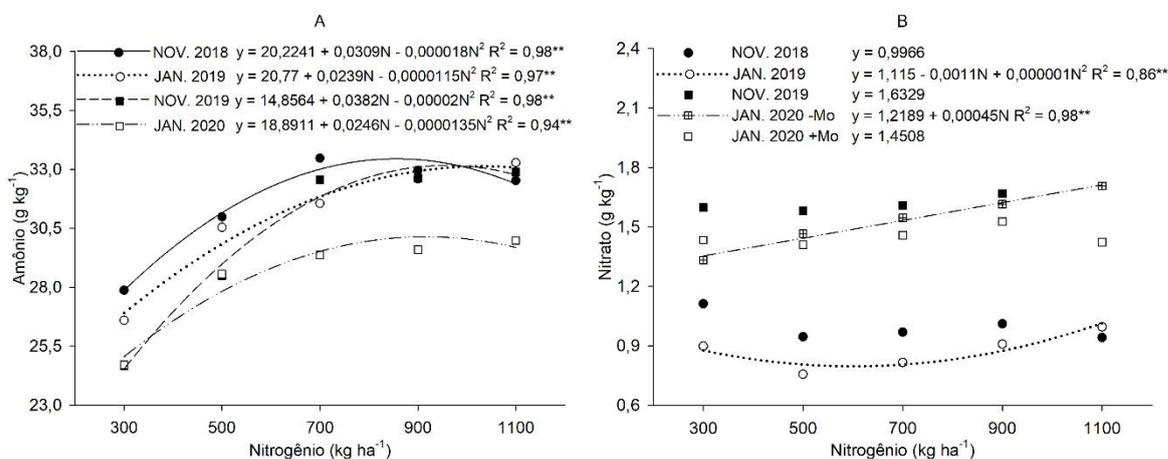


Figura 2. Teores de amônio (A) e nitrato (B) em folhas do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

De acordo com Taiz et al. (2017), o N é normalmente o nutriente mineral presente em maior concentração nos tecidos vegetais, por ser essencial na síntese de diversas biomoléculas como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, trifosfato de adenosina, ácido indol acético, coenzimas como NAD e NADP e vitaminas do complexo B. Colodetti et al. (2014) destacam que o N é o nutriente mais extraído em plantas de *C. canephora*, apresentando grande influência no desenvolvimento vegetativo e produtividade do cafeeiro.

Nos dois anos agrícolas avaliados, percebem-se teores superiores de N-NH₄⁺ na coleta realizada no mês de novembro. Nesse período, a maior concentração de N-NH₄⁺ nas folhas foi verificada quando o cafeeiro conilon foi submetido às doses de 858 e 955 kg ha⁻¹ de N, para os anos de 2018 e 2019, respectivamente. A redução dos teores de N nas avaliações de janeiro de 2019 e 2020 pode ser atribuída à grande mobilização de compostos nitrogenados das folhas para os frutos. Essa afirmação pode ser sustentada ao avaliar os teores de N em janeiro de 2019 e 2020 e a produtividade do cafeeiro conilon nos anos

agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020 (Figura 6), onde se verificam menores teores de N no segundo ano, em virtude da maior produtividade do cafeeiro.

De acordo com Ronchi e DaMatta (2017), os frutos do cafeeiro conilon iniciam rápida expansão a partir da oitava semana após a antese. Essa fase, caracterizada pelo intenso processo de divisão e crescimento celular, apresenta duração média de dez semanas e normalmente compreende o período de novembro a janeiro, a depender da precocidade do material genético. Ao avaliar a flutuação dos teores de nutrientes e sua partição em diferentes órgãos do *C. canephora* durante um ciclo produtivo, Bragança (2005) verificou redução da concentração de N nas folhas a partir de outubro, resultado da exigência de compostos nitrogenados pelos frutos. Abranches et al. (2019) ao analisar os teores de nutrientes em folhas do cafeeiro arábica nos meses de outubro e março, observaram redução dos teores de N total em folhas do cafeeiro ao final da fase de granação.

Durante as avaliações realizadas em novembro, as concentrações de N-NH₄⁺ alcançaram 33,48 e 33,09 g kg⁻¹ para os anos de 2018 e 2019, respectivamente. Tais valores superam aqueles estabelecidos na faixa de suficiência proposta por Partelli et al. (2016). Esses autores, analisando lavouras comerciais de conilon durante os meses de outubro e novembro, propuseram como adequados teores de N entre 25,2 e 30,6 g kg⁻¹. Cabe destacar que o nível crítico ou faixas de suficiência estabelecidas para o *C. canephora* e adotados atualmente foram obtidos há décadas, utilizando cultivares com menor produtividade. Considerando o potencial produtivo dos materiais genéticos atualmente disponíveis, esses valores precisam ser revistos, para que o fornecimento de N não limite a produtividade do cafeeiro.

Destaca-se ainda, que houve redução nos teores de N-NH₄⁺ nas folhas do cafeeiro conilon submetido às maiores doses de N. Para o primeiro ano de avaliações, houve diminuição na concentração de N-NH₄⁺ a partir do fornecimento de 858 e 1039 kg ha⁻¹ de N, para os meses de novembro e janeiro, respectivamente. No segundo ano, decréscimos nos teores foram registrados a partir do fornecimento de 955 e 911 kg ha⁻¹ de N, para os meses de novembro e janeiro, respectivamente.

Não houve interação significativa entre doses de N e adubação molíbdica para os teores de N (N-NO₃⁻) no primeiro ano de avaliações. Observa-se na

Figura 2B que, para o mês de novembro de 2018, as médias do fator quantitativo foram estatisticamente iguais. Porém, obteve-se efeito significativo para doses de N e teores de N-NO_3^- em janeiro de 2019, com ligeiro acréscimo de N-NO_3^- nas folhas do cafeeiro conilon submetido às maiores doses de N, seguindo uma função quadrática.

Em novembro de 2019, não houve interação significativa entre doses de N e adubação molíbdica para os teores de N-NO_3^- , sendo as médias do fator quantitativo estatisticamente iguais. Entretanto, destacam-se os resultados obtidos em janeiro de 2020, com interação significativa entre doses de N e o fornecimento de Mo. Na ausência da adubação molíbdica, houve acréscimo nos teores de nitrato com o aumento das doses de N, representado pelo modelo de ajuste linear. A concentração de N-NO_3^- em folhas do cafeeiro conilon que recebeu a dose máxima de N foi 26,4% superior à registrada na dose mínima. O acúmulo de nitrato em folhas do cafeeiro submetido à adubação nitrogenada foi relatado por diversos autores. Paula Neto et al. (2015), avaliando o metabolismo do N em plantas adultas e produtivas de arábica, observaram aumento na concentração de N-NO_3^- em folhas do cafeeiro submetido às doses de 600 e 800 kg ha^{-1} de N.

Ao comparar os tratamentos, com e sem Mo, submetidos à aplicação de 1100 kg ha^{-1} de N, verifica-se que a concentração de nitrato de 1,42 g kg^{-1} quando na presença de Mo, enquanto na ausência da adubação molíbdica, o teor foliar de N-NO_3^- alcançou 1,71 g kg^{-1} . É importante salientar que, apesar de ter sido observado acúmulo de N-NO_3^- para os tratamentos que receberam aplicação de Mo, apenas foram constatados incrementos nos teores de nitrato com o aumento no fornecimento de N em plantas que não receberam a adubação molíbdica. Esses resultados indicam que, sob elevadas doses de N, a ausência de Mo limitou a atividade da NR nas folhas do cafeeiro conilon, resultando em acúmulo de N-NO_3^- . Rana et al. (2020) relataram que o Mo é componente estrutural da enzima NR e encontra-se complexado por uma pterina, formando o grupo prostético denominado cofator Mo. Essa molibdopterina é responsável pela transferência de elétrons para o NO_3^- , resultando na formação de NO_2^- no citosol.

Marschner (2011) esclarece que apesar de comum o acúmulo de nitrato em compartimentos não metabólicos celulares, concentrações elevadas podem estar relacionadas à menor atividade da NR no citosol das células. Lemos et al.

(2010) avaliando diferentes sistemas de cultivo para o cafeeiro arábica, sugeriram que o acúmulo de nitrato nos tecidos foliares pode estar relacionado à menor atividade da enzima NR.

Embora o N possa ser absorvido pelas raízes na forma de amônio, nitrato, ureia, ureídeos, aminoácidos e peptídeos (Feng et al., 2020; Han et al., 2016), Noguero e Lacombe (2016) destacam que o N-NO_3^- é absorvido em maior quantidade pelas plantas, devido ao intenso processo de nitrificação no solo. Diversos estudos mensuraram a atividade das bactérias nitrificantes e comprovaram a velocidade do processo de nitrificação em solos tropicais, com adequada aeração. Avaliando dois solos argilosos de clima tropical, Barth et al. (2019) verificaram que 15 dias após a aplicação da ureia, mais de 95% do amônio proveniente da hidrólise enzimática foi nitrificado.

Nos dois anos de avaliações, os teores de nitrato em folhas do *C. canephora* variaram entre 0,81 e 1,71 g kg⁻¹. Avaliando a influência da luminosidade e níveis de N em arábica, Pompelli et al. (2013) verificaram concentrações de N-NO_3^- entre 1,8 e 2,1 g kg⁻¹, em plantas não sombreadas. Os autores observaram ainda que os maiores teores de nitrato foram encontrados em plantas submetidas às maiores doses de N.

Cabe destacar que a deficiência de Mo resulta na menor atividade da NR, no acúmulo de nitrato nas células, que afeta consequentemente a cinética de absorção de N-NO_3^- pelas raízes. Noguero e Lacombe (2016) citam que a absorção de nitrato é controlada por *feedback*, influenciada diretamente pela concentração de N-NO_3^- nas células. Ao avaliar os transportadores envolvidos na absorção de N-NO_3^- em *Arabidopsis*, os autores relataram que o acúmulo de nitrato nas células das folhas reduz a expressão de genes para a síntese de transportadores de N-NO_3^- de alta e baixa afinidade nas células, especialmente das raízes, além de atenuar a indução desses transportadores.

Não houve efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica para os teores de P em folhas do *C. canephora*, nas análises realizadas nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020 (Figura 3A). Para as avaliações realizadas em novembro de 2018, janeiro de 2019 e janeiro de 2020, as médias do fator quantitativo não diferiram estatisticamente. Nota-se que os valores médios de P em folhas do cafeeiro para o primeiro ano de avaliações foram 1,43 e 1,50 g kg⁻¹, enquanto para janeiro de 2020 foi de 1,43 g kg⁻¹. Esses resultados

evidenciam a adequada nutrição fosfatada do cafeeiro conilon, visto que os teores se encontram próximos do limite superior dos valores de referência estabelecidos para o *C. canephora* por Martins et al. (2019), entre 0,73 e 1,52 g kg⁻¹ de P.

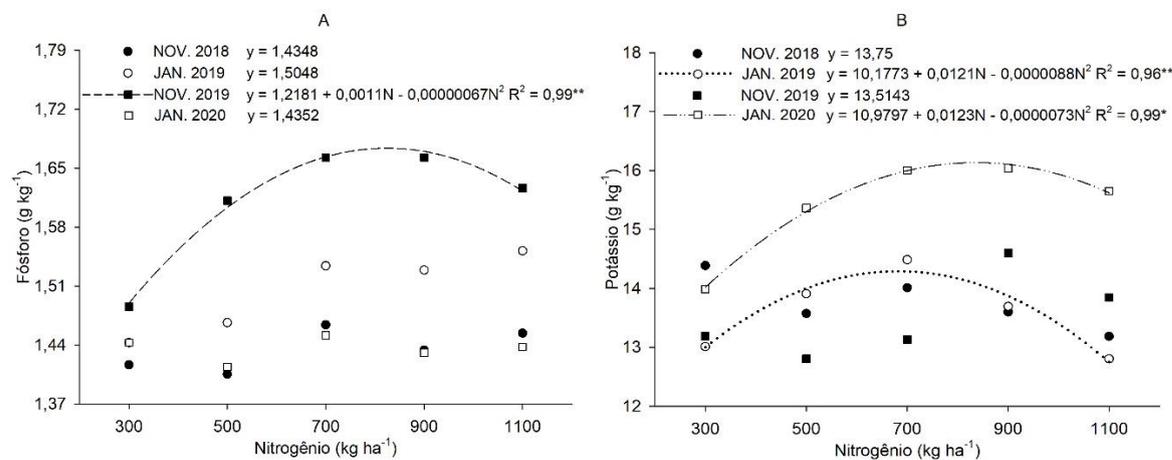


Figura 3. Teores de fósforo (A) e potássio (B) em folhas do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Na avaliação realizada em novembro de 2019, a aplicação de doses de N influenciou os teores de P em folhas do cafeeiro conilon, representado pelo modelo de ajuste quadrático. Foi observado que o aumento das doses de N resultou em incrementos nas concentrações de P em folhas do cafeeiro, até 820 kg ha⁻¹. Nessa dose de N, os teores de P alcançaram 1,67 g kg⁻¹. O sinergismo existente entre N e P no cafeeiro foi relatado por Vilela et al. (2017). Para Marschner (2011), o fornecimento de N favorece o aumento da atividade fotossintética e por consequência, a respiração e o metabolismo de carboidratos. Isso possibilita o crescimento dos vegetais e eleva a demanda por fosfolipídios, DNA, RNA e ATP. Assim, a aplicação de N aumenta o requerimento de P pelas plantas, para a síntese de biomoléculas, para a ocorrência de reações bioquímicas e para a ativação enzimática, por meio de fosforilações.

Os resultados apresentados na Figura 3B mostram que não houve efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica para os teores de K em folhas do cafeeiro conilon, nos dois anos de avaliações. Para os meses de janeiro de 2019 e 2020, observa-se efeito significativo para doses de N e concentração foliar de K, com ajuste quadrático para os dados obtidos. Em janeiro

de 2019, o incremento das doses de N propiciou aumento nos teores de K até 687 kg ha⁻¹, enquanto para o mesmo período de 2020, as maiores concentrações de K foram registradas quando as plantas receberam 842 kg ha⁻¹ de N. O fornecimento de elevadas doses de N, superior a 687 e 842 kg ha⁻¹ para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, resultou no decréscimo dos teores de K nas folhas do *C. canephora*.

De acordo com Marschner (2011), o K é responsável pela ativação de mais de 60 sistemas enzimáticos. Muitos desses estão diretamente relacionados à síntese proteica e à utilização do N pelos vegetais. Isso explica o sinergismo existente entre os nutrientes, justificando o acréscimo nos teores de K com o aumento no fornecimento de N, obtidos nesse estudo. Raddatz et al. (2020) relatam que a absorção de K é favorecida pela disponibilidade de NO₃⁻ na solução do solo, devido ao balanço de cargas elétricas durante o processo de absorção e transporte de nutrientes no tecido vegetal. Além disso, destacam que o K atua como contra-íon, favorecendo a passagem do nitrato pela plasmalema.

Apesar do sinergismo existente entre N e K, diversos trabalhos indicam que o K⁺ compete com o N-NH₄⁺ por proteínas de transporte na plasmalema das células das raízes. Marschner (2011) descreve que ambos os cátions utilizam, no sistema de transporte de baixa afinidade, canais retificadores de K, canais não seletivos de cátions, aquaporinas, entre outros. Raddatz et al. (2020) destacam que a competição entre K⁺ e NH₄⁺ também ocorre em sistemas de transporte de alta afinidade, onde o amônio atua como forte inibidor da absorção de K. Por isso, considerando que parte do amônio proveniente da hidrólise da ureia ou da mineralização da matéria orgânica do solo permanece na forma amoniacal por alguns dias, até ser nitrificado, pode-se inferir que sob elevadas doses de N, a competição entre o NH₄⁺ e o K⁺ contribuiu para a redução da absorção do K pelas plantas.

Observa-se ainda na Figura 3B que, para os meses de novembro de 2018 e 2019, as médias do quantitativo foram estatisticamente iguais, com valores médios de 13,75 e 13,51 g kg⁻¹ de K, respectivamente. Os resultados demonstram que o cafeeiro conilon recebeu adequada nutrição potássica durante o período experimental, pois os teores de K presentes nas folhas, na fase de desenvolvimento dos frutos, estão dentro dos limites estabelecidos na faixa de suficiência indicada por Partelli et al. (2016), entre 13,0 e 18,8 g kg⁻¹. Clemente et

al. (2015) destacam a importância da adequada disponibilidade do K ao cafeeiro, especialmente no período de desenvolvimento dos frutos.

Não houve efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica para os teores de Ca em folhas do cafeeiro conilon, nos dois anos de avaliações (Figura 4A). Nas observações realizadas em novembro de 2018 e 2019, as médias do fator quantitativo foram estatisticamente iguais. A ausência de interações sinérgicas ou antagônicas entre N e Ca foi relatada por Rietra et al. (2017), para diferentes espécies cultivadas.

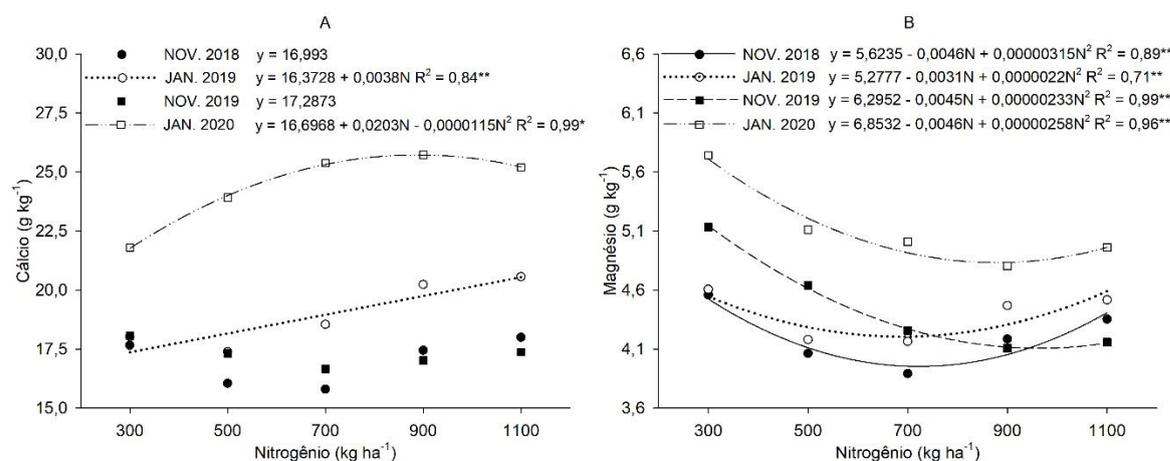


Figura 4. Teores de cálcio (A) e magnésio (B) em folhas do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Doses crescentes de N resultaram em aumento linear dos teores de Ca em folhas do *C. canephora* para a avaliação realizada em janeiro de 2019, enquanto para o mesmo período de 2020, observa-se ajuste quadrático para os dados obtidos, com incrementos na concentração de Ca até a dose de 882 kg ha⁻¹ de N. Cabe destacar que a concentração de Ca em folhas do cafeeiro conilon superou os teores de K em todas as avaliações realizadas nesse estudo. Apesar do K ser o segundo nutriente mais extraído pelo gênero *Coffea*, não é incomum observar situações onde os teores de Ca superam o K, como relatado por Dubberstein et al. (2016), ao avaliarem a concentração e o acúmulo de macronutrientes em *Coffea canephora* cultivado na Amazônia. Os resultados obtidos podem ser explicados pelo uso do nitrato de cálcio como fonte de N nos primeiros anos de condução da lavoura, que resultou em teores elevados de Ca

no solo (Tabela 1) e grande extração do nutriente pelo cafeeiro. Aparentemente, a alta concentração de Ca no solo não inibiu a absorção de outros cátions pelo *C. canephora*, visto que os teores de K e Mg encontram-se em níveis adequados para a cultura.

Embora não tenha sido observado efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica para os teores de Mg em folhas do *C. canephora*, verificou-se que a adubação nitrogenada influenciou os teores de Mg, nos dois anos de avaliações (Figura 4B). O modelo de ajuste quadrático foi o que melhor representou a distribuição dos dados obtidos nas diferentes observações realizadas. No primeiro ano, o modelo proposto apontou decréscimo nos teores de Mg com o aumento do fornecimento de N para o cafeeiro, até a dose de 730 e 704 kg ha⁻¹, para os meses de novembro e janeiro, respectivamente. O comportamento dos dados foi semelhante no segundo ano, onde as menores concentrações de Mg nas folhas do cafeeiro conilon foram registradas para as doses de 965 e 891 kg ha⁻¹ de N, nos meses de novembro e janeiro, respectivamente. Resultados similares foram apresentados por Amaral et al. (2011), ao avaliar estado nutricional de quatro cultivares de arábica. Os autores observaram para a cultivar Icatu Amarelo, menor eficiência na absorção de Mg com o aumento no fornecimento de N.

A redução da concentração de Mg em folhas do cafeeiro conilon pode ser atribuída ao efeito diluição, devido ao crescimento das plantas e à produção de matéria seca, que normalmente ocorre com o aumento do fornecimento de N. Dados obtidos por Dubberstein et al. (2016) e Dubberstein et al. (2019) evidenciaram a diminuição dos teores de macro e micronutrientes durante o desenvolvimento dos frutos de *C. canephora*, cultivado em Rondônia. Os resultados foram imputados ao efeito diluição, decorrente do acréscimo significativo na produção de matéria seca no período avaliado.

Apesar das variações nos teores de Mg decorrentes de doses de N, suas concentrações nas diferentes observações encontram-se acima do nível crítico sugerido por Fonseca et al. (2019) para o *C. canephora*. Após avaliar durante dois anos o estado nutricional de uma lavoura comercial com elevado potencial produtivo no sul do estado do Espírito Santo, os autores sugeriram para o Mg, valores superiores a 3,0 g kg⁻¹.

Não foi observado para os teores de S em folhas do cafeeiro conilon, nos dois anos de investigação, efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica. No entanto, a adubação nitrogenada influenciou os teores de S nas diferentes avaliações realizadas, com ajuste linear para os dados apresentados (Figura 5A).

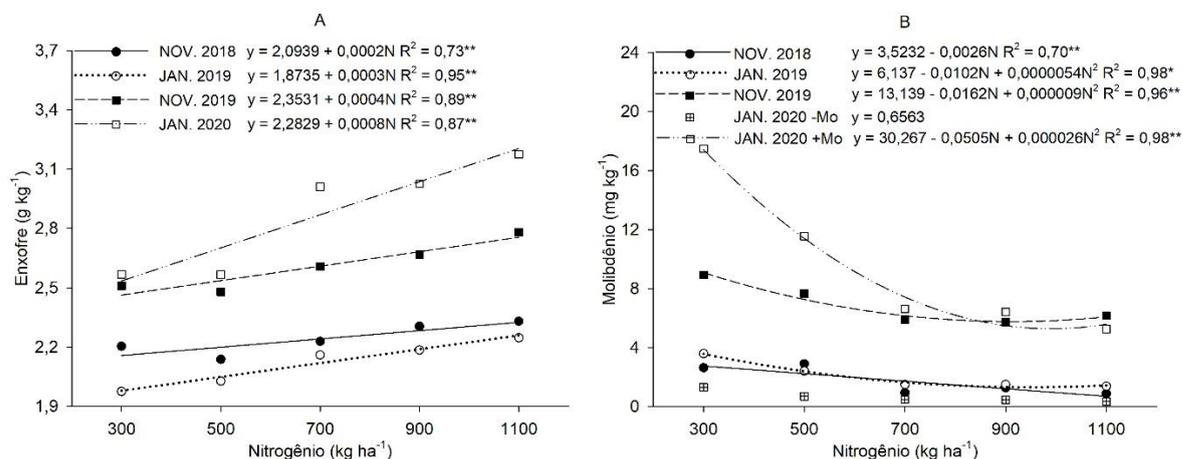


Figura 5. Teores de enxofre (A) e molibdênio (B) em folhas do cafeeiro conilon, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. * e ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

Doses crescentes de N resultaram em acréscimo nos teores de S no *C. canephora* em todas as observações realizadas. Cabe destacar que as maiores médias foram encontradas nas avaliações de janeiro, evidenciado pela inclinação das retas. O sinergismo entre N e S constatado nesse estudo é amplamente discutido na literatura e detectado em diversas culturas. De acordo com Marschner (2011), apesar de ser constituinte da ferredoxina, nitrito redutase, acetil-CoA, biotina e tiamina, cerca de 90% do S nas plantas está presente na forma de aminoácidos cisteína, cistina e metionina, compondo proteínas. Assim, a estreita relação entre N e S deve-se às funções majoritárias na planta, como componentes de aminoácidos e proteínas.

No primeiro ano de avaliações, os teores de S nas folhas do *C. canephora* variaram entre 1,96 e 2,31 g kg⁻¹. Esses valores estão próximos das concentrações recomendadas por Fonseca et al. (2018) para o cafeeiro conilon cultivado no sul do estado do Espírito Santo. Utilizando o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação para a obtenção de padrões nutricionais, os autores

estabeleceram como adequados teores de S entre 2,0 e 2,5 g kg⁻¹. Porém, para o segundo ano de condução do cafeeiro, especialmente na avaliação realizada em janeiro, a aplicação de doses crescentes de N resultou em elevada absorção de S pelas plantas, alcançando teores de 3,16 g kg⁻¹. Ao empregar a equação do modelo de ajuste obtido, pode-se verificar que os teores de S nas folhas aumentaram 0,08 g kg⁻¹ para cada 100 kg de N aplicado.

É importante salientar que não foi realizada adubação sulfatada durante o período experimental, devido ao elevado teor de S no solo (Tabela 1), seguindo recomendações de Prezotti et al. (2017). Apesar disso, observa-se que os teores de S obtidos no segundo ano foram superiores aos registrados no primeiro. Isso pode ser explicado pela contribuição do N no processo de mineralização da matéria orgânica do solo e liberação de S-SO₄⁻. De acordo com Lucheta e Lambais (2012), cerca de 95% do S do solo encontra-se no compartimento orgânico, não disponível às plantas. Dependendo da labilidade da matéria orgânica e da concentração de N no resíduo, a adubação nitrogenada pode favorecer a mineralização da matéria orgânica, contribuindo para o aumento dos teores de S mineral no solo e a absorção das plantas. Isso explica o maior acúmulo de S no cafeeiro com o aumento da adubação nitrogenada.

Para os teores de Mo no cafeeiro conilon, houve efeito significativo da interação doses de N e adubação molíbdica na avaliação realizada em janeiro de 2020 (Figura 5B) com ajuste quadrático para os tratamentos que receberam adubação molíbdica, enquanto na ausência do fornecimento de Mo, as médias obtidas não diferiram estatisticamente. Nas demais análises, não se observou interação significativa entre o fator qualitativo e quantitativo. Porém, verifica-se que a adubação nitrogenada afetou as concentrações de Mo no cafeeiro, onde o aumento das doses de N resultou em decréscimo nos teores do micronutriente, com ajuste linear para os valores obtidos em novembro de 2018 e quadrático para janeiro e novembro de 2019.

Os dados obtidos indicam uma forte relação entre disponibilidade de Mo no solo e acidez, resultado da aplicação de N. Avaliando os atributos químicos do solo sob pastagem, Rosado et al. (2014) e Cecagno et al. (2019) verificaram diminuição expressiva do pH do solo adubado com N na forma de ureia. Ao estudar a influência das propriedades físico-químicas no teor de Mo na solução do solo, Rutkowska et al. (2017) relataram redução significativa do Mo lábil com o

aumento da acidez do solo. Os autores registraram aumento de 164% na concentração do micronutriente com a elevação do pH em uma unidade.

A redução na extração de Mo com o aumento no fornecimento de N também pode ser explicada pela inibição competitiva entre Mo e S. Como apresentado na Figura 5A, houve acréscimo expressivo na absorção de S pelo *C. canephora* submetido a doses crescentes de N. Apesar de haver proteínas específicas para o transporte de Mo na plasmalema das células das raízes, Marschner (2011) esclarece que o molibdato utiliza frequentemente os transportadores de sulfato, devido à similaridade entre os ânions. Segundo o autor, o aumento na disponibilidade de S no solo reduz a absorção de Mo por inibição competitiva. Além disso, sob elevadas concentrações de sulfato nos tecidos, há menor síntese de transportadores de S de alta afinidade, que são utilizados pelo Mo.

Na avaliação realizada em janeiro de 2020, a concentração média de Mo para os tratamentos que não receberam adubação molíbdica foi de $0,65 \text{ mg kg}^{-1}$, valor considerado adequado por Rana et al. (2020), para plantas cultivadas. No entanto, ao observar os resultados obtidos para N-NO_3^- (Figura 2B), verifica-se que os teores de Mo foram insuficientes para impedir o acúmulo de nitrato em folhas do cafeeiro conilon e provavelmente limitaram a atividade da NR. É importante ressaltar que, apesar da literatura sugerir para diferentes culturas concentrações de Mo próximas a 1 mg kg^{-1} , verificou-se nesse estudo que teores elevados para o *C. canephora*, não provocaram sintomas de toxidez ou deficiência induzida de outros nutrientes e não limitou a produtividade do cafeeiro (Figura 6).

Os resultados obtidos na avaliação de janeiro de 2020 demonstram que a adubação via solo é eficiente em fornecer Mo ao cafeeiro conilon. Obviamente que no solo, diversos fatores afetam a disponibilidade do Mo às plantas, com destaque para pH, teor de argila, mineralogia e propriedades elétricas dos coloides minerais, teor de matéria orgânica, além da interação com o S e P, como relatado por Rutkowska et al. (2017). Esses aspectos precisam ser considerados para o adequado manejo da fertilidade do solo e nutrição molíbdica do cafeeiro.

A produtividade do *C. canephora*, em sacas beneficiadas de 60 kg, para as safras de 2018/2019 e 2019/2020, é apresentada na Figura 6. Não houve interação significativa entre adubação molíbdica e doses de N. No entanto, o

fornecimento de N resultou em aumento de produtividade do cafeeiro em ambos os anos avaliados. O modelo de ajuste quadrático, com decréscimo na produtividade para as maiores doses de N, foi o que melhor representou o comportamento dos dados, semelhante ao observado por Magiero et al. (2017).

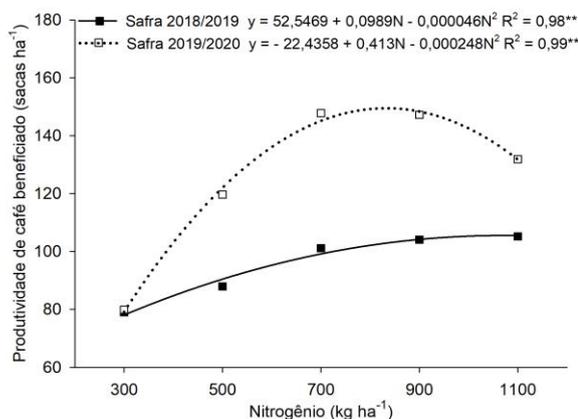


Figura 6. Produtividade de café beneficiado, em sacas de 60 kg por hectare, em resposta à adubação molíbdica e doses de nitrogênio (N), para as safras de 2018/2019 e 2019/2020. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Para a colheita realizada em 2019, a produtividade máxima, de 105,7 sacas ha⁻¹, foi obtida com a aplicação de 1.075 kg ha⁻¹ de N. No segundo ano avaliado, incrementos de produtividade foram registrados até a dose de 832 kg ha⁻¹ N, alcançando 149,5 sacas ha⁻¹. Os resultados descritos, especialmente para a safra de 2019/2020, corroboram com os apresentados por Busato et al. (2016), estudando as características biométricas do cafeeiro conilon irrigado, submetido a doses de N. Os autores verificaram no primeiro ano de avaliações, que a maior produtividade, de 144,5 sacas ha⁻¹, foi obtida quando o cafeeiro recebeu a aplicação de 829 kg ha⁻¹ de N.

No primeiro ano avaliado, a aplicação de 1.075 kg de N resultou em aumento de produtividade de 35,3%, quando comparado à menor dose de N. Na colheita realizada em 2020, observou-se incrementos de produtividade de 88,9% quando as plantas foram fertilizadas com 832 kg ha⁻¹ de N.

É importante destacar a produtividade do cafeeiro conilon no ano agrícola de 2019/2020, sendo superior à obtida na safra de 2018/2019 para todas as doses de N. Quando se compara a máxima produtividade alcançada nos dois

anos avaliados, verifica-se que o valor registrado em 2020 é 41,4% maior que o observado na colheita de 2019. A fase fenológica da lavoura, as condições climáticas favoráveis, com adequada distribuição de chuvas no período de crescimento e enchimento dos frutos, bem como o manejo nutricional, podem explicar os resultados obtidos.

Para o segundo ano de avaliações, verifica-se que produtividades superiores a 145 sacas ha^{-1} foram alcançadas com doses de N entre 698 e 967 kg ha^{-1} . No mesmo período, quando se observa os teores de N-NH_4^+ , P, K e Ca em folhas do cafeeiro conilon em que se obteve ajuste de modelo de regressão, constata-se que as doses de N que proporcionaram máxima concentração dos macronutrientes citados também estão abarcadas no intervalo mencionado, demonstrando a estreita relação em nutrição mineral e produtividade do cafeeiro, relatada por Amaral et al. (2011) e Partelli et al. (2018).

CONCLUSÕES

- A adubação molíbdica via solo foi eficiente em fornecer Mo ao cafeeiro conilon. No entanto, a aplicação de Mo não influenciou os teores de macronutrientes em folhas do *C. canephora*, exceto para as concentrações de N-NO_3^- ;
- A adubação molíbdica impediu o acúmulo excessivo de NO_3^- em plantas submetidas a doses de N superiores a 515 kg ha^{-1} ;
- Doses crescentes de N promoveram aumento linear de S e, dentro de certos limites, elevaram as concentrações de N-NH_4^+ , P, K e Ca em folhas do cafeeiro; enquanto houve decréscimo nos teores de Mg;
- A produtividade máxima alcançada na safra 2019/2020, de 149,51 sacas beneficiadas por hectare, foi obtida com a aplicação de 833 kg ha^{-1} de N;
- No segundo ano avaliado, a produtividade do cafeeiro conilon se correlacionou com os teores foliares de N-NH_4^+ , P, K e Ca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abranches, J. L., Soratto, R. P., Perdoná, M. J., & Parecido, R. J. (2019). *Arabica coffee* response to rates of coated and conventional urea in sandy soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 64, 1-8.

- Alvares, C. A., Stape, J., Sentelhas, P. C., Moraes, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Amaral, J. F. T., Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Tomaz, M. A., Fernandes Filho, E. I., & Cruz, C. D. (2011). Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Coffee Science*, 6(1), 65-74.
- Araújo, G. A. A., Teixeira, A. R., Miranda, G. V., Galvão, J. C. C., Rocha, P. R. R. (2010). Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. *Scientia Agraria*, 11(3), 231-237.
- Barth, G., Tucher, S. V., Schmidhalter, U., Otto, R., Motavalli, P., Almeida, R. F., ... Vitti, G. C. (2019). Performance of nitrification inhibitors with different nitrogen fertilizers and soil textures. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5), 694-700.
- Bonomo, D. Z., Bonomo, R., Partelli, F. L., & Souza, J. M. (2017). Genótipos de café conilon sob ajuste de diferentes coeficientes de cultura ajustados. *Irriga*, 22(2), 236-248.
- Bragança, S. M. (2005). *Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon*. [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Busato, C., Busato, C. C. M., Reis, E. F., & Partelli, F. L. (2016). Água e nitrogênio. *Revista Cultivar Grandes Culturas*, 17(203), 8-11.
- Caioni, S., Lazarini, E., Parente, T. L., Pivetta, R. S., & Souza, L. G. M. (2016). Nitrogênio e molibdênio para milho irrigado em região de cerrado de baixa altitude. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(3), 419-428.
- Cecagno, D., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Brambilla, D. M., & Nabinger, C. (2019). Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(2), 263-267.
- Clemente, J. M., Martinez, H. E. P., Alves, L. C., Finger, F. L., & Cecon, P. R. (2015). Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. *Acta Scientiarum Agronomy*, 37(3), 297-305.
- Colodetti, T. V., Rodrigues, W. N., Martins, L. D., & Tomaz, M. A. (2014). Differential tolerance between genotypes of conilon coffee (*Coffea canephora*) to low availability of nitrogen in the soil. *Australian Journal of Crop Science*, 8(12), 1648-1657.

- Dubberstein, D., Partelli, F. L., Dias, J. R. M., & Espindola, M. C. (2016). Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 10(5), 701-710.
- Dubberstein, D., Partelli, F. L., Espindola, M. C., & Dias, J. R. M. (2019). Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. *Acta Scientiarum Agronomy*, 41, 1-8.
- Feng, H., Fan, X., Miller, A. J., & Xu, G. (2020). Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 71(15), 4380-4392.
- Ferrão, R. G., Fonseca, A. F. A., Ferrão, M. A. G., & De Muner, L. H. (2017). *Café conilon* (2nd ed.). Vitória, ES: Incaper.
- Fonseca, A. S., Lima, J. S. S., & Silva, S. A. (2018). Use of the integrated diagnosis and recommendation system and sufficiency band for nutritional status of conilon coffee. *Journal of Experimental Agriculture International*, 22(2), 1-7.
- Fonseca, A. S., Lima, J. S. S., Dardendo, M. C. J. D., Silva, S. A., & Xavier, A. C. (2019). Canonical correlation between soil attributes and foliar of conilon coffee trees. *Journal of Experimental Agriculture International*, 35(3), 1-14.
- Han, Y. L., Song, H. X., Liao, Q., Yu, Y., Jian, S. F., Lepo, J. E., ... Zhang, Z. H. (2016). Nitrogen use efficiency is mediated by vacuolar nitrate sequestration capacity in roots of *Brassica napus*. *Plant Physiology*, 170(3), 1684-1698.
- Imran, M., Sun, X., Hussain, S., Ali, U., Rana, M. S., Rasul, F., ... Hu, C. X. (2019a). Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 1-17.
- Imran, M., Hu, C., Hussain, S., Rana, M. S., Riaz, M., Afzal, J., ... Sun, X. (2019b). Molybdenum-induced effects on photosynthetic efficacy of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources are associated with nitrogen assimilation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 154-163.
- Lemos, C. L., Matsumoto, S. N., Viana, A. E. S., Coelho, R. A., & Cesar, F. R. C. F. (2010). Metabolismo de nitrogênio em dois sistemas de cultivo de café sob veranico da estação úmida. *Revista Ceres*, 57(1), 34-41.
- Lucheta, A. R., & Lambais, M. R. (2012). Sulfur in agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(5), 1369-1379.

- Machado, L. S., Martins, L. D., Rodrigues, W. N., Ferreira, D. S., Côgo, A. D., Tomaz, M. A., & Amaral, J. F. T. (2016). Efficiency and response of conilon coffee genotypes to nitrogen supply. *African Journal of Biotechnology*, 15(35), 1892-1898.
- Magiero, M., Bonomo, R., Partelli, F. L., & Souza, J. M. (2017). Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. *Revista Agro@ambiente*, 11(1), 31-39.
- Marschner, P. (2011). *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). London, Eng: Academic Press.
- Martins, M. Q., Partelli, F. L., Ferreira, A., Bernardes, C. A., Golynski, A., Vieira, H. D., ... Ramalho, J. C. (2019). Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. *Funcional Plant Breeding Journal*, 1(1), 1-12.
- Nie, Z., Li, J., Liu, H., Liu, S., Wang, D., Zhao, P., Liu, H. (2020). Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chemistry*, 18, 663-668.
- Noguero, M., & Lacombe, B. (2016). Transporters involved in root nitrate uptake and sensing by *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-7.
- Partelli, F. L., Gomes, W. R., Oliveira, M. G., Dias, J. R. M., & Espindula, M. C. (2016). Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. *Coffee Science*, 11(4), 544-554.
- Partelli, F. L., Oliveira, M. G., Covre, A. M., Vieira, H. D., Dias, J. R. M., & Braun, H. (2018). Padrões nutricionais e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon em estágios de crescimento fenológico. *Journal of Plant Nutrition*, 41(19), 1-11.
- Paula Neto, A., Favarin, J. L., Reis, A. R., Tezotto, T., Almeida, R. E. M., Lavres Junior, J., & Gallo, L. A. (2015). Nitrogen metabolism in coffee plants in response to nitrogen supply by fertigation. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 27, 41-50.
- Peters, J. B. (2005). *Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed & forage analysis*. Madison, US: University of Wisconsin.
- Pompelli, M. F., Pompelli, G. M., Oliveira, A. F. M., & Antunes, W. C. (2013). The effect of light and nitrogen availability on the caffeine, theophylline and allantoin contents in the leaves of *Coffea arabica* L. *Aims Environmental Science*, 1(1), 1-11.

- Prezotti, L. C., Guarçoni, M. A., Bragança, S. M., & Lani, J. A. (2017). Calagem e adubação do café conilon. In R. G. Ferrão, A. F. A. Fonseca, M. A. G. Ferrão, & L. H. De Muner (Eds.), *Café conilon* (p. 347-357). Vitória, ES: Incaper.
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, AU: R Foundation for Statistical Computing.
- Raddatz, N., Rios, L. M., Lindahl, M., Quintero, F. J., & Pardo, J. M. (2020). Coordinated transport of nitrate, potassium, and sodium. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-18.
- Rana, M. S., Bhandana, P., Sun, X. C., Imran, M., Shaaban, M., Moussa, M. G., ... Hu, C. X. (2020). Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 24(5), 18535-18547.
- Rietra, R. P. J. J., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895-1920.
- Ronchi, C. P., & DaMatta, F. M. (2017). Aspectos fisiológicos do café conilon. In R. G. Ferrão, A. F. A. Fonseca, M. A. G. Ferrão, & L. H. De Muner (Eds.), *Café conilon* (p. 103-129). Vitória, ES: Incaper.
- Rosado, T. L., Gontijo, I., Almeida, M. S., & Andrade, F. V. (2014). Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim-mombaça. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 840-849.
- Rutkowska, B., Szulc, W., Spychaj-Fabisiak, E., & Pior, N. (2017). Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. *Plant Soil Environment*, 63(11), 491-497.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., ... Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5th ed.). Brasília, DF: Embrapa.
- Santos, M. J. (2012). *Extração e determinação de Mo em três argissolos do nordeste cultivados com cana-de-açúcar*. [dissertação]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Santos, R. L., Freire, F. J., Oliveira, E. C. A., Simões Neto, D. E., Medeiros, M. R. F. A., Bezerra, P. C., & Santos, N. L. (2018). Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization of nitrogen and molybdenum. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(4), 1002-1020.

- Santos, R. L., Freire, F. J., Oliveira, E. C. A., Freire, M. B. G. S., West, J. B., Barbosa, J. A., & Bezerra, P. C. (2019). Nitrate reductase activity and nitrogen and biomass accumulation in sugarcane under molybdenum and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, 1-19.
- Silva, F. C. (2009). *Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes* (2nd ed.). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Singh, A. L., Jat, R. S., Chaudhari, V., Bariya, H., Sharmam, S. J. (2010). Toxicities and Tolerance of Mineral Elements Boron, Cobalt, Molybdenum and Nickel in Crop Plants. *Plant Stress*, 4(2), 31-56.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6th ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- Verdin Filho, A. C., Tomaz, M. A., Ferrão, R. G., Ferrão, M. A. G., Fonseca, A. F. A., Rodrigues, W. N. (2014). Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. *Coffee Science*, 9(4), 489-494.
- Vilela, D. J. M., Carvalho, G. R., Botelho, C. E., Carvalho, A. M., Praxedes, M. A., Santos, M. C., & Fernandes, F. C. (2017). Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Coffee Science*, 12(4), 552-561.
- Wurzburger, N., Bellenger, J. P., Kraepiel, A. M. L., Hedin, L. O. (2012). Molybdenum and phosphorus interact to constrain asymbiotic nitrogen fixation in tropical forests. *Plos One*, 7, 1-7.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este estudo, conduzido durante dois ciclos produtivos do cafeeiro em condições de campo, teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de N e adubação com molibdênio nos atributos químicos do solo, crescimento, produção e nutrição do cafeeiro conilon.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator doses de nitrogênio (300, 500, 700, 900 e 1.100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e o segundo fator a ausência e presença da adubação molíbdica, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

Os dados foram submetidos à análise de variância (P<0,05) e, em razão da significância para as variáveis, foram ajustadas equações de regressão. As principais conclusões foram:

- A ureia apresentou elevado potencial de acidificação do solo, influenciando os valores de alumínio trocável, acidez potencial e Δ pH, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm;
- A diminuição do pH provocada pelas doses de nitrogênio afetou o perfil de cargas elétricas do solo e reduziu em 67% os teores de molibdênio nas folhas do *C. canephora*;
- Para as avaliações de crescimento e produção do cafeeiro conilon, os resultados obtidos demonstram que o comprimento de ramos plagiotrópicos, número de nós por ramo lateral, número de rosetas e de

frutos por ramo produtivo apresentam estreita relação com a produtividade do cafeeiro e foram influenciados pela adubação nitrogenada;

- Doses crescentes de nitrogênio promoveram incrementos quadráticos para a produtividade de café beneficiado, com acréscimo de 35,3% e 88,9% para as safras de 2018/2019 e 2019/2020;
- Ao avaliar a nutrição do cafeeiro conilon, verificou-se que o fertilizante molibdato de sódio aplicado no solo foi eficiente em fornecer molibdênio ao cafeeiro;
- Apesar do conilon manter teores basais de nitrato nas folhas, a adubação molíbdica impediu o acúmulo excessivo de NO_3^- em plantas submetidas a doses de nitrogênio superiores a 515 kg ha^{-1} ;
- No segundo ano, as maiores concentrações de N-NH_4^+ , fósforo, potássio e cálcio foram alcançadas com doses de nitrogênio entre 698 e 967 kg ha^{-1} , que proporcionaram produtividade superior a $145 \text{ sacas ha}^{-1}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abranches, J.L., Soratto, R.P., Perdoná, M.J. (2018) Ureia revestida e o crescimento do cafeeiro arábica. *Fórum Ambiental*, 14:100-108.
- Abranches, J.L., Soratto, R.P., Perdoná, M.J., Parecido, R.J. (2019) *Arabica coffee* response to rates of coated and conventional urea in sandy soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 64:1-8.
- Almeida, G.R.R., Carvalho, C.H.S., Guimarães, R.J., Teixeira, J.B., Padilha, L. (2011) Comportamento de cafeeiros propagados por embriogênese somática e por sementes em diferentes níveis de água no solo. *Coffee Science*, 6:114-119.
- Araújo, G.A.A., Teixeira, A.R., Miranda, G.V., Galvão, J.C.C., Rocha, P.R.R. (2010) Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. *Scientia Agraria*, 11:231-237.
- Barth, G., Tucher, S.V., Schmidhalter, U., Otto, R., Motavalli, P., Almeida, R.F., Satollo, T.M.S., Cantarella, H., Vitti, G.C. (2019) Performance of nitrification inhibitors with different nitrogen fertilizers and soil textures. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182:694-700.
- Bittner, F. (2014) Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. *Frontiers in Plant Science*, 5:1-6.
- Bragança, S.M., Martinez, H.E.P., Leite, H.G., Santos, L.P., Sediyaama, C.S., Alvarez, V.H., Lani, J.A. (2007) Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. *Journal of Plant Nutrition*, 31:103-120.

- Busato, C., Busato, C.C.M., Reis, E.F., Partelli, F.L. (2016) Água e nitrogênio. *Revista Cultivar Grandes Culturas*, 17:8-11.
- Cameron, K.C., Di, H.J., Moir, J.L. (2013) Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*, 162:145-173.
- Chagas, H.L., Reis, B.B., Acosta, G.S., Rodrigues, R.R., Vieira, J.F. (2015) Aplicação de molibdênio via sementes e seus efeitos na nodulação, atividade enzimática e qualidade de sementes de soja. *Enciclopédia Biosfera*, 11:190-202.
- Charrier, A., berthaud, J. (1985) Botanical classification of coffee. In: Clifford, M.N., Willson, K.C. (eds.) *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Herm, p. 13-47.
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., Zhang, Y. (2014) Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34:429-442.
- CIC - Centro de Inteligência do Café. Estatística. Disponível em: <<http://www.cicbr.org.br>>. Acesso em: 20/06/2017.
- Colodetti, T.V., Rodrigues, W.N., Martins, L.D., Tomaz, M.A. (2014) Differential tolerance between genotypes of conilon coffee (*Coffea canephora*) to low availability of nitrogen in the soil. *Australian Journal of Crop Science*, 8:1648-1657.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café: terceiro levantamento 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 20/10/2020.
- Conagin, C.H.T.M., Mendes, A.J.T. (1961) Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: auto-incompatibilidade em *Coffea Canephora* Pierre ex Froehner. *Bragantia*, 20:787-804.
- Covre, A.M., Partelli, F.L., Bonomo, R., Gontijo, I. (2018) Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53:1025-1037.
- Davis, A.P., Tosh, J., Ruch, N., Fay, M.F. (2011) Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data, implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167:357-377.

- Debouba, M., Dguimi, H., Ghorbel, M. (2013) Expression pattern of genes encoding nitrate and ammonium assimilating enzymes in *Arabidopsis thaliana* exposed to short term NaCl stress. *Journal of Plant Physiology*, 170:155-160.
- Dechen, A.R., Nachtigall, G.R., Carmello, Q.A.C., Santos, L.A., Sperandio, M.V.L. (2018) Micronutrientes. In: Fernandes, M.S., Souza, S.R., Santos, L.A. (eds.) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 491-562.
- Dubberstein, D., Partelli, F.L., Dias, J.R.M., Espindola, M.C. (2016) Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 10:701-710.
- Feng, H., Fan, X., Miller, A.J., Xu, G. (2020) Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 71:4380-4392.
- Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S. (2017a) Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 81-101.
- Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (2017b) *Coffea canephora*. In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 37-53.
- Fonseca, A.F.A., Verdin Filho, A.C., Volpi, P.S., Mauri, A.L., Ferrão, M.A.G., Ferrão, R.G., Arantes, S.D., Posse, S.C.P. (2017) Jardins clonais, produção de sementes e mudas de café conilon. In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 243-273.
- Freitas, R.B., Alves, J.D., Magalhães, M.M., Goulart, P.F.P., Nascimento, M.N., Fries, D.D. (2007) Adubação do cafeeiro com nitrato de potássio via solo e folha, no outono-inverno e primavera-verão: efeitos na atividade da redutase do nitrato, no crescimento das plantas e na produção. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:945-952.
- Han, Y.L., Song, H.X., Liao, Q., Yu, Y., Jian, S.F., Lepo, J.E., Liu, Q., Rong, X.M., Tian, C., Zeng, J., Guan, C.Y., Ismail, A.M., Zhang, Z.H. (2016) Nitrogen use efficiency is mediated by vacuolar nitrate sequestration capacity in roots of *Brassica napus*. *Plant Physiology*, 170:1684-1698.
- ICO - International Coffee Organization. Historical data. Disponível em: <http://www.ico.org/pt/new_historical_p.asp>. Acesso em: 20/10/2020.

- Imran, M., Sun, X., Hussain, S., Ali, U., Rana, M.S., Rasul, F., Saleem, M.H., Moussa, M.G., Bhandana, P., Afzal, J., Elyamine, A.M., Hu, C.X. (2019) Molybdenum-induced effects on nitrogen metabolism enzymes and elemental profile of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources. *International Journal of Molecular Sciences*, 20:1-17.
- Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Cafeicultura – Café Conilon. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>. Acesso em: 20/10/2020.
- Kaiser, B.N., Gridley, K.L., Brady, J.N., Phillips, T., Tyerman, S.D. (2005) The role of molybdenum in agricultural plant production. *Annals of Botany*, 96:745-754.
- Lima, L.C., Gonçalves, A.C., Fernandes, A.L.T., Silva, R.O., Lana, R.M.Q. (2016) Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. *Coffee Science*, 11:97-107.
- Magiero, M., Bonomo, R., Partelli, F.L., Souza, J.M. (2017) Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. *Revista Agro@ambiente*, 11:31-39.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p.
- Marschner, P. (2011) *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 672p.
- Mishra, M.K., Slater, A. (2012) Recent advances in the genetic transformation of coffee. Review article. *Biotechnology Research International*, 2012:1-17.
- Nie, Z., Li, J., Liu, H., Liu, S., Wang, D., Zhao, P., Liu, H. (2020) Adsorption kinetic characteristics of molybdenum in yellow-brown soil in response to pH and phosphate. *Open Chemistry*, 18:663-668.
- Noguero, M., Lacombe, B. (2016) Transporters involved in root nitrate uptake and sensing by *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 7:1-7.
- Oliosi, G., Rodrigues, J.O., Falqueto, A.R., Pires, F.P., Monte, J.A., Partelli, F.L. (2017) Fluorescência transiente da clorofila *a* e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. *Coffee Science*, 12:248-259.
- Partelli, F.L., Gomes, W.R., Oliveira, M.G., Dias, J.R.M., Espindula, M.C. (2016) Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. *Coffee Science*, 11:544-554.

- Pereira, P.M., Lemos, V.P., Rodrigues, E., Faial, K.C.F. (2013) Adsorção de molibdato em minerais de argilas naturais e modificadas com ácido sulfúrico, ácido húmico e uréia. *Revista Cerâmica*, 59:170-180.
- Pinheiro, C.A., Pereira, L.L., Fioresi, D.B., Oliveira, D.S., Osório, V.M., Silva, J.A., Pereira, U.A., Ferrão, M.A.G., Souza, E.M.R., Fonseca, A.F.A., Pinheiro, P.F. (2019) Physico-chemical properties and sensory profile of *Coffea canephora* genotypes in high-altitudes. *Australian Journal of Crop Science*, 13:2046-2052.
- Prezotti, L.C., Guarçoni, M.A., Bragança, S.M., Lani, J.A. (2017) Calagem e adubação do café conilon. In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 347-357.
- Rana, M.S., Bhandari, P., Sun, X.C., Imran, M., Shaaban, M., Moussa, M.G., Saleem, M.H., Elyamine, A.M., Binyamin, R., Alam, M., Afzal, J., Khan, I., Din, I.U., Ahmad, I., Younas, M., Kamran, M., Hu, C.X. (2020) Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 24:18535-18547.
- Rena, A.B., Guimarães, P.T.G. (2000) *Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam*. Belo Horizonte: Epamig, 80p.
- Rutkowska, B., Szulc, W., Szychaj-Fabisiak, E., Pior, N. (2017) Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. *Plant, Soil and Environment*, 63:491-497.
- Santos, R.L., Freire, F.J., Oliveira, E.C.A., Freire, M.B.G.S., West, J.B., Barbosa, J.A., Bezerra, P.C. (2019) Nitrate reductase activity and nitrogen and biomass accumulation in sugarcane under molybdenum and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43:1-19.
- Santos, R.L., Freire, F.J., Oliveira, E.C.A., Simões Neto, D.E., Medeiros, M.R.F.A., Bezerra, P.C., Moura, M.J.A., Barbosa, J.A., Lopes, N.R.C., Santos, N.L. (2018) Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization of nitrogen and molybdenum. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18:1002-1020.
- Siebert, C., Pett-Ridge, J.C., Opfergelt, S., Guicharnaud, R.A., Halliday, A.N., Burton, K.W. (2015) Molybdenum isotope fractionation in soils: influence of redox conditions, organic matter, and atmospheric inputs. *Geochim Cosmochim Acta*, 162:1-24.
- Silva, A.E.S., Maso, L.J., Costa, E.B., Bassani, L.A., Galeano, E.A.V. (2017) Importância econômica e social do café conilon no estado do Espírito Santo. In:

- Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 55-79.
- Silva, L.O.E., Schmidt, R., Valani, G.P., Ferreira, A., Barros, A.I.R., Partelli, F.L. (2020) Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. *Agronomy*, 10:2-17.
- Souza, C.A., Rocha, R.B., Alves, E.A., Espindula, M.C., Ramalho, A.R., Teixeira, A.L., Ferrão, M.A.G. (2017) Componentes genéticos do desenvolvimento e maturação de frutos de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. *Coffee Science*, 12:355-364.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. (eds.) (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858p.
- Taques, R.C., Dadalto, G.G. (2017) Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon no estado do Espírito Santo. *In*: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Ferrão, M.A.G., De Muner, L.H. (eds.) *Café conilon*. Vitória: Incaper, p. 69-79.
- Vatansever, R., Filiz, E., Ozyigit, I.I. (2016) In silico identification and comparative analysis of molybdenum (Mo) transporter genes in plants. *Brazilian Journal of Botany*, 39:87-99.
- Verdin Filho, A.C., Tomaz, M.A., Ferrão, R.G., Ferrão, M.A.G., Fonseca, A.F.A., Rodrigues, W.N. (2014) Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. *Coffee Science*, 9:489-494.
- Xu, N., Braidá, W., Christodoulatos, C., Chen, J. (2013) A review of molybdenum adsorption in soils/bed sediments: speciation, mechanism, and model applications. *Soil and Sediment Contamination*, 22:912-929.

APÉNDICE

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do solo cultivado com café conilon, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio. Maio de 2019

F.V.	G.L.	Profundidade	Quadrados Médios					
			pH	Δ pH	Al trocável	H + Al	M.O.	Mo
Bloco	3	0-20 cm	0,206 ^{ns}	0,087 ^{ns}	0,049*	2,318*	0,172 ^{ns}	6,527 ^{ns}
		20-40 cm	0,327 ^{ns}	0,193*	0,028 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,149 ^{ns}	7,847 ^{ns}
Mo	1	0-20 cm	0,001 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,256 ^{ns}	0,081 ^{ns}	1,815 ^{ns}
		20-40 cm	0,042 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,169 ^{ns}	5,968 ^{ns}
N	4	0-20 cm	2,484*	1,556*	0,203*	12,7*	0,078 ^{ns}	1,943 ^{ns}
		20-40 cm	2,168*	0,821*	0,228*	10,646*	0,121 ^{ns}	1,686 ^{ns}
Mo*N	4	0-20 cm	0,122 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,385 ^{ns}	0,057 ^{ns}	2,693 ^{ns}
		20-40 cm	0,098 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,349 ^{ns}	0,099 ^{ns}	1,865 ^{ns}
Resíduo	27	0-20 cm	0,175	0,117	0,016	0,504	0,066	2,245
		20-40 cm	0,148	0,051	0,011	0,547	0,068	2,737
Média		0-20 cm	5,825	- 0,817	0,158	3,76	1,84	1,767
		20-40 cm	5,712	- 0,665	0,186	3,282	1,295	1,705
CV (%)		0-20 cm	7,19	41,88	79,93	18,88	13,95	84,77
		20-40 cm	6,75	34,11	56,26	22,53	20,16	96,99

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do solo cultivado com café conilon, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio. Maio de 2020

F.V.	G.L.	Profundidade	Quadrados Médios					
			pH	Δ pH	Al trocável	H + Al	M.O.	Mo
Bloco	3	0-20 cm	0,093 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,133 ^{ns}	2,434 ^{ns}	0,281*	1,56 ^{ns}
		20-40 cm	0,183 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,147 ^{ns}	1,136 ^{ns}	0,26*	5,171 ^{ns}
Mo	1	0-20 cm	0,24 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,064 ^{ns}	5,461 ^{ns}
		20-40 cm	0,156 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,009 ^{ns}	3,452 ^{ns}
N	4	0-20 cm	2,041*	0,587*	1,148*	22,082*	0,086 ^{ns}	2,986 ^{ns}
		20-40 cm	3,74*	0,926*	2,422*	35,596*	0,027 ^{ns}	2,196 ^{ns}
Mo*N	4	0-20 cm	0,149 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,909 ^{ns}	0,003 ^{ns}	2,372 ^{ns}
		20-40 cm	0,182 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,079 ^{ns}	1,256 ^{ns}	0,029 ^{ns}	2,434 ^{ns}
Resíduo	27	0-20 cm	0,107	0,035	0,125	1,448	0,051	2,986
		20-40 cm	0,115	0,052	0,132	1,493	0,054	4,718
Média		0-20 cm	5,297	0,63	0,525	5,38	1,665	1,04
		20-40 cm	5,237	0,53	0,634	5,117	1,15	1,016
CV (%)		0-20 cm	6,19	29,95	67,43	22,37	13,6	166,18
		20-40 cm	6,49	43,33	57,44	23,88	20,24	213,75

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis altura de planta (ALT), número de ramos plagiotrópicos produtivos (NRPP), comprimento do entrenó ortotrópico (CEO), diâmetro do caule (DC) e comprimento de ramo plagiotrópico (CRP) do cafeeiro conilon nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio

F.V.	G.L.	Safra	Quadrados Médios				
			ALT	NRPP	CEO	DC	CRP
Bloco	3	2018/2019	495,333*	16,335*	0,163*	5,471*	23,113*
		2019/2020	456,263*	5,275 ^{ns}	0,017 ^{ns}	1,662 ^{ns}	37,23*
Mo	1	2018/2019	459,7*	0,1 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,259 ^{ns}	0,04 ^{ns}
		2019/2020	295,94*	0,4 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,003 ^{ns}	200,7*
N	4	2018/2019	155,525*	0,83 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,703 ^{ns}	618,458*
		2019/2020	125,19*	2,486 ^{ns}	0,122*	3,289*	211,493*
Mo*N	4	2018/2019	8,7 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,448 ^{ns}	3,778 ^{ns}
		2019/2020	13,745 ^{ns}	3,67 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,21 ^{ns}	17,383 ^{ns}
Resíduo	27	2018/2019	32,882	0,424	0,002	1,199	1,46
		2019/2020	30,672	7,103	0,008	1,071	8,189
Média		2018/2019	178,05	30,45	3,812	17,599	86,76
		2019/2020	225,22	42,18	3,782	21,656	65,46
CV (%)		2018/2019	3,22	2,14	1,08	6,22	1,39
		2019/2020	2,46	6,32	2,32	4,78	4,37

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis número de nós por ramo plagiotrópico (NNRP), número de rosetas por ramo (NRR), número de frutos por ramo (NFR), produtividade de café beneficiado (PCB) e rendimento de grãos (REN) do cafeeiro conilon nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio

F.V.	G.L.	Safra	Quadrados Médios				
			NNRP	NRR	NFR	PCB	REN
Bloco	3	2018/2019	0,611 ^{ns}	0,676 ^{ns}	273,2*	155,267*	1,674 ^{ns}
		2019/2020	10,284 ^{ns}	10,557 ^{ns}	174,333 ^{ns}	631,233*	0,314 ^{ns}
Mo	1	2018/2019	0,036 ^{ns}	0,049 ^{ns}	207,2 ^{ns}	8,1 ^{ns}	1,089 ^{ns}
		2019/2020	6,084 ^{ns}	0,12 ^{ns}	66 ^{ns}	203,9*	0,132 ^{ns}
N	4	2018/2019	0,166 ^{ns}	0,029 ^{ns}	1981,25*	1059,25*	7,474*
		2019/2020	21,631*	67,84*	21546,25*	6243,55*	16,565*
Mo*N	4	2018/2019	0,616 ^{ns}	0,517 ^{ns}	87,025 ^{ns}	6,35 ^{ns}	0,78 ^{ns}
		2019/2020	0,639 ^{ns}	1,165 ^{ns}	230,5 ^{ns}	32,8 ^{ns}	0,117 ^{ns}
Resíduo	27	2018/2019	0,263	0,232	51,311	13,685	0,917
		2019/2020	4,869	3,93	118,185	27,819	0,273
Média		2018/2019	13,48	13,195	216,775	95,484	24,325
		2019/2020	19,83	18,685	289,82	125,274	25,367
CV (%)		2018/2019	3,81	3,65	3,3	3,87	3,94
		2019/2020	11,13	10,61	3,75	4,21	2,06

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 5. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de nutrição do cafeeiro conilon na safra 2018/2019, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio

F.V.	G.L.	Avaliação	Quadrados Médios							
			NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	S	Mo
Bloco	3	Nov.2018	2,495 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,063*	4,782 ^{ns}	12,07 ^{ns}	0,321 ^{ns}	0,019 ^{ns}	3,598 ^{ns}
		Jan.2019	4,955 ^{ns}	0,073*	0,169*	0,646 ^{ns}	5,652 ^{ns}	0,122 ^{ns}	0,002 ^{ns}	3,927*
Mo	1	Nov.2018	0,004 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	1,444 ^{ns}	4,624 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,005 ^{ns}	43,85*
		Jan.2019	0,88 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,017 ^{ns}	2,845 ^{ns}	0,201 ^{ns}	0,094 ^{ns}	0,001 ^{ns}	74,21*
N	4	Nov.2018	40,94*	0,04 ^{ns}	0,005 ^{ns}	1,69 ^{ns}	7,967 ^{ns}	0,53*	0,049*	7,485*
		Jan.2019	55,29*	0,067*	0,018 ^{ns}	3,743*	13,44*	0,328*	0,103*	7,067*
Mo*N	4	Nov.2018	1,193 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,005 ^{ns}	5,023 ^{ns}	11,01 ^{ns}	0,121 ^{ns}	0,007 ^{ns}	4,192 ^{ns}
		Jan.2019	0,326 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,491 ^{ns}	4,183 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,472 ^{ns}
Resíduo	27	Nov.2018	2,809	0,053	0,007	2,496	4,437	0,135	0,017	2,066
		Jan.2019	1,833	0,01	0,019	1,223	4,113	0,076	0,009	1,29
Média		Nov.2018	31,56	0,99	1,43	13,75	16,99	4,21	2,24	1,73
		Jan.2019	30,91	0,87	1,5	13,58	19	4,39	2,12	2,07
CV (%)		Nov.2018	5,31	23,11	5,99	11,49	12,4	8,72	5,8	83,28
		Jan.2019	4,38	11,35	9,19	8,14	10,67	6,29	4,5	54,73

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para as variáveis de nutrição do cafeeiro conilon na safra 2019/2020, em resposta à aplicação de molibdênio e doses de nitrogênio

F.V.	G.L.	Avaliação	Quadrados Médios							
			NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg	S	Mo
Bloco	3	Nov.2019	3,514 ^{ns}	0,052*	0,072*	2,375 ^{ns}	13,46*	0,104 ^{ns}	0,05*	9,96 ^{ns}
		Jan.2020	0,662 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,069*	3,765 ^{ns}	11,79 ^{ns}	0,271 ^{ns}	0,137*	3,36 ^{ns}
Mo	1	Nov.2019	0,014 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,315 ^{ns}	0,383*	0,036 ^{ns}	1612*
		Jan.2020	0,016 ^{ns}	0,068*	0,009 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,309 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,065 ^{ns}	775,2*
N	4	Nov.2019	104,62*	0,023 ^{ns}	0,043*	2,099 ^{ns}	2,164 ^{ns}	1,484*	0,119*	18,29*
		Jan.2020	36,98*	0,053*	0,002 ^{ns}	5,675*	20,73*	1,045*	0,642*	59,91*
Mo*N	4	Nov.2019	1,509 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,002 ^{ns}	2,24 ^{ns}	6,156 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,028 ^{ns}	9,79 ^{ns}
		Jan.2020	0,806 ^{ns}	0,038*	0,001 ^{ns}	2,579 ^{ns}	1,457 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,043 ^{ns}	44,38*
Resíduo	27	Nov.2019	3,148	0,008	0,01	0,936	2,566	0,083	0,015	6,61
		Jan.2020	0,672	0,01	0,006	1,935	4,891	0,123	0,035	3,22
Média		Nov.2019	30,24	1,63	1,61	13,51	17,28	4,46	2,61	6,87
		Jan.2020	28,44	1,49	1,43	15,41	24,4	5,12	2,87	5,06
CV (%)		Nov.2019	5,87	5,57	6,2	7,16	9,27	6,47	4,7	37,44
		Jan.2020	2,88	6,79	5,32	9,03	9,06	6,84	6,56	35,49

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.



Figura 1. Área experimental. Outubro de 2018.



Figura 2. Área experimental. Outubro de 2019.



Figura 3. Demarcação das parcelas na área experimental. Setembro de 2018.



Figura 4. Avaliação do sistema de irrigação da área experimental. Agosto de 2018.



Figura 5. Antese do cafeeiro conilon. Agosto de 2018.



Figura 6. Antese do cafeeiro conilon. Agosto de 2019.



Figura 7. Controle químico de plantas invasoras na área experimental. Dezembro de 2018.



Figura 8. Área experimental antes (esquerda) e após (direita) o controle químico de plantas invasoras. Dezembro de 2018.



Figura 9. Controle químico da cochonilha-da-roseta na área experimental. Dezembro de 2019.



Figura 10. Aplicação das doses de nitrogênio no cafeeiro conilon. Janeiro de 2020.



Figura 11. Aplicação de molibdênio no cafeeiro conilon. Janeiro de 2019.



Figura 12. Cafeeiro conilon adubado com 900 kg ha^{-1} de N (esquerda) e 300 kg ha^{-1} de N (direita). Agosto de 2019.



Figura 13. Cafeeiro conilon adubado com 1100 kg ha^{-1} de N (esquerda) e 700 kg ha^{-1} de N (direita). Abril de 2020.



Figura 14. Colheita do cafeeiro conilon. Maio de 2019.



Figura 15. Limpeza e acondicionamento dos frutos do cafeeiro conilon.