

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS BOTUCATU

**DOSES DE NITROGÊNIO VIA SOLO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA
FOLIAR NA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA**

RENAN JOSÉ PARECIDO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP
Julho de 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS BOTUCATU

**DOSES DE NITROGÊNIO VIA SOLO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA
FOLIAR NA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA**

RENAN JOSÉ PARECIDO

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Coorientador: Dr. Marcos José Perdoná

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP
Julho de 2016

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DOSES DE NITROGÊNIO VIA SOLO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO VIA FOLIAR NA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA"

AUTOR: RENAN JOSE PARECIDO

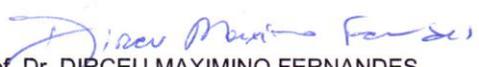
ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

CO-ORIENTADOR: MARCOS JOSE PERDONA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA
Departamento de Agronomia / EDUVALE - ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DO VALE DA JURUMIRIM


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 28 de julho de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P227d Parecido, Renan José, 1989-
Doses de nitrogênio via solo e aplicação de silício via foliar na cultura do café Arábica / Renan José Parecido. - Botucatu : [s.n.], 2016
vii, 54 f. : fots. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Rogério Peres Soratto
Coorientador: Marcos José Perdoná
Inclui bibliografia

1. Café - Efeito dos minerais. 2. Café - Produtividade agrícola. 3. Nitrogênio na agricultura. 4. Silício na agricultura. I. Soratto, Rogério Peres. II. Perdoná, Marcos José. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Aos meus pais queridos, Celso Sidney Parecido e Vandete Ap. de Oliveira Parecido, pelos ensinamentos, dedicação, apoio, e principalmente, pelo exemplo de vida.

Ao meu irmão, Rafael Guilherme Parecido, sua esposa Débora Roberta Martins Parecido e minhas sobrinhas, Maria Fernanda Parecido e Rafaela Cristina Parecido, pelo exemplo de dedicação e determinação, pelo apoio e torcida.

DEDICO

À minha avó e aos meus Tios, Tias e Primos, por todos esses anos de agradável convívio.

Aos meus amigos pela convivência, incentivos, e momentos de descontração.

OFEREÇO

AGRADEÇO

A *Deus* por estar sempre ao meu lado, e por ter me concedido paz, saúde, força e pela infinita bondade e compreensão, principalmente nas horas mais difíceis de minha vida;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela orientação, atenção, amizade, paciência e pelo exemplo de dedicação durante o período de execução deste trabalho.

Ao meu coorientador, Dr. Marcos José Perdoná, pela ótima coorientação, pelos ensinamentos, atenção e amizade.

À Faculdade de Ciências Agrônomicas, pela oportunidade e suporte para a realização do mestrado.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a condução da pesquisa.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), pela eficiência e qualidade de ensino.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) da FCA/UNESP, pela atenção e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, especialmente aos do setor de campo, pela essencial contribuição nas atividades do experimento.

Aos funcionários da biblioteca e da seção de Pós-Graduação, pela atenção e serviços prestados.

Ao estagiário, Rodrigo Alves de Paula, pela ajuda na realização desse trabalho, dedicação e amizade.

A todos os Engenheiros Agrônomos e cafeicultores com quem tenho convivido e aprendido.

OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1 A cultura do café.....	8
4.2 Adubação nitrogenada no cafeeiro	9
4.3 Silício na planta	12
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
5.1 Caracterização da área experimental.....	17
5.2 Delineamento experimental e tratamentos	18
5.3 Cultivar utilizada.....	19
5.4 Condução do experimento	19
5.5 Avaliações realizadas	20
5.5.1 Diâmetro de caule.....	20
5.5.2 Altura de plantas	20
5.5.3 Número total de nós no ramo plagiotrópico e percentagem de enfolhamento	21
5.5.4 Teor de macro e micronutrientes e silício nas folhas de café	21
5.5.5 Percentagem de frutos verdes, maduros e secos na colheita	21
5.5.6 Produtividade de grãos e rendimento do benefício	21
5.5.7 Grãos de café retidos na peneira 15	22
5.6 Análise estatística	22
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
7 CONCLUSÕES	38
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
9 APÊNDICE	47

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Dados de temperatura média (TM), precipitação pluvial (PP) mensais de outubro de 2013 a maio de 2016, Manduri-SP..	18
Tabela 2. Diâmetro do caule de planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.....	24
Tabela 3. Altura da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.....	24
Tabela 4. Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016..	27
Tabela 5. Percentagem de enfolhamento no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016..	29
Tabela 6. Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.	31
Tabela 7. Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e Si nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.	33
Tabela 8. Percentagem de frutos maduros, secos e verdes na colheita, rendimento de benefício e produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Safras 2015 e 2016..	34

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Altura da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar..	25
Figura 2. Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar.....	28
Figura 3. Percentagem de enfolhamento no ramo plagiotrópico do terço superior da planta de café arábica, em maio 2016, em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar.....	30
Figura 4. Teores de N nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar..	32
Figura 5. Produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar..	36

1 RESUMO

Na fase inicial da cultura do café arábica (*Coffea arabica* L.), as exigências nutricionais aumentam rapidamente com a entrada em produção (primeira safra), época em que se deve ter cuidado na nutrição das plantas, pois os cafeeiros produzem muito, ainda com pouca folhagem (baixa relação folha/fruto). O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro. O silício (Si) desempenha diversos efeitos benéficos às plantas, e supõe-se que possa melhorar o aproveitamento do N fornecido. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da aplicação de Si via foliar e doses de N via solo no crescimento, nutrição e produtividade inicial da cultura do café arábica. O experimento foi conduzido em uma área cultivada com cafeeiro arábica, cultivar Catuaí IAC 99, localizado no município de Manduri-SP, em um solo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de N (0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹) com presença e ausência de aplicação Si via foliar. A fonte de N utilizada foi o nitrato de amônio. O Si foi aplicado na dose de 2 L ha⁻¹ do produto Silamol[®]. O experimento foi conduzido durante o período de 39 meses após o plantio dos cafeeiros no campo. A adubação nitrogenada aumentou a altura da planta, o número de nós nos ramos plagiotrópicos e colaborou na manutenção do enfolhamento das plantas, na fase de formação da lavoura. A aplicação das maiores doses de N atrasou a maturação dos frutos e incrementou a produtividade e o tamanho dos grãos da cultura do café. Nas duas primeiras safras, a produtividade de grãos beneficiados da cultura do café arábica foi incrementada até doses de N que variaram de 246 a 300 kg ha⁻¹. A aplicação de Si via foliar proporcionou maior altura das plantas e número de nós nos ramos plagiotrópicos, especialmente na ausência da aplicação de N em cobertura. Na presença das maiores doses de N, o fornecimento de Si

via foliar proporcionou maiores teores de N na folha e maior produtividade de grãos na cultura do café arábica.

Palavras chave: *Coffea arabica*, adubação nitrogenada, adubação silicatada, nutrição mineral, desenvolvimento de vegetativo, produtividade de grãos.

NITROGEN RATES IN THE SOIL AND FOLIAR APPLICATION OF SILICON ON ARABICA COFFEE CROP. Botucatu, 2016. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RENAN JOSÉ PARECIDO

Adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

Co-adviser: MARCOS JOSÉ PERDONÁ

2 SUMMARY

In the initial phase of the Arabica coffee (*Coffea arabica* L.), the nutritional requirements increase rapidly with the entry into production phase (first harvest), the time when one should be careful in plant nutrition, because the coffee plants produce a lot, even with little foliage (low leaf/fruit ratio). Nitrogen (N) is the nutrient most required by the coffee plant. Silicon (Si) plays various beneficial effects to plants and it is assumed that can improve the use of N provided. Thus, the aim of the present study was to evaluate the effect the foliar application of Si and N rates applied to soil on growth, nutrition and initial bean yield of Arabica coffee crop. The experiment was conducted in an area cultivated with Arabica coffee, cultivar Catuaí IAC 99, located in the municipality of Manduri-SP, in a dystrophic Red Yellow Latosol. The experimental design was a randomized blocks in a factorial 4 x 2, with four replications. The treatments consisted of four N rates (0, 75, 150, and 300 kg ha⁻¹) and presence and absence of foliar application of Si. Nitrogen source used was ammonium nitrate. The Si was applied at the rate of 2 L ha⁻¹ Silamol[®] product. The experiment was conducted during the period of 39 months after planting of coffee plants in the field. Nitrogen fertilization increased the plant height, number of nodes in plagiotrophical branches and collaborate in maintenance of leafiness of plants in the crop formation phase. The Application of N rates largest delayed the ripening of the fruit and increased yield and the size of bean of the Arabica coffee crop. In the first two harvests, the hulled green-bean yield of Arabica coffee crop was increased by N rates ranging from 246 to 300 kg ha⁻¹. The foliar application of Si provided greater plant height and number of nodes in plagiotrophical, especially in the absence of N fertilization. In the presence of

higher N rates, the supply of Si via foliar provided higher concentrations of N in leaf and higher grain yield of Arabica coffee crop.

Keywords: *Coffea arabica*, nitrogen fertilization, silicon fertilization, mineral nutrition, vegetative growth, bean yield.

3 INTRODUÇÃO

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo este o maior produtor mundial do grão. O cultivo do café é de extrema importância para a balança comercial brasileira e destaca-se historicamente no desenvolvimento do país (MOREIRA; ADAMI; RUDORFF, 2004; COELHO et al., 2009). O aumento da eficiência produtiva e a melhora da qualidade tornaram os cafés brasileiros altamente competitivos e ao mesmo tempo mudaram a imagem do país, ou seja, passando de produtor de quantidade, para produtor de quantidade e qualidade.

A produção brasileira de café está em torno de 49 milhões de sacas de 60 kg do grão beneficiado, sendo que a produtividade média é de aproximadamente 22 sacas beneficiadas ha⁻¹ (CONAB, 2016). Salienta-se, todavia, que o potencial produtivo dos cafeeiros, comprovado em pesquisas, é de mais de 100 sacas ha⁻¹ (MATIELLO et al., 2010). Um dos principais fatores das baixas produtividades atingidas é a nutrição dos cafeeiros. Dessa forma, para que maiores níveis de produção sejam alcançados, deve-se fazer a adubação de forma racional, o que pressupõe uma nutrição mais adequada dos cafeeiros, através do uso conjunto dos variados nutrientes, oriundos dos corretivos e dos adubos apropriados, sempre de forma equilibrada e observando as necessidades, diante das características do solo e da lavoura a ser adubada.

As plantas de café necessitam de diversos nutrientes, dentre eles o nitrogênio (N). O N é o nutriente mais abundante na planta de café, sendo o macronutriente absorvido em maiores quantidades. A principal função do N na planta está relacionada à sua participação na formação de aminoácidos, os quais formam proteínas e, por isso, ele tem extrema importância na síntese de clorofila, estando assim

diretamente envolvido no processo de fotossíntese. Além disso, também participa da formação de compostos indispensáveis às plantas, favorece o crescimento vegetativo e as folhagens verdes.

A quantidade de N requerida pela cultura do café varia de acordo com a idade da planta e a expectativa de produção (SANZONOWICZ et al., 2001). O N promove crescimento rápido das folhas novas (MALAVOLTA, 1987), também proporciona aumento do crescimento dos ramos plagiotrópicos, maior área foliar, maior produção de amido e outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Por influenciar diretamente o desenvolvimento da cultura e a produção de frutos, não é recomendado reduzir muito a quantidade de N, mesmo em anos de safra baixa, pois a adequada nutrição nitrogenada tende a fortalecer a cultura e a aumentar a média de produtividade.

Outro elemento que vem sendo muito estudado, inclusive na cultura do café, é o silício (Si). A aplicação de Si tem sido benéfica, principalmente às plantas consideradas acumuladoras do elemento, como o arroz, cana-de-açúcar, cevada, milho, sorgo e trigo (GUNES et al., 2007; HATTORI et al., 2005; LIMA et al., 2011). Entretanto, plantas dicotiledôneas, consideradas não acumuladoras de Si, como café (REIS et al., 2008), também têm respondido positivamente à sua aplicação. Além do efeito na redução da ocorrência de doenças, Botelho et al. (2005) verificaram alteração na nutrição de mudas de cafeeiro quando adubadas com Si. Por meio de várias ações indiretas, o Si pode estimular o crescimento e a produção das plantas, como o decréscimo a suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez como Al, Mn, Fe e Na, a diminuição da incidência de patógenos e o aumento na proteção contra herbívoros, incluindo insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

Em teoria, a aplicação de Si pode melhorar o aproveitamento do N fornecido às plantas. Essa afirmação baseia-se na hipótese de que o Si melhora a arquitetura da planta favorecendo maior e melhor aproveitamento da luz, resultando da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas doses de N (DEREN et al., 1994). Uma das consequências desse efeito seria um aumento da taxa fotossintética das plantas e, conseqüentemente, uma maior capacidade de assimilação de N pelas plantas.

O fornecimento de Si via foliar, com o uso de pequenas quantidades do elemento, pode ser alternativa viável para seu fornecimento às plantas,

suprindo a necessidade e/ou estimulando a absorção de Si e outros nutrientes, culminando em efeitos benéficos às culturas (FIGUEIREDO et al., 2010; REIS et al., 2008; SOUSA et al., 2010). Portanto, pela eficácia, praticidade, menores doses utilizadas e por ser adaptável aos pulverizadores normalmente utilizados por muitos produtores, a aplicação via foliar de fontes solúveis de Si pode ser uma forma importante de fornecimento desse elemento às plantas (FIGUEIREDO et al., 2010).

A carência de estudos científicos relacionados à aplicação de Si via foliar, utilizando como fonte o ácido silícico estabilizado, associado com adubação nitrogenada na cultura do café, justifica o presente trabalho, que teve como hipóteses que a aplicação de Si via foliar pode influenciar a resposta do cafeeiro ao N aplicado em cobertura, aumentando a eficiência da utilização do N e a produtividade da cultura.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da aplicação de Si via foliar e doses de N via solo no crescimento, nutrição e produtividade inicial da cultura do café arábica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A cultura do café

O café arábica é originário do continente Africano, sendo um arbusto perene que se desenvolveu no sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia. Essas regiões apresentam clima ameno em função da altitude (de 1000 a 2000 m). No Brasil, o café foi introduzido em 1727 pelo Sargento Francisco de Melo Palheta, através de sementes e mudas trazidas da Guiana Francesa, passando a ser cultivado inicialmente no norte do país (MATIELLO et al., 2010). A cultura somente prosperou quando chegou ao Rio de Janeiro, expandindo-se para o Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná, Mato Grosso e Rondônia (CARVALHO, 1993).

O café tem a vantagem de ser viável em escalas menores e gerar maior renda e empregos por unidade de área. Seu fruto dá origem a mais importante “commodity” agrícola e movimentada anualmente cerca de US\$ 90 bilhões, envolvendo 500 milhões de pessoas, e, somente no Brasil, sua cadeia produtiva ocupa mais de 20 milhões de pessoas nas atividades de cultivo, processamento pós-colheita, transporte e comercialização (DAMATTA et al., 2007; AGRIANUAL, 2008). No entanto, o produto final atualmente exige requisitos fundamentais para ser competitivo: produtividade e qualidade, associados, obrigatoriamente, aos custos reduzidos (VEGRO; MORICOCCHI; JOHNSON, 1997).

O Brasil continua sendo o maior produtor mundial, com uma safra estimada em 49 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado no ano de 2016. Atualmente apresenta um parque cafeeiro estimado em 2,25 milhões de hectares, sendo

que a produtividade média é de aproximadamente 22 sacas beneficiadas ha⁻¹ (CONAB, 2016). A espécie de cafeeiro mais cultivada, tanto no Brasil, quanto no mundo, é a *C. arabica*. Os estados brasileiros que se destacam na produção dessa espécie são Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Bahia. Ainda hoje, a produção de café arábica tem grande importância na geração de riquezas para o estado de São Paulo, no qual, a estimativa para 2016 é que serão colhidas 5,5 milhões de sacas de café beneficiado (CONAB, 2016).

Depois de implantado no campo, o cafeeiro tem crescimento inicial relativamente lento, com menor demanda por nutrientes até que ocorra a primeira florada, em geral entre 24 e 30 meses após o plantio, a depender do manejo adotado. Nessa fase inicial, além da adubação de plantio, que é realizada no sulco ou na cova, faz-se a adubação de formação, considerando a planta como um indivíduo, que ainda não sofre competição de plantas vizinhas. A partir do início da produção, os frutos tornam-se os drenos preferenciais e a adubação terá que ser planejada para atender à demanda dos frutos somada à de crescimento vegetativo e formação de novos nós em ramos produtivos (SAKIYAMA et al., 2015). Na fase de formação do cafeeiro, as exigências nutricionais aumentam rapidamente, com a entrada em produção (primeira safra), época em que se deve ter cuidado na nutrição, pois os cafeeiros produzem muito, ainda com pouca folhagem (baixa relação folha/fruto), o que causa estresse e seca de ponteiros e pode interromper o desenvolvimento normal das plantas (MATIELLO et al., 2008).

O fornecimento adequado de nutrientes é muito importante para o sucesso da cafeicultura, pois as lavouras atuais de café, em sua maioria, encontram-se implantadas em solos naturalmente pobres, ou empobrecidos pelo mau uso anterior. Áreas que já foram cafezais antigos e que novamente vem sendo aproveitadas para a cafeicultura. A fertilidade, nessa condição, deve ser “formada” e mantida, para o bom desenvolvimento e produtividade adequada dos cafeeiros (MATIELLO et al., 2010).

4.2 Adubação nitrogenada no cafeeiro

O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o seu crescimento. Ele faz parte de proteínas, ácidos nucléicos e muitos outros importantes constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais. Sua deficiência resulta em clorose

gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta, inicialmente, em detrimento das reservas da parte aérea (SOUZA; FERNANDES, 2006).

No solo, diversas são as formas de N disponíveis, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis. As formas inorgânicas de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) são as mais utilizadas pelas plantas, sendo a quantidade e a proporção ditadas conforme a cultura e época de desenvolvimento (ODUM, 1988; LANE; BASSIRIRAD, 2002). Segundo Aita e Giacomini (2007), a disponibilidade no solo é controlada, principalmente, pela mineralização e imobilização de N, dois processos opostos e simultâneos que ocorrem durante a decomposição de materiais orgânicos e da matéria orgânica do solo pela população microbiana heterotrófica. Assim, em torno de 95% do N encontra-se na matéria orgânica, ou seja, na forma de N-orgânico. Os 5% restantes encontram-se em formas minerais, prontamente disponíveis para as plantas (KEENEY, 1982).

A nitrificação exerce papel fundamental nos mecanismos de perdas de N do solo, principalmente na forma gasosa e por lixiviação. A nitrificação também determina a forma do N presente no solo e a forma com que é absorvido, utilizado ou perdido durante o desenvolvimento das plantas. Isto tem largas implicações na produtividade das plantas e na qualidade ambiental (SUBBARAO et al., 2007).

Segundo Sangoi et al. (2003), o principal processo de perda de N do solo é a lixiviação, principalmente na forma de nitrato. Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA; FRIES, 1997). Ela é influenciada diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de NO_3^- na solução (WHITE, 1987). O caráter ácido de grande parte dos solos onde o cafeeiro é cultivado no Brasil, associado ao elevado nível de intemperismo, exige que adubações periódicas sejam realizadas (ALVAREZ et al., 2006). Desta maneira, recomenda-se o parcelamento das aplicações de fertilizantes sintéticos lixiviáveis, com intuito de reduzir as perdas do N, assegurando maior disponibilidade às plantas, quando estas atingem estádios máximos de absorção (CERVellini; TOLEDO; REIS., 1986).

Na planta, N se localiza, principalmente, nos cloroplastos das folhas, sendo constituinte dos aminoácidos (proteínas), co-enzimas, ácidos nucléicos e citocromos, bem como da molécula de clorofila e com grande importância na atividade

fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 1991), no aumento da vegetação, com maior crescimento dos ramos plagiotrópicos e expansão da área foliar, e na formação de botões florais e enchimento de frutos, influenciando de maneira marcante a produtividade do cafeeiro (FENILLI, 2006; MATIELLO et al., 2008; CLEMENTE et al., 2013; SAKIYAMA et al., 2015). Esse elemento é facilmente redistribuído pelas plantas, via floema e, conseqüentemente, os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas folhas mais velhas (MENGEL; KIRKBY, 2001). Grandes quantidades do elemento são exportadas dos campos cultivados a cada colheita, devido à alta translocação de N para os frutos do cafeeiro (CATANI; MORAES, 1958; MALAVOLTA, 1993).

Segundo Rena e Maestri (1987), a falta de N é a mais restritiva para o crescimento e produção do cafeeiro. Falha na adubação nitrogenada é caracterizada pelo tempo inadequado de aplicação. Além disso, o fertilizante em questão pode ser aplicado em taxas muito baixas ou muito altas, contribuindo para elevadas perdas de N do sistema, devido à baixa absorção pelas plantas no momento da aplicação (PRADO; NASCIMENTO, 2003). Para Silva et al. (2003), o N é o elemento que mais limita as produções do cafeeiro, nas condições em que é cultivado no Brasil. Isto ocorre em razão da alta demanda pelo café cultivado a pleno sol e da pobreza desse elemento, em formas disponíveis para as plantas, na maioria dos solos brasileiros. A deficiência desse nutriente fica mais evidente em anos de alta produtividade, longos períodos de estiagem e épocas quentes do ano.

As deficiências ocorrem pela falta do suprimento de N, principalmente na época de granação dos frutos, em função de adubações insuficientes, problemas no sistema radicular das plantas, períodos de estiagem que impedem sua absorção do solo ou excesso de chuvas, que lixiviam, com facilidade, os adubos nitrogenados. A deficiência é crítica em lavouras com alta carga pendente, principalmente, naquelas de primeira safra, quando a relação folhas/frutos é pequena. Na época de granação, o nutriente é deslocado das folhas para os frutos, mostrando maior deficiência. Por isso, os ramos carregados são os que apresentam sintomas mais intensos de deficiência do nutriente nas folhas do cafeeiro (MATIELLO et al., 2010).

Na literatura existem poucos trabalhos de pesquisa realizados para fundamentar uma recomendação específica de adubação nitrogenada de formação ou em lavouras jovens, ou seja, aquela considerada a partir do primeiro ano após o plantio do cafeeiro no campo. Raj et al. (1997) recomendam, no primeiro ano após o

plantio (segundo ano agrícola), aplicações de 8 g planta⁻¹ de N, com intervalos de 45 dias, no período de setembro a março. A partir do segundo ano após o plantio (terceiro ano agrícola), dose de N é definida pelo teor de N na folhas e a produtividade esperada. Segundo Matiello et al. (2010), para cafeeiros jovens, no pós-plantio e nos dois primeiros anos de campo, recomenda-se adubações nitrogenadas em cobertura, sob a copa das plantas jovens e com o solo úmido, sendo recomendado parcelar entre três a quatro vezes a adubação com N, aplicando-se de 30-60 g por planta ou metro de linha em cada parcela.

4.3 Silício na planta

O Si é um elemento benéfico para as plantas (BISSANI et al., 2008). Epstein e Bloom (2005) ressaltaram que plantas crescendo em ambiente rico em Si devem diferir daquelas presentes em ambientes deficientes nesse elemento. Assim, o Si pode ser considerado um elemento agronomicamente essencial, pois propicia vários efeitos positivos para mais de 30 espécies vegetais (KORNDORFER; OLIVEIRA, 2010).

Por meio de várias ações indiretas, o Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas, o decréscimo da suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez como Al, Mn, Fe e Na, a diminuição da incidência de patógenos e o aumento na proteção contra herbívoros, incluindo insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

As plantas absorvem Si da solução do solo na forma de ácido de monossilícico (H₄SiO₄) (MITANI et al., 2005). O processo da absorção do ácido monossilícico, que possui carga neutra, ocorre pela dissolução através da membrana, podendo ocorrer por apoplasto ou por simplasto. O mecanismo de absorção radicular de Si pelas plantas foi considerado por muito tempo como sendo, exclusivamente, passivo, sendo feito por difusão ou fluxo de massa (JONES; HANDRECK, 1967). Porém, atualmente são bem detalhados, os mecanismos de absorção ativa de Si, o qual é feito por proteínas de membranas específicas, codificadas por genes específicos para este fim na cultura de arroz, milho e cevada (MA et al., 2006; MITANI; YAMAJI; MA, 2009; CHIBA et al., 2009).

O conhecimento dos transportadores de Si e os genes responsáveis pela sua sinalização tiveram início com o mapeamento do gene *Lsi1* e o primeiro transportador de ácido monossilícico foi identificado em arroz (MA, 2004; 2006). Esse gene é responsável pelo influxo de Si e concentra sua ação principalmente na exoderme e endoderme das raízes. Juntamente com o *Lsi1*, foi encontrado o *Lsi2*, que é responsável pela sinalização de um transportador de efluxo de ácido de monossilícico (MA et al., 2006). O *Lsi1* fica localizado na posição distal das células, enquanto que o *Lsi2* é localizado no lado proximal e responsável pelo transporte de ácido monossilícico para fora das células, guiado pelo gradiente de concentração. Nas folhas, a distribuição de Si é determinada por um transportador semelhante ao sinalizado pelo *Lsi1*, responsável pelo influxo de Si. Dessa forma, o *Lsi6* está localizado nas folhas e é responsável pelo transporte do Si do xilema para as células das folhas e consequentemente pela deposição de Si (YAMAJI; MITANI; MA, 2008).

O transporte e acúmulo de Si podem ocorrer a favor de um fluxo de transpiração, sendo que o acúmulo pode ser regulado pela produção de matéria seca. A relação entre acúmulo e produção segue assim um comportamento em curva sigmoide (JONES; HANDRECK, 1967; MAUAD, 2006). Para Motomura et al. (2002), esta curva sigmoide pode ser repetida muitas vezes ao longo da vida de plantas, de acordo com as estações do ano, aumentando o acúmulo no verão e primavera e diminuído no inverno, mostrando a relação direta do acúmulo de Si com as condições climáticas e da transpiração. Epstein (1999) e Ma et al. (2006), ressaltaram que o transporte e acúmulo de Si podem ser regulados pela transpiração. Porém, o transporte e acúmulo podem ser regulados também por um processo ativo, que é desencadeado pelo estímulo à proteção contra doenças, pragas e outras condições de estresse (MARSCHNER, 1995; BELANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; CURRIE; PERRY, 2007).

Após ser absorvido e transportado até a parte aérea, o ácido monossilícico deposita-se, na forma sílica amorfa hidratada, inicialmente nos tecidos mais jovens e posteriormente vai acumulando-se rapidamente nas células senescentes, sob a forma de sílica polimerizada (SiO_2), também chamada de opala biogênica, fitólitos (DAYANANDAM; KAUFMAN; FRAKIN, 1983). Rafi e Epstein (1999), ressaltaram que, em geral, a concentração de sílica é maior nas folhas velhas do que na raiz e ocorre de forma mais rápida nas gramíneas. O Si acumulado junto aos estômatos reduz a taxa de transpiração, diminuindo assim o consumo de água pela planta (MARSCHNER, 1995; TAKAHASHI, 1995). Segundo Takahashi (1995), nas folhas de arroz forma-se

uma camada de sílica abaixo da cutícula, a qual, entre outras funções, também limita a perda de água.

As plantas mostram concentrações de Si na sua matéria seca, de 1 a 100 g kg⁻¹ de Si (EPSTEIN, 1999). A forma como o Si é absorvido e depositado difere entre as espécies, as quais podem ser classificadas em três grupos: as acumuladoras de Si, em geral as monocotiledôneas (gramíneas), possuindo teor foliar acima de 10 g kg⁻¹ de Si na matéria seca; as plantas não acumuladoras, em geral leguminosas, com um teor foliar menor que 5 g kg⁻¹ de Si na matéria seca; e as intermediárias na acumulação de Si têm teor foliar de Si entre 5 e 10 g kg⁻¹ (TAKAHASHI; MA; MIYAKE, 1990; GUNTZER; KELLER; MEUNIER, 2012). Os teores de Si nas folhas de cafeeiro variam entre 2 e 3 g kg⁻¹, sendo essa espécie considerada não acumuladora (REIS et al., 2007).

A deposição na forma de sílica polimerizada ocorre com 99% do Si total absorvido e menos de 1% fica na forma coloidal ou iônica e ocorre com maior frequência nas regiões onde a água é perdida em grande quantidade (EPSTEIN, 1999; MA et al., 2006). Também podem ser regulados por processo ativo, o transporte e acúmulo de sílica, que é desencadeado pelo estímulo à proteção contra doenças, pragas e outras condições de estresse (MARSCHNER, 1995; CURRIE; PERRY, 2007).

Segundo Liang et al. (2007), os benefícios do Si incluem diminuição da toxidez por metais que pode ocorrer dentro da planta, por: estímulo do sistema de antioxidantes, complexação dos íons metálicos; imobilização desses metais durante o crescimento vegetal; ou compartimentação em vacúolos, citoplasma ou na parede celular. Esse elemento pode promover resistência das plantas a condições de estresse salino e falta de água, isso acontece provavelmente para garantir a integridade e estabilidade da membrana celular (LIANG et al., 2003; ZUCCARINI, 2008; PILON et al., 2014). Em culturas de gramíneas, cultivadas em solos com excesso de salinidade e com baixa umidade, a aplicação de Si levou ao aumento dos níveis de enzimas antioxidantes, o aumento da capacidade fotossintética e do conteúdo de clorofila, o que parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse (SCHMIDT; ZHANG; CHALMERS, 1999). Pilon et al. (2014) verificaram que a aplicação de Si, tanto via solo como via foliar, influenciou positivamente o ajustamento osmótico, a atividade de enzimas antioxidantes e a manutenção do aparato fotossintético, bem como contribuiu para manter a produtividade de tubérculos da cultura da batata sob deficiência hídrica.

O Si proporciona mudanças anatômicas nos tecidos das plantas, após ser acumulado, como o surgimento de células epidérmicas mais espessas, em decorrência da deposição de sílica (EPSTEIN, 1999). Nos órgãos de transpiração o acúmulo de sílica leva à formação de uma dupla camada de sílica, logo abaixo da epiderme, agindo como barreira mecânica contra a invasão de fungos e insetos (KORNDÖRFER; NOLLA; OLIVEIRA, 2004). Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e/ou silicificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos notáveis sobre as propriedades físicas desta. O Si também age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS et al.; 1991, CHÉRIF et al., 1992; CHÉRIF et al., 1994). Estes mecanismos incluem a síntese de compostos fenólicos e enzimas, como a polifenoloxidasas, peroxidases, quitinases (MENZIES et al., 1991; CHÉRIF et al., 1994).

As fitoalexinas são produtos naturais, ausentes na planta sadia, acumuladas temporariamente no local e nos arredores da infecção. Possuem atividade inibidora sobre fungos, bactérias e nematoides. Após a morte das células estes compostos fenólicos são liberados pela descompartimentação, acumulando-se nas paredes das células mortas (KOGA et al, 1988). Os compostos fenólicos formam complexos insolúveis com o Si, que se movem apoplásticamente na epiderme, devido ao transporte passivo no fluxo da transpiração.

Em cafeeiro, o fornecimento de Si via solo tornou as plantas mais resistentes à cercosporiose, resistência essa atribuída a deposição de Si na superfície foliar e uma camada de cera e cutícula mais espessas (POZZA et al., 2004).

O Si na maioria das vezes é fornecido via solo, através do uso de escórias de siderurgia na forma de silicatos de cálcio e magnésio, que são fontes de baixíssima solubilidade em água (SOUSA et al., 2010). Segundo Ma e Yamaji (2006), a diferença na acumulação do Si entre as espécies tem sido atribuída às diferenças na habilidade de absorção do elemento pelas raízes. Portanto, a adubação foliar pode contornar essa deficiência de absorção de Si pelas dicotiledôneas, fornecendo este elemento benéfico de forma mais eficiente. O fornecimento de Si via foliar, com o uso de pequenas quantidades do elemento, pode ser alternativa viável para seu fornecimento às plantas, suprimindo a necessidade e/ou estimulando a absorção de Si e outros nutrientes, aumentando os efeitos benéficos às culturas (FIGUEIREDO et al., 2010; REIS et al.,

2008; SOUSA et al., 2010; SORATTO et al., 2012; CRUSCIOL et al., 2013). Tem-se intensificado na última década o estudo da fertilização de cafeeiros com Si. Em sua grande maioria, os trabalhos têm mostrado efeitos benéficos no controle de pragas e doenças, principalmente quando o mesmo é aplicado em pulverizações foliares (FIGUEIREDO et al. 2006; MERRIGHI et al., 2007; AMARAL et al. 2008). Mesmo sem possuir função nutricional estabelecida, trabalhos indicam que o Si afeta o estado nutricional das culturas, como o cafeeiro (BOTELHO et al., 2005). Assim, acredita-se que o Si influencia a absorção de nutrientes e a eficiência nutricional das plantas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi instalado em condições de campo, em fevereiro de 2013 e conduzido até maio de 2016, ou seja, por um período de três anos e quatro meses.

5.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em uma área cultivada com cafeeiro arábica, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri-SP, com latitude 23°03' S, longitude 49°14' W e altitude de 710 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa, tropical, com estação seca no inverno, temperatura média anual de 21,4 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.498 mm (CEPAGRI, 2016). Os dados climáticos são apresentados na (Tabela 1).

O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média (SANTOS et al., 2006). A amostra de solo foi coletada antes da instalação do experimento, a coleta foi realizada na projeção da saia do cafeeiro, cujos resultados de análises química, da camada de 0–0,20 m de profundidade foram: 4,9 de pH(CaCl₂); 41 mg dm⁻³ de P(resina); 13 g dm⁻³ de M.O.; 2,5 mmol_c dm⁻³ de K; 53 mmol_c dm⁻³ de Ca; 14 mmol_c dm⁻³ de Mg; 2 mmol_c dm⁻³ de Al; 43 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 62% de saturação por bases; 7 mg dm⁻³ de S; 0,27 mg dm⁻³ de B; 1,7 mg dm⁻³ de Cu; 11 mg dm⁻³ de Fe; 1,2 mg dm⁻³ de Mn; 1,2 mg dm⁻³ de Zn. Os resultados da análise granulométrica foram 200 g kg⁻¹ de argila, 91 g kg⁻¹ de silte e 709 g kg⁻¹ de areia.

O talhão onde foi instalado o experimento é constituído por plantas de café arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, plantadas no campo em fevereiro de 2013, no espaçamento 3,5 x 0,70 m.

Tabela 1. Dados de temperatura média (TM), precipitação pluvial (PP) mensais de outubro de 2013 a maio de 2016, Manduri-SP.

Mês	Ano							
	2013		2014		2015		2016	
	TM (°C)	PP (mm)						
Jan.	-	-	24,3	116,9	25,0	117,5	22,7	210,5
Fev.	23,7	258,9	24,7	46,5	22,8	164,1	23,8	67,5
Mar.	22,4	249,7	22,8	197,9	22,2	119,2	21,4	122,9
Abr.	19,9	156,1	20,9	43,9	20,9	65,9	20,8	57,0
Mai.	17,9	98,6	17,6	83,7	17,8	81,1	14,6	155,9
Jun.	16,8	180,0	17,5	3,7	16,5	15,1	-	-
Jul.	15,2	52,0	16,6	50,7	16,4	127,3	-	-
Ago.	16,5	1,8	17,8	14,1	17,9	25,7	-	-
Set.	19,0	87,0	20,8	172,0	20,7	183,7	-	-
Out.	20,7	133,3	22,2	26,9	22,1	125,9	-	-
Nov.	22,5	113,6	23,7	119,5	22,6	251,1	-	-
Dez.	24,2	46,5	23,5	134,5	23,2	77,4	-	-

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de N (0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de N, ou seja, 0, 1/2, 1 e 2 vezes a dose de N recomendada para a cultura do café) e presença e ausência de Si via foliar, totalizando oito tratamentos. As doses de N foram calculadas com base nas recomendações de Rajj et al. (1997). Foi utilizada a fonte de nitrato de amônio, que contém 32% de N. O Si foi fornecido mediante duas aplicações por ano de 2 L ha⁻¹ do produto Silamol[®] (0,8% de Si solúvel como um concentrado estabilizado de ácido silícico, que forma ácido ortossilícico [Si(OH)₄] e ácido dissilícico quando diluído, 0,15% de Mo, 48% de polietilenoglicol (PEG₄₀₀), Bioquick Tecnologia Imp. e Exp. de Prod. Agropecuários Ltda, Cotia, SP).

Cada parcela foi constituída por uma fileira de plantas com oito plantas, tendo 5,6 m de comprimento. As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e uma fileira. A área considerada útil (de 12,5 m²) foram as plantas centrais da parcela, excluindo uma planta de cada extremidade. Ressalta-se que o espaçamento do café é de 3,5 x 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

5.3 Cultivar utilizada

A cultivar de café arábica Catuaí Vermelho IAC 99, utilizada no presente experimento, corresponde ao cruzamento entre plantas selecionadas de Caturra e de Mundo Novo no ano de 1949, a fim de associar a rusticidade e a produtividade do Mundo Novo ao porte reduzido do Caturra, característica de grande interesse econômico, por facilitar os tratos da lavoura e a colheita do produto. Dessas hibridações e das seleções efetuadas nas gerações subseqüentes, resultaram os cultivares Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho, que, na realidade, constituem formas de Mundo Novo de porte reduzido (CARVALHO; MONACO, 1972).

A arquitetura da planta é bem cilíndrica e compacta. A folhagem é de cor verde, um pouco mais escura que no Mundo Novo e os brotos (folhas novas) são somente verdes. As folhas do Catuaí são mais “acosteladas”, ou seja, a nervura secundária é mais funda em relação à superfície do limbo foliar. O sistema radicular do cafeeiro Catuaí é bom, superior até ao do Mundo Novo. Provavelmente, devido, em parte, à sua copa com ramagem compacta, com dificuldade de penetração de luz, o cafeeiro Catuaí apresenta floração e maturação dos frutos mais desigualada e tardia. Sua maturação ocorre um mês após aquela do Mundo Novo. Os frutos e grãos são menores em relação ao Mundo Novo, com bebida, sólidos solúveis e cafeína dentro dos padrões normais de cafeeiros arábica. A planta de Catuaí é mais protegida contra ventos frios e o calor, resistindo mais a períodos de estiagem. Também apresenta menor prejuízo em função do ataque da ferrugem, pois a desfolha ocorre mais lentamente (MATIELLO et al., 2010).

5.4 Condução do experimento

No plantio do cafeeiro, foram distribuídos e incorporados em cada metro de sulco 15 g de P_2O_5 (superfostafó simples), 10 g de K_2O (cloreto de potássio), 300 g de calcário dolomítico com 75% de PRNT e 5 L de cama de frango, conforme as recomendações de Raij et al. (1997).

Nos tratamentos com N as doses foram parceladas em quatro aplicações, sendo realizada uma a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro em cada ano. A aplicação foi feita de forma manual, distribuindo-se uniformemente as doses do fertilizante sob a projeção da saia das plantas de café. Para o fornecimento do Si, foram realizadas duas aplicações, nos meses de novembro e fevereiro em cada ano. Na aplicação do produto foi utilizado um pulverizador costal,

com pressurizador de CO₂, a pressão constante de 2,0 kgf cm⁻², e reservatório com capacidade para 2L de calda, conectado a uma barra equipada com três pontas de pulverização, de fabricação Teejet, modelo TTi110.02, espaçados 0,1 m entre si, e velocidade de deslocamento de 1 m s⁻¹, proporcionando um consumo de calda na ordem de 400 L ha⁻¹.

Além dos tratamentos, em ambos os anos agrícolas foram aplicados, em todo o experimento, 2 L ha⁻¹ do fertilizante foliar CaB₂ em setembro, 2 L ha⁻¹ do fertilizante foliar fosfito, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de manganês, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, em novembro e fevereiro, 2 aplicações de 75 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), em novembro e janeiro de cada ano e uma aplicação de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), em outubro de 2014.

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com os critérios do produtor. Em ambos os anos agrícolas, foram utilizados em todo o experimento os seguintes produtos: tebuconazol na dose de 200 g i.a. ha⁻¹, para o controle da doença *Phoma spp.*; piraclostrobina + epoxiconazol na dose de 274,5 g i.a. ha⁻¹ e oxiclreto de cobre na dose de 2,5 kg ha⁻¹, para o controle das doenças *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola*; clorantraniliprole na dose de 31,5 g i.a. ha⁻¹, para o controle da praga *Leucoptera coffeella* e, clorpirifos na dose de 720 g i.a. ha⁻¹, para o controle da praga *Hypothenemus hampei*.

5.5 Avaliações realizadas

As medições de desenvolvimento das plantas de cafeeiro foram iniciadas em outubro de 2013 e realizadas até abril de 2016, avaliando-se:

5.5.1 Diâmetro do caule

Medido a 0,05 m de altura em relação à superfície do solo com o uso de um paquímetro analógico, nos meses de outubro e abril de cada ano agrícola.

5.5.2 Altura da planta

Determinada medindo-se com uma régua graduada, da superfície do solo ao meristema apical da planta, nos meses de outubro e abril de cada ano agrícola.

5.5.3 Número total de nós no ramo plagiotrópico e percentagem de enfolhamento

Foram feitas contagens do número total de nós, nós com folhas e nós sem folhas, em um par de ramos plagiotrópicos no terço médio da planta. Os ramos foram marcados com fitilhos de polietileno de coloração branca e a contagem teve início em agosto de 2014, avaliando-se a cada noventa dias, totalizando quatro avaliações. No segundo ano, a avaliação foi realizada em um par de ramo no terço superior da planta, tendo início em agosto de 2015, avaliando-se a cada noventa dias totalizando quatro avaliações. Após obter o número de nós no ramo, nós com e sem folhas, foi possível calcular o percentual de enfolhamento do ramo plagiotrópico.

5.5.4 Teor de macro e micronutrientes e silício nas folhas de café

Para determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes e Si, foram coletadas 20 folhas por parcela, no 3^o par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, na altura média da planta, no início do verão (dezembro/janeiro) de cada ano agrícola, conforme recomendações de Raij et al. (1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água deionizada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macro e micronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), e teor de Si segundo técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer, Nolla e Oliveira. (2004).

5.5.5 Percentagem de frutos verdes, maduros e secos na colheita

Por ocasião da colheita, avaliou-se a uniformidade de maturação dos frutos na colheita das safras 2015 e 2016, de modo que, em uma amostra de 1 L de frutos colhidos aleatoriamente por parcela, foram separados e contados os frutos verdes, maduros e secos. Na sequência, calculou-se o percentual para cada tipo de fruto colhido em cada parcela.

5.5.6 Produtividade de grãos e rendimento de benefício

As colheitas foram realizadas em junho de 2015 e em maio de 2016, tendo sido colhidas cinco plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Para tanto, derriçou-se o café sobre um pano e, posteriormente, procedeu-

se a abanação e secagem em terreiro de alvenaria, até atingir teor de água entre 11 e 12%. Em seguida, os grãos “em coco” foram beneficiados. Com isso, efetuou-se o cálculo de rendimento de grãos beneficiados, ou seja, a porcentagem que esses grãos beneficiados representam da quantidade colhida de grãos “em coco”. Posteriormente, foi determinada a produtividade de grãos beneficiados, pesando-se a massa de grãos de café após o beneficiamento com uso de balança eletrônica.

5.5.7 Grãos de café retidos na peneira 15

Após o beneficiamento, os grãos foram passados em peneiras circulares com furos número 15 (com 6 mm de diâmetro) e calculado a porcentagem de grãos retidos na peneira.

5.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias do fator Si foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. As médias referentes às doses de N foram submetidas à análise de regressão, com auxílio do programa estatístico SISVAR. No desdobramento da interação significativa, as médias do fator Si foram comparada pelo teste t a 5% de probabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro do caule das plantas de café foi influenciado apenas pelas doses de N em cobertura, na última avaliação, realizada em abril de 2016 (Tabela 2). A aplicação de N proporcionou efeito no diâmetro do caule com incremento até a dose estimada de 103 kg ha⁻¹ de N. O efeito da adubação nitrogenada sobre o diâmetro do caule somente na última avaliação pode ter ocorrido devido ao fato de o cafeeiro ser uma planta de crescimento lento, especialmente com relação do diâmetro do caule. Com isso, provavelmente, seria necessário maior tempo de estudo para se observar os efeitos mais acentuados da adubação nitrogenada sobre o diâmetro de caule das plantas de café. A aplicação de Si via foliar não teve influência no diâmetro do caule, em nenhuma das épocas de avaliação.

A aplicação de doses de N em cobertura influenciou na altura das plantas de café, em todas as avaliações realizadas a partir de abril de 2014 (Tabela 3). Na última avaliação, realizada em abril de 2016, a aplicação de N proporcionou incremento da altura das plantas de café até a dose estimada de 252 kg ha⁻¹ de N. Lima et al. (2012), trabalhando com aplicação de diferentes doses de N, também observaram aumento na altura de plantas do cafeeiro. O fornecimento de N é importante para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, o que pode levar a efeitos marcantes na fitomassa e na produtividade da cultura (REIS et al., 2009; QUINTELA et al., 2011).

Tabela 2. Diâmetro do caule de planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	Época de avaliação					
	Out.2013	Abr. 2014	Out. 2014	Abr. 2015	Out. 2015	Abr. 2016
	(cm)					
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	1,20	2,06	2,70	3,60	3,54	4,13
75	1,19	2,02	2,61	3,52	3,66	4,61
150	1,19	2,01	2,64	3,70	3,70	4,72
300	1,18	2,01	2,70	3,52	3,74	4,70
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	(1)
Si via foliar						
Sem	1,18a	2,01a	2,60a	3,56a	3,66a	4,59a
Com	1,19a	2,04a	2,70a	3,57a	3,66a	4,48a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6,3	10,4	8,6	7,4	6,1	4,0

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 4,71/(1+\exp(-(x+77,51)/ 39,68))$ $R^2 = 0,97^{**}$. ns e ** são não-significativos e significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3. Altura da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	Época de avaliação					
	Out.2013	Abr. 2014	Out. 2014	Abr. 2015	Out. 2015	Abr. 2016
	(cm)					
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	36,6	63,9	78,4	89,4	93,4	109,6
75	38,0	71,1	83,2	100,2	107,5	126,1
150	38,5	66,0	80,4	100,7	107,4	126,5
300	37,9	66,1	79,1	101,9	110,1	130,8
Regressão	ns	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Si via foliar						
Sem	37,2a	65,1b	79,4b	96,8b	103,1b	122,9a
Com	38,3a	68,3a	81,3a	99,2a	106,1a	123,5a
Interação N x S	ns	*	*	*	*	ns
CV(%)	12,8	3,7	3,2	1,8	2,7	3,0

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 65,2 + 0,0437x - 0,000140x^2$ $R^2 = 0,27^{**}$; ⁽²⁾ $y = 79,2 + 0,0375x - 0,000128x^2$ $R^2 = 0,50^{**}$; ⁽³⁾ $y = 101,4/(1+\exp(-(x+65,3)/ 32,5))$ $R^2=0,99^{**}$; ⁽⁴⁾ $y = 108,96/(1+\exp(-(x+57,79)/ 32,23))$ $R^2= 0,98^{**}$; ⁽⁵⁾ $y = 129,3/(1+\exp(-(x+75,1)/ 43,7))$ $R^2= 0,97^*$. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A aplicação de Si via foliar proporcionou maior altura das plantas de café, nas avaliações realizadas entre abril de 2014 e outubro 2015 (Tabela 3). Contudo, nessas mesmas épocas de avaliação também houve efeito significativo da interação entre doses de N e aplicação de Si sobre a altura das plantas de café. Nas avaliações realizadas em abril e outubro de 2014, a aplicação de N em cobertura

proporcionou efeitos quadráticos na altura do cafeeiro na ausência da aplicação de Si via foliar, porém, com a presença de Si não houve efeito das doses de N estudadas (Figuras 1A e 1B). Na ausência de aplicação de N, a aplicação de Si via foliar proporcionou maior altura das plantas de café, em comparação ao tratamento sem aplicação de Si.

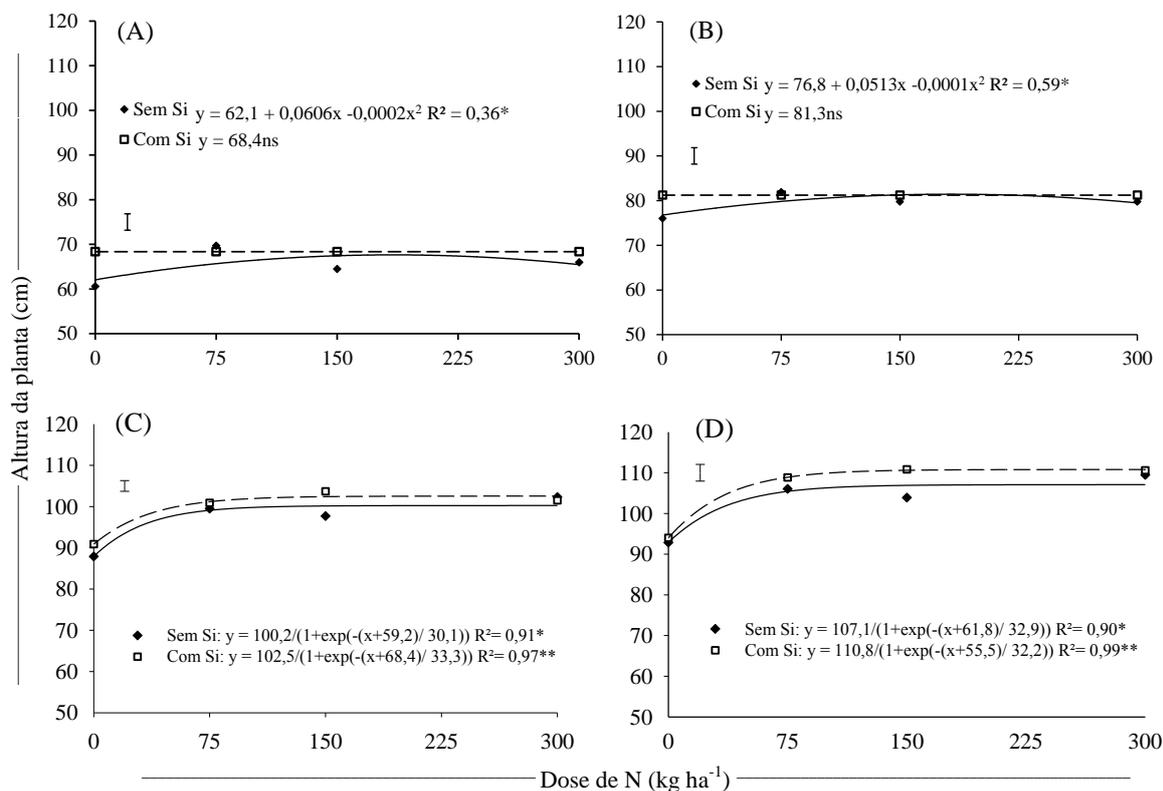


Figura 1. Altura da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar, (A) abril 2014, (B) outubro 2014, (C) abril 2015, (D) outubro 2015. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Nas avaliações de abril e outubro de 2015 houve maiores efeitos das doses de N no aumento da altura das plantas de café com a presença da aplicação de Si via foliar (Figuras 1C e 1D). Na avaliação de abril de 2015, a aplicação de N em cobertura influenciou na altura das plantas de café, com incremento até as doses estimadas de 185 e 169 kg ha⁻¹ de N, na presença e ausência da aplicação de Si via foliar, respectivamente (Figura 1C). Em outubro de 2015, também houve efeitos das doses de N, com aumentos na altura dos cafeeiros até as doses estimadas de 192 e 189 kg ha⁻¹ de N, na presença e ausência de Si via foliar, respectivamente (Figura 1D). A

aplicação de N proporcionou maior crescimento das plantas de café em altura, quando estas foram supridas com Si via foliar, em comparação com o tratamento sem Si. A aplicação de Si muitas vezes proporciona maior rigidez estrutural dos tecidos das plantas por aumentar a resistência mecânica das células, reduzir a transpiração, deixando as folhas mais eretas e diminuindo o autosombreamento (DEREN, 2001). Com isso, pode aumentar o desenvolvimento em altura das plantas, o que foi evidenciado no presente trabalho. Teodoro et al. (2015), trabalhando com silicato de potássio via foliar na cultura da soja, na dosagem de 500 mL ha⁻¹, observaram valores máximos de 105,9 e 94,0 cm na presença e ausência de Si via foliar aos 28 dias após o estágio R2.

Os nós presentes no ramo plagiotrópico, também conhecidos como ramos produtivos, são responsáveis pela produção dos frutos do cafeeiro (BRAGANÇA et al., 2008). No ano agrícola 2014/2015, o número de nós no ramo plagiotrópico no terço médio da planta de café foi influenciado pelas doses de N, pela aplicação de Si via foliar e pela interação entre os fatores, na avaliação de novembro, apenas pelas doses de N, na avaliação de fevereiro, e pelas doses de N e pela interação entre doses de N e aplicação de Si, na avaliação de maio (Tabela 4). Já no ano agrícola 2015/2016, houve efeito apenas das doses de N nas avaliações realizadas em fevereiro e maio. Nas avaliações de 2014/2015, as doses de N em cobertura proporcionaram efeito linear positivo no número de nós no terço médio da planta de café. Em fevereiro de 2016, o efeito da aplicação de N foi quadrático, com incremento até a dose estimada de 235 kg ha⁻¹ de N. Já em maio de 2016, a aplicação de N influenciou no número de nós no ramo plagiotrópico, com incrementos até a dose estimada de 216 kg ha⁻¹ de N. Lima et al. (2016) também observaram aumento no número de nós nas plantas de café em função da aplicação de N, com incrementos até a dose de 210 kg ha⁻¹ quando utilizou a ureia agrícola, e com aumento até a dose de 300 kg ha⁻¹ com o uso da ureia polimerizada ou nitrato de amônio. Na avaliação de novembro de 2014, a aplicação de N em cobertura, na ausência do fornecimento de Si, proporcionou efeito quadrático do número de nós no ramo plagiotrópico, com aumento estimado até a dose 217 kg ha⁻¹ de N, porém, na presença de Si não foi observado efeito das doses de N no número de nós no ramo plagiotrópico (Figura 2A).

Tabela 4. Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	Época de avaliação			
	Agosto	Novembro	Fevereiro	Maió
2014/2015 - terço médio da planta				
(n°. de nós ramo ⁻¹)				
Dose de N (kg ha ⁻¹)				
0	30,8	38,3	43,2	44,6
75	29,1	40,1	46,1	45,3
150	30,0	42,5	47,6	47,4
300	30,0	41,2	48,4	48,3
Regressão	ns	(1)	(2)	(3)
Si via foliar				
Sem	29,7a	38,9b	45,4a	45,6a
Com	30,2a	42,2a	47,2a	47,2a
Interação N x S	ns	*	ns	*
CV(%)	8,9	3,2	6,6	7,0
2015/2016 - terço superior da planta				
(n°. de nós ramo ⁻¹)				
Dose de N (kg ha ⁻¹)				
0	8,3	11,8	15,6	19,3
75	7,8	11,4	21,2	29,3
150	7,4	11,4	22,3	30,1
300	8,1	11,7	23,6	32,1
Regressão	ns	ns	(4)	(5)
Si via foliar				
Sem	7,6a	11,2a	20,1a	27,2a
Com	8,2a	12,0a	21,3a	28,3a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns
CV(%)	14,1	10,9	12,0	8,3

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾y = 38,1 + 0,0421x - 0,000105x² R² = 0,94**;⁽²⁾y = 44,2 + 0,0160x R² = 0,82**;⁽³⁾y = 44,7 + 0,0131x R² = 0,91*;⁽⁴⁾y = 15,9 + 0,0688x - 0,000146x² R² = 0,96**;⁽⁵⁾y = 31,4/(1+exp(-(x+17,5)/36,9)) R² = 0,98*. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na avaliação de maio de 2015, a aplicação de N em cobertura proporcionou efeito linear no número de nós no ramo plagiotrópico, na ausência de Si (Figura 2B). Na presença de Si também não houve efeito das doses de N utilizadas. Vale destacar que, a aplicação de Si via foliar proporcionou maior número de nós no ramo plagiotrópico do terço médio do cafeeiro em ambas as avaliações, na ausência ou com aplicação de menores doses de N e que, na presença das maiores doses de N, o número de nós não diferiu entre os tratamentos que receberam ou não Si via foliar. O efeito do Si no aumento do número de nós no ramo plagiotrópico, especialmente na ausência da aplicação de N, pode ter ocorrido devido à baixa precipitação em outubro de 2014 (Tabela 1), já que o Si pode ser capaz de diminuir os efeitos causados por

situações hídricas adversas. A deposição de Si na parede celular das folhas, formando uma dupla camada protetora, evita grandes perdas de água nestas condições, devido à menor taxa de evapotranspiração da planta (MARSCHNER, 1995). Esse elemento promove a resistência das plantas a condições de estresse salino e falta de água, isso acontece provavelmente para garantir a integridade e estabilidade da membrana celular (ZUCCARINI, 2008; PILON et al., 2014).

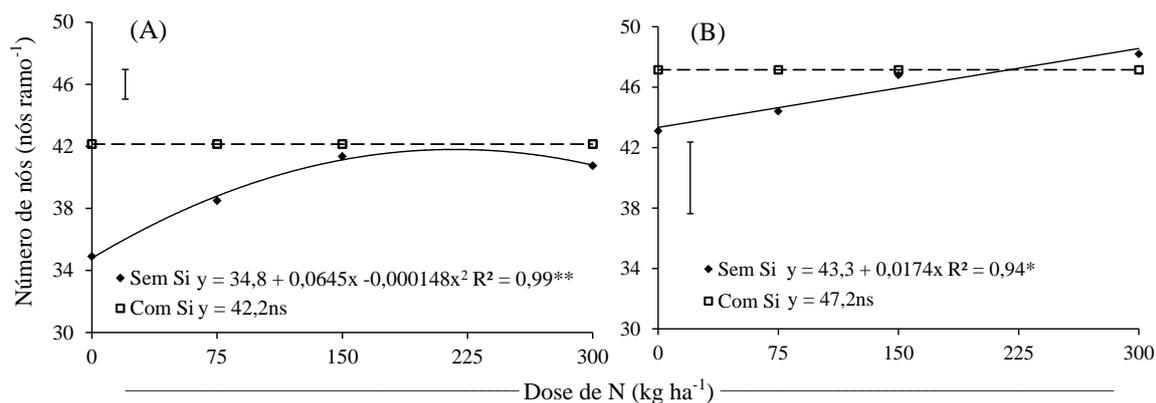


Figura 2. Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar, (A) novembro 2014, (B) maio 2015. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O enfolhamento no ramo plagiotrópico no terço médio e no terço superior da planta de café foi influenciado pela aplicação de N em cobertura, a partir da avaliação realizada em fevereiro de 2015 (Tabela 5). Na avaliação de fevereiro de 2015, a aplicação de doses de N em cobertura proporcionou efeito linear positivo no enfolhamento do ramo plagiotrópico do terço médio da planta. Também foi observado efeito da aplicação de N na avaliação realizada em maio de 2015, com incremento do enfolhamento até a dose estimada de 263 kg ha⁻¹ de N. No terço superior da planta, a aplicação de N em cobertura teve efeito no enfolhamento do ramo plagiotrópico com incremento até as doses estimadas de 281, 285 e 137 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, nas avaliações de agosto, novembro e fevereiro de 2015/2016.

Tabela 5. Percentagem de enfolhamento no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	Época de avaliação			
	Agosto	Novembro	Fevereiro	Maiο
2014/2015 - terço médio da planta				
(% de nós com folhas)				
Dose de N (kg ha ⁻¹)				
0	59,1	58,8	40,1	7,1
75	57,8	56,6	43,1	21,7
150	60,9	56,9	49,6	29,6
300	60,6	59,6	54,8	31,2
Regressão	ns	ns	(1)	(2)
Si via foliar				
Sem	60,6a	58,4a	49,4a	21,8a
Com	58,6a	57,5a	44,3a	23,0a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns
CV(%)	10,4	6,7	17,6	17,4
2015/2016 - terço superior da planta				
(% de nós com folhas)				
Dose de N (kg ha ⁻¹)				
0	66,4	53,7	62,0	59,6
75	87,5	79,1	86,3	87,4
150	96,2	91,4	88,6	91,8
300	96,3	91,4	86,1	90,4
Regressão	(3)	(4)	(5)	(6)
Si via foliar				
Sem	86,4a	78,8a	81,5a	83,5a
Com	86,9a	78,9a	79,9a	81,1a
Interação N x S	ns	ns	ns	*
CV(%)	10,1	13,5	12,7	6,0

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾y = 40,3 + 0,0504x R² = 0,97** ; ⁽²⁾y = 31,2/(1+exp(-(x-44,9)/ 36,6)) R²= 0,99** ; ⁽³⁾y = 97,1/(1+exp(-(x+38,0)/ 49,7)) R²= 0,99** ; ⁽⁴⁾y = 92,6/(1+exp(-(x+15,2)/ 48,8)) R²= 0,99* ; ⁽⁵⁾y = 87,3/(1+exp(-(x+18,6)/ 20,7)) R²= 0,99** ; ⁽⁶⁾y = 91,1/(1+exp(-(x+18,7)/ 29,4)) R²= 0,99** . ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A percentagem de enfolhamento do ramo plagiotrópico dos cafeeiros teve influencia da aplicação de N em cobertura e da interação entre o N em cobertura e Si via foliar, na avaliação realizada em maio de 2016 (Figura 3). A aplicação de N, com e sem Si via foliar, influenciou na percentagem de enfolhamento, com incremento até a dose estimada de 200 kg ha⁻¹ de N, tanto na presença, quanto na ausência de Si via foliar. De acordo com Malavolta (1993), o N é um elemento bastante móvel no floema, saindo de um local de residência para atender a demanda das regiões de crescimento ativo, de modo que a clorose generalizada que caracteriza a carência se inicia pelas folhas mais velhas e, conseqüentemente, ocorre queda dessas folhas no caso de deficiências severas. O mesmo foi observado nesse trabalho, onde as plantas que não

receberam a aplicação de N em cobertura apresentaram maior deficiência desse elemento, principalmente nos ramos carregados, ocorrendo queda das folhas mais velhas nas plantas com deficiência de N. Na ausência de aplicação de N em cobertura, a aplicação de Si via foliar proporcionou menor enfolhamento das plantas de café, na avaliação realizada em maio de 2016 (Figura 3).

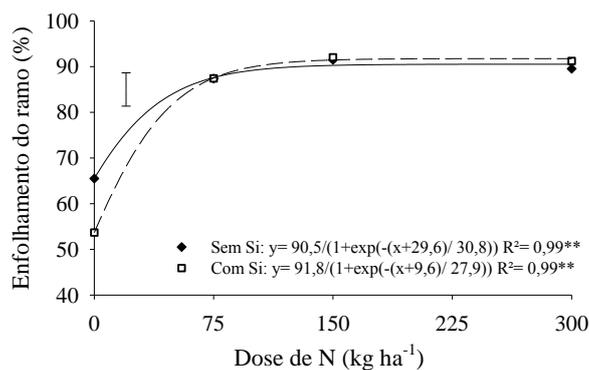


Figura 3. Percentagem de enfolhamento no ramo plagiotrópico do terço superior da planta de café arábica, em maio 2016, em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). ** é significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O teor de N nas folhas foi influenciado pelas doses de N e pela interação entre N e Si, no ano agrícola 2014/2015, e apenas pelas doses de N, no ano agrícola 2015/2016 (Tabela 6). Os maiores efeitos das doses de N no incremento dos teores foliares desse nutriente nas folhas de café foram obtidos na presença da aplicação de Si via foliar (Figura 4). A aplicação de N em cobertura teve efeitos quadráticos nos teores de N nas folhas de café, com incrementos até as doses estimadas de 191 e 341 kg ha⁻¹ de N, na ausência e presença da aplicação de Si via foliar, respectivamente. Em 2015/2016, a aplicação de N proporcionou incremento no teor desse nutriente nas folhas do cafeeiro até a dose estimada de 273 kg ha⁻¹ de N, independentemente da aplicação de Si via foliar (Tabela 6). Vale destacar que, no primeiro ano de avaliação, a aplicação de Si via foliar proporcionou maior teor de N nas folhas dos cafeeiros submetidos à aplicação da maior dose de N (300 kg ha⁻¹), evidenciando maior absorção de N pelas plantas.

No ano agrícola 2014/2015, os teores de P e Ca nas folhas de café foram influenciados pela aplicação de doses de N em cobertura, que

proporcionaram efeito linear decrescente (Tabela 6). A aplicação de N em cobertura não influenciou nos teores de K, Mg e S nas folhas do cafeeiro, nesse período de avaliação. Entretanto, os teores de todos os macronutrientes, em todos os tratamentos, estavam dentro ou acima das faixas consideradas adequadas para a cultura do café (RAIJ et al., 1997).

Tabela 6. Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
2014/2015						
(g kg ⁻¹)						
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	26,2	2,1	22,4	13,5	4,5	3,3
75	29,2	2,1	21,0	13,5	4,4	3,3
150	30,7	2,0	22,2	12,2	4,3	3,3
300	31,0	1,9	20,5	12,1	3,9	3,4
Regressão	(1)	(2)	ns	(3)	ns	ns
Si via foliar						
Sem	29,1a	2,0a	22,3a	12,7a	4,1a	3,3a
Com	29,4a	2,0a	20,8a	13,0a	4,5a	3,4a
Interação N x S	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	4,1	9,3	16,3	10,0	19,9	8,7
2015/2016						
(g kg ⁻¹)						
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	16,8	1,8	23,0	10,3	2,5	1,4
75	26,9	1,8	16,3	8,9	2,5	1,4
150	31,2	1,7	17,4	8,4	2,2	1,5
300	32,3	1,7	19,7	8,6	1,9	1,4
Regressão	(4)	ns	(5)	(6)	(7)	ns
Si via foliar						
Sem	27,0a	1,7a	18,9a	9,2a	2,3a	1,4a
Com	26,7a	1,8a	19,3a	8,9a	2,3a	1,5a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	8,2	9,3	9,6	10,2	14,2	9,5

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾y = 26,2 + 0,0447x - 0,000096x² R² = 0,99***, ⁽²⁾y = 2,1 - 0,0009x R² = 0,90**, ⁽³⁾y = 13,5 - 0,0050x R² = 0,75*, ⁽⁴⁾y = 32,4/(1+exp(-(x+3,4)/ 49,1*)) R² = 0,99**, ⁽⁵⁾y = 22,4 - 0,0751x + 0,000224x² R² = 0,82**, ⁽⁶⁾y = 10,3 - 0,0202x + 0,000049x² R² = 0,99**, ⁽⁷⁾y = 2,5 - 0,0020x R² = 0,94**. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No ano agrícola 2015/2016, os teores de K e Ca nas folhas do cafeeiro tiveram influência quadrática da aplicação das doses de N, com os maiores valores sendo estimados com as doses de 167 e 206 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para

K e Ca (Tabela 6). Os teores de Mg nas folhas foram influenciados negativamente pela aplicação de doses de N em cobertura, com os menores teores desse elemento sendo obtidos com a dose de 300 kg ha⁻¹ de N. Nesse segundo ano de avaliação, os teores de K, Ca, Mg e S estavam abaixo das faixas tidas como adequadas para o cafeeiro, especialmente na presença da aplicação das maiores doses de N.

A aplicação de Si via foliar não teve influência nos teores de macronutrientes nas folhas do cafeeiro, em nenhuma das épocas de avaliação, assim como Crusciol et al. (2013), trabalhando com aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na cultura do feijão, observaram que não houve efeito dos tratamentos nos teores foliares de N, P, Ca, Mg e S.

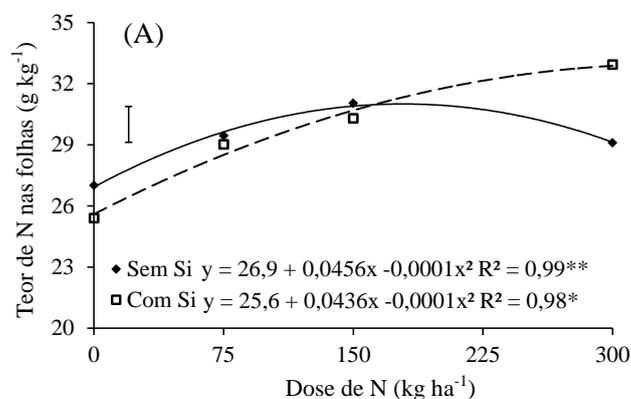


Figura 4. Teores de N nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar, no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Com relação aos micronutrientes, apenas os teores de Cu e Fe, no ano agrícola 2014/2015, e o teor de Fe, no anos agrícola 2015/2016, foram influenciados apenas pela aplicação de N em cobertura (Tabela 7). No ano de 2014/2015, a aplicação de doses de N em cobertura teve efeito quadrático nos teores de Cu e Fe nas folhas do cafeeiro, com redução até as doses estimadas de 156 e 203 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. No ano de 2015/2016, os teores de Fe nas folhas de café tiveram influência da aplicação de doses de N em cobertura, que proporcionaram efeito linear crescente no teor desse elemento nas folhas do cafeeiro.

Em 2015/2016, a aplicação de doses de N teve efeito quadrático nos teores de Si nas folhas do cafeeiro, com incremento até a dose estimada de 177 kg ha⁻¹ de N (Tabela 7). Os teores de Mn e Zn nas folhas de café não foram influenciados

pela aplicação de doses crescentes de N em cobertura em nenhuma avaliação. A aplicação de Si via foliar não teve influência nos teores de micronutrientes nas folhas do café, em nenhum dos anos avaliados. Apesar dos efeitos na altura da planta (Tabela 3 e Figura 1) e no número de nós no ramo plagiotrópico (Tabela 4 e Figura 2), a aplicação de Si via foliar não teve efeito significativo no teor desse elemento nas folhas do cafeeiro (Tabela 7). Tal fato pode estar relacionado à reduzida quantidade de Si fornecida em cada aplicação (8 g ha⁻¹). Botelho et al. (2005), trabalhando com silicato de cálcio e silicato de sódio aplicados via solo em cafeeiros na fase inicial de desenvolvimento, observaram que o teor de Si nas folhas da cultura do café não foi significativamente influenciado pelos tratamentos utilizados.

Tabela 7. Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e Si nas folhas do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Tratamento	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	2014/2015				
	(mg kg ⁻¹)				(g kg ⁻¹)
Dose de N (kg ha ⁻¹)					
0	33,5	253,4	108,3	94,5	5,9
75	24,3	204,5	114,4	79,7	5,8
150	25,5	171,8	96,8	89,3	4,7
300	31,0	187,0	110,1	83,1	4,5
Regressão	⁽¹⁾	⁽²⁾	ns	ns	ns
Si via foliar					
Sem	27,8a	211,0a	107,5a	84,9a	5,3a
Com	29,3a	197,3a	107,2a	88,3a	5,2a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	24,9	23,6	25,5	20,6	40,6
	2015/2016				
	(mg kg ⁻¹)				(g kg ⁻¹)
Dose de N (kg ha ⁻¹)					
0	9,6	121,7	47,5	6,7	4,3
75	8,1	115,2	52,1	4,9	6,4
150	9,3	139,4	42,6	5,7	6,2
300	9,7	153,2	53,4	6,0	5,7
Regressão	ns	⁽³⁾	ns	ns	⁽⁴⁾
Si via foliar					
Sem	8,8a	140,1a	54,6a	5,9a	5,4a
Com	9,5a	124,6a	43,2a	5,7a	5,9a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	21,3	24,8	34,5	49,0	24,8

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾y = 32,7 - 0,1119x + 0,000357x² R² = 0,88***; ⁽²⁾y = 254,3 - 0,8514x + 0,002087x² R² = 0,99*; ⁽³⁾y = 116,3 + 0,1221x R² = 0,83*; ⁽⁴⁾y = 4,5 + 0,0231x - 0,000065x² R² = 0,84*. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Em ambas as safras, a aplicação de doses de N em cobertura proporcionou efeito linear na percentagem de frutos maduros, com incremento até a dose de 300 kg ha⁻¹ de N (Tabela 8). A percentagem de frutos secos também sofreu efeito linear da aplicação de N em cobertura, com comportamento inverso do que ocorreu nos frutos maduros, tendo a menor percentagem de frutos secos na dose de 300 kg ha⁻¹.

Tabela 8. Percentagem de frutos maduros, secos e verdes na colheita, rendimento de benefício e produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar. Safras 2015 e 2016.

Tratamento	Maduro	Seco	Verde	Rendimento de benefício	Produtividade de grãos	Grãos na peneira 15
Safra 2015						
	(%)				(kg ha ⁻¹)	(%)
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	19,1	49,8	31,1	56,0	1908	77,9
75	22,5	52,5	25,0	52,8	2123	79,5
150	34,0	33,6	32,4	53,7	2356	81,8
300	37,2	30,3	32,5	54,6	2424	78,6
Regressão	(¹)	(²)	ns	ns	(³)	ns
Si via foliar						
Sem	24,5b	42,7a	32,8a	54,1a	2083b	80,4a
Com	31,9a	40,4a	27,8a	54,5a	2323a	78,6a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV(%)	30,3	17,9	26,2	9,7	8,3	5,34
Safra 2016						
	(%)				(kg ha ⁻¹)	(%)
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	-	-	-	-	0	-
75	53,8	10,8	35,4	50,5	125	81,7
150	51,3	6,5	42,3	48,2	340	86,2
300	60,0	4,2	35,8	54,7	620	87,2
Regressão	(⁴)	(⁵)	ns	ns	(⁶)	(⁷)
Si via foliar						
Sem	53,0a	7,5a	39,5a	52,0a	237b	86,8a
Com	57,1a	6,8a	36,0a	50,2a	305a	83,4a
Interação N x S	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV(%)	38,1	85,5	59,6	12,3	20,2	4,5

Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator Si via foliar, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. (¹) $y = 19,8 + 0,0637x$ $R^2 = 0,87^{**}$; (²) $y = 51,5 - 0,0761x$ $R^2 = 0,75^{**}$; (³) $y = 1895,2 + 4,0396x - 0,007540x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$; (⁴) $y = 49,45 + 0,0319x$ $R^2 = 0,67^{**}$; (⁵) $y = 11,95 - 0,273x$ $R^2 = 0,87^{**}$; (⁶) $y = -5,9 + 2,1107x$ $R^2 = 0,99^{**}$; (⁷) $y = 81,2 + 0,0219x$ $R^2 = 0,73^{**}$. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A percentagem de frutos verdes não foi influenciada pela aplicação de N em nenhum dos anos de estudo. Os resultados indicam que a adubação nitrogenada atrasa a maturação dos frutos do cafeeiro, já que houve aumento da percentagem de frutos maduros (cereja), em detrimento da percentagem de frutos secos.

A aplicação de Si via foliar incrementou a percentagem de frutos maduros apenas na safra 2015, porém não houve diferença significativa na percentagem de frutos secos ou verdes (Tabela 8).

O rendimento do benefício não foi influenciado pelos fatores estudados em nenhuma das safras avaliadas (Tabela 8).

Em ambas as safras, a produtividade de grãos beneficiados foi influenciada pelas doses de N em cobertura, pela aplicação de Si via foliar e pela interação entre esses fatores (Tabela 8). Na safra 2015, independentemente da aplicação de Si via foliar, as doses de N proporcionaram efeitos quadráticos na produtividade de grãos do cafeeiro, porém com efeitos mais expressivos com a presença da aplicação de Si (Figura 5A). Na presença da aplicação de Si via foliar, a produtividade de grãos foi incrementada em 32%, até a dose estimada de 288 kg ha⁻¹ de N, enquanto na ausência da aplicação de Si via foliar a produtividade teve aumento de 25% e até a dose estimada de 246 kg ha⁻¹ de N. Na safra 2016, a adubação nitrogenada incrementou linearmente a produtividade de grãos tanto na presença quanto na ausência da aplicação de Si via foliar, porém, na presença da aplicação de Si o efeito da adubação nitrogenada foi mais pronunciado (Figura 5B). Esses dados corroboram os de Lima et al. (2016) que observaram aumentos significativos na produtividade do cafeeiro, obtendo as maiores produtividades na dose de 300 kg ha⁻¹ de N. A assimilação do N é um processo importante para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade das culturas (REIS et al., 2009). Mas se for realizada uma adubação nitrogenada desequilibrada, esta ocasiona grandes prejuízos em produtividade, mesmo que se tenha obtido maior uniformidade de colheita. Fernandes e Fraga-Júnior (2010), estudando doses de N (nitrato de amônio), relataram que a produtividade foi maior na dose de 210 kg ha⁻¹ de N. Quintela et al. (2011) observaram que a produtividade de grãos beneficiados de café foi influenciada significativamente pelas doses de N, apresentando ajuste quadrático com incrementos até a dose estimada de 337,8 kg ha⁻¹. Vale destacar que, na safra 2016 as produtividades de grãos, em todos os tratamentos, foram bastante inferiores às produtividades observadas na safra 2015.

Segundo Damatta (2004), as plantas apresentam menor produção, como reflexo do desgaste causado pela grande produção no ano anterior, efeito chamado de bienalidade.

A maior produtividade de grãos nos tratamentos que receberam as maiores doses de N na presença da aplicação de Si via foliar pode estar ligada aos benefícios atribuídos à nutrição com Si, como redução da evapotranspiração (DATNOF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001), controle de doenças foliares (MENZIES et al., 2001), melhoria da arquitetura e atividade fotossintética (DEREN, 2001). Assim como nos resultados desse trabalho, Figueiredo (2007), estudando aplicações foliares de silicato de potássio, obtiveram aumentos significativos sobre a produção do cafeeiro no tratamento que recebeu Si em relação à testemunha. Pilon et al. (2014) verificaram que a aplicação de Si, tanto via solo como via foliar, influenciou positivamente o ajustamento osmótico, a atividade de enzimas antioxidantes e a manutenção do aparato fotossintético da cultura da batata. Podendo assim, melhorar o aproveitamento do N pelas plantas. Nos órgãos de transpiração o acúmulo de sílica leva à formação de uma dupla camada de sílica, logo abaixo da epiderme, agindo como barreira mecânica contra a invasão de fungos e insetos (KORNDÖRFER; NOLLA; OLIVEIRA, 2004).

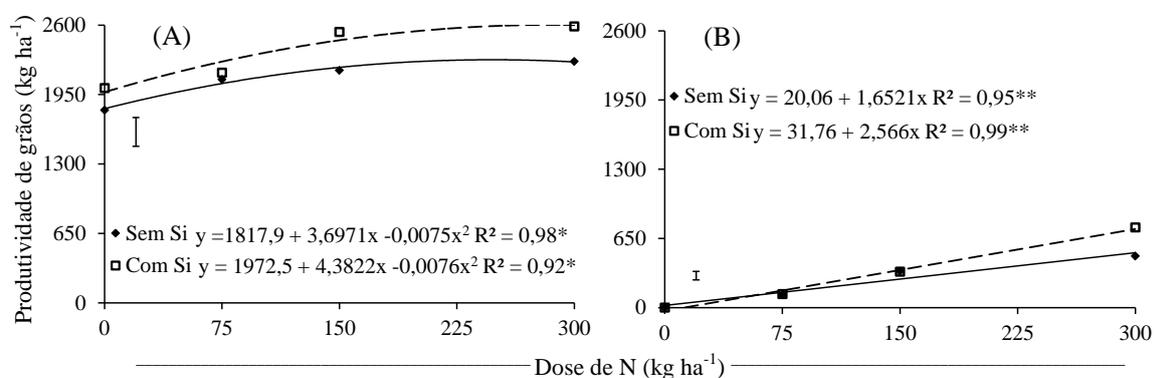


Figura 5. Produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de nitrogênio via solo e da aplicação de silício via foliar, (A) safra 2015; (B) safra 2016. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). ns, e ** são não-significativos e significativos a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Com relação ao tamanho dos grãos produzidos na segunda safra, a aplicação de N em cobertura proporcionou efeito linear na percentagem de grãos beneficiados de café retidos na peneira 15, com incremento até a dose de 300 kg ha⁻¹ de N (Tabela 8). O N é fundamental para o desenvolvimento dos frutos do cafeeiro, por

proporcionar maior área foliar, maior produção de amido e outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997). A percentagem de grãos retidos em peneiras altas é influenciada pela nutrição da planta de café. Assim, as maiores doses foram mais eficientes na produção de grãos maiores, porém, uma menor proporção de peneiras altas e maior de peneiras baixas acarreta em perda de qualidade, uma vez que os grãos defeituosos e mal granados são encontrados principalmente em peneiras baixas (PIMENTA, 2003).

7 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada aumentou a altura da planta, o número de nós no ramo plagiotrópico, e colaborou na manutenção do enfolhamento das plantas, na fase de formação da lavoura.

A aplicação das maiores doses de N atrasou a maturação dos frutos e incrementou a produtividade e o tamanho dos grãos da cultura do café arábica.

A aplicação de Si via foliar proporcionou maior altura das plantas e número de nós no ramo plagiotrópico, especialmente na ausência da aplicação de N em cobertura.

Na presença das maiores doses de N, o fornecimento de Si via foliar proporcionou maiores teores de N na folha e maior produtividade de grãos na cultura do café arábica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Café**. São Paulo: Instituto FNP, 2008. 514 p.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (eds). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, IPNI Brasil, 2007. p.1-42.

ALVAREZ, V.H.; DIAS, L.E.; LEITE, P.B.; SOUZA, R.B.; RIBEIRO JUNIOR, E.S. Poda de raízes e adubação para crescimento do cafeeiro cultivado em colunas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.111-119, 2006.

AMARAL, D.R.; RESENDE, M.L.V.; JÚNIOR, P.M.R.; BOREL, J.C.; LEOD, R.E.O.M.; PÁDUA, M.A. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, p. 425-431, 2008.

BELANGER, R.R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G. Cytological evidence of active role of silicone in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp tritici). **Phytopathology**, v. 93, p. 402-412, 2003.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo de adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2 ed. 2008. 344 p.

BOTELHO, D. M.S.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 582-588, 2005.

BRAGANÇA, S.M.; MARTINEZ, H.E.P.; LEITE, H.G.; SANTOS, L.P.; SEDIYAMA, C.S.; ALVAREZ, V.V.H.; LANI, J.A. Accumulation off macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 103-120, 2008.

CARVALHO, A.; MONACO, L.C. Transferência do fator Caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v. 31, p. 379-399, 1972.

CARVALHO, A. **Histórico do desenvolvimento do cultivo do café do Brasil**. Campinas: IAC, 1993. 7p.

CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P.A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, v. 33, p. 45-52, 1958.

CEPAGRI - Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Unicamp. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>>. Acesso em: 02 junho. 2016.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: Conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.

CERVELLINI, G.S.; TOLEDO, S.V.; REIS, A.J. Nitrogênio na adubação química do cafeeiro: Doses e parcelamento do nitrocálcio. **Bragantia**, n. 45, p. 45-55, 1986.

CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BELANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Phytophthora ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, p. 411-425, 1992.

CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; BOGDANOFF, C.; BELANGER, R.R. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when brown with soluble silicon. **HortScience**, v. 29, p. 896-897, 1994.

CHIBA, Y.; MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J.F. HvLsil is a silicone influx transporter in barley. **Plant Journal**, v. 57, p. 810-818, 2009.

CLEMENTE, J.M; MARTINEZ, H.E.P.; ALVES, L.C.; LARA, M.C.R. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size. **Revista Ceres**, v.60, p.279-285, 2013.

COELHO, G.; SILVA, A.M.S.; REZENDE, F.C.; SILVA, R.A.; CUSTÓDIO, A.A.P. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 67-73, 2009.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de informações agropecuárias**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_05_24_08_59_49_boletim_cafe_-_maio_2016.pdf> Acesso em: 08 jun. 2016.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO, J. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 404-410, 2013.

CURRIE, H.A.; PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, p. 1383-1389, 2007.

DAMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p.99-114, 2004.

DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485-510, 2007.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon on Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 403 p.

DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRAKIN, C.I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, v. 70, n. 10, p. 1079-1084, 1983.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. p. 149-158.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop Science**, v. 34, p. 733-737, 1994.

ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p. 1118-1119, 1991.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v.91, , p.11-17, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

FENILLI, T.A.B. **Destino do Nitrogênio (15N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100f. Piracicaba, Tese de Doutorado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2006. 100p.

FERNANDES, A.L.T.; FRAGA-JÚNIOR, E.F. Doses de fontes nitrogenadas convencionais e nitrogênio polimerizado na produtividade e maturação do cafeeiro irrigado. **Fazu em Revista**, v. 7, p. 37-41, 2010.

FIGUEIREDO, F.C.; BOTREL, P.P.; TEIXEIRA, C.P.; PETRAZZINI, L.L.; LOCARNO, M.; CARVALHO, J.G. Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1306-1311, 2010.

FIGUEIREDO, F.C. **Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel**. 2007. 109p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, MG.

FIGUEIREDO, F.C.; BOTREL, P.P.; REIS, T.H.P.; RODRIGUES, C.R.; GUIMARÃES, P.T.G. Influência da adubação foliar com silício líquido solúvel na redução de doenças foliares e aumento do crescimento foliar do cafeeiro. CONGRESSO

BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Varginha, **Anais...** Poços de Caldas: Fundação Procafé, 2006. p.290-291.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 70p.

GUNES, A.; INAL, A.; BAGCI, E.G.; COBAN. S. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 807-811. 2007.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 32, p. 201-213, 2012.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX. A. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, v. 123, p.459-466, 2005.

JONES, L. H.P.; HANDRECK, K. A., Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 107-149, 1967.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F. J. (Org.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 605-649.

KOGA, H.; ZEYEN, R.J.; BUSHNELL, W.R.; AHLSTRAND, G.G. Hipersensitive cell death, autofluorescence and insoluble silicon accumulation in barley leaf epidermal cells under attack by *Erysiphe graminis* f. sp. hordei. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 32, p. 395-409, 1988.

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 02).

KORNDORFER, G.H.; OLIVEIRA, L.A. Uso de silício em culturas comerciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5., 2010, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/DFP, 2010. p. 3-25,

LANE, D.R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of NO₃⁻ to NH₄⁺. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 1227-1235, 2002.

LIANG, T.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H.; DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 1157-1164, 2003.

LIANG, Y.C.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 422-428, 2007.

LIMA, E.; SANTOS, R.F.; WERNCKE, I.; SOUZA, S.N. M.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. F. Nitrogênio na cultura do café *Coffea arabica* L.. **Cultivando o saber**, v.5, p.9-17, 2012.

LIMA, L.C.; GONÇALVES, A. C.; FERNANDES, A.L.T.; SILVA, R.O.; LANA, R.M.Q. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. **Coffee Science**, v. 11, p. 97 - 107, 2016.

LIMA, M. A.; CASTRO, V.F.; VIDAL, J.B.; ENÉAS FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 398-403, 2011.

MA J.F.; TAMAI K.; YAMAJI N.; MITANI N.; KONISHI S.; KATSUHARA M.; ISHIGURO M.; MURATA Y.; YANO M. A silicon transporter in rice. **Nature**, v.440, p. 688-691, 2006.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, p. 11-18, 2004.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 308 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, p. 887-889, 1995.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de Café no Brasil: Manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MATIELLO, J.B.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R. **Adubação racional na lavoura cafeeira**. Varginha: Bom Pastor/MAPA/Fundação Procafé., 2008.106 p.

MAUAD, M. **Desenvolvimento e marcha de absorção de silício em plantas de arroz sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada**. 2006. 107 p. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2006.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Princípios de nutrição vegetal**. Basel: International Potash Institute, 2001. 692 p.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R. Plantrelated silicon research in Canada. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. p. 323-341.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERT, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, v. 81, p. 84-88, 1991.

- MERRIGHI, A.L.N.; FERNANDES, A.L.T.; SILVA, R.O.; SILVA, G.A.; BECKER, G. Avaliação da aplicação do silício líquido e sólido no controle das principais pragas e doenças do cafeeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 33., 2007, Varginha, **Anais...** Lavras: Fundação Procafé, 2007. p.1-5.
- MITANI, N.; TAMAI, K.; KONISHI, S.; YAMAJI, N.; YANO, M.; MA, J.F. Characterization of silicon uptake system and isolation of LSI1 gene from rice root. In: SILICON AGRICULTURAL CONFERENCE, 3, 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. 124p.
- MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J.F. Identification of maize silicon influx transporters. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, p. 5-12, 2009.
- MOREIRA, M.A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 223-231, 2004.
- MOTOMURA, H.; MITA, N.; SUZUKI, M. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae-Bambusoideae). **Annals of Botany**, v. 90, p.149-152, 2002.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p.
- PILON, C.; SORATTO, R.P.; BROETTO, F.; FERNANDES, A.M. Foliar or soil application of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, v.106, p.2325-2334, 2014.
- PIMENTA, C.J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003. 304 p.
- POZZA, A.A.A.; ALVES E.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004.
- PRADO, R.M.; NASCIMENTO, V.M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira, UNESP/FEIS, 2003. 274p.
- QUINTELA, M.P.; SILVA, T.J.A.; SILVA, E.M. B.; SILVA, E.F.F.; BEBÉ, F.V. Parâmetros produtivos e nutricionais do cafeeiro submetido adubação nitrogenada na região de Garanhuns. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 74-79, 2011.
- RAFI, M.M.; EPSTEIN, E. Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant and Soil**, v. 211, p. 223-230, 1999.
- RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101 (Boletim Técnico, 100).
- REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.; RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 3, p. 78-80, 2008.

- REIS, A.R.; FAVARIN, J.L.; GALLO, L.A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F.; LAVRES JUNIOR, J. Nitrate reductase and glutamine synthetase activity in coffee leaves during fruit development. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 315-324, 2009.
- REIS, T.H.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; POZZA, A.A.A.; NOGUEIRA, F.D.; RODRIGUES, C.R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte, Epamig, 2007. 120p. (Boletim Técnico, 82)
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. eds. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba, Potafós, 1987. p.13-85.
- SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café Arábica: do plantio à colheita**. 22.ed. Viçosa: UFV, 2015. 316 p.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). **Canadian Journal of Botany**, v. 69, p:140-146, 1991.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v.33, p.65-70, 2003.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; NAZARENO, R. B.; TOLEDO, P.M.R.; SILVA, D.T. M. Fontes, doses e modos de aplicação de nitrogênio na produção do cafeeiro em solo de cerrado. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2002. p.2523-2527.
- SCHMIDT, R.E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D.R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, p. 1763-1773, 1999.
- SILVA, A.M.; SORICE, L.S.D.; COELHO, G.; FARIA, M.A.; REZENDE, F.C. Evaluation of split fertilizer applications and irrigation starting time over coffee bean yield. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p.1354-1362, 2003.
- SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO, J. Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1538-1544, 2012.
- SOUSA, J.V.; RODRIGUES, C.R.; LUZ, J.M.Q.; CARVALHO, P.C.; RODRIGUES, T.M.; BRITO, H.C. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 502-513, 2010.
- SOUZA, R.S.; FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. 22.ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 216-252.

SUBBARAO, G.V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I.M.; NAKAHARA, K.; LASCANO, C.; BERRY, W.L. Biological nitrification inhibition (BNI) is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, v. 294, p. 5-18, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California/USA: Redwood City, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1991. 565p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATUSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant physiology**. 2. Physiology. Nobunkyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TAKAHASHI, E.; MA, J.F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, v. 2, p. 99-122. 1990.

TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; OLIVEIRA, E.P.; CORRÊA, C.C.G.; TORRES, F.E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, p. 161-170, 2015.

VEGRO, C.L.R.; MORICOCHI, L.; JOHNSON, B. **Café: realidade e perspectivas**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, São Paulo, 1997, 67p.

WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Wallingford : C.A.B. International, 1987. p.193-211.

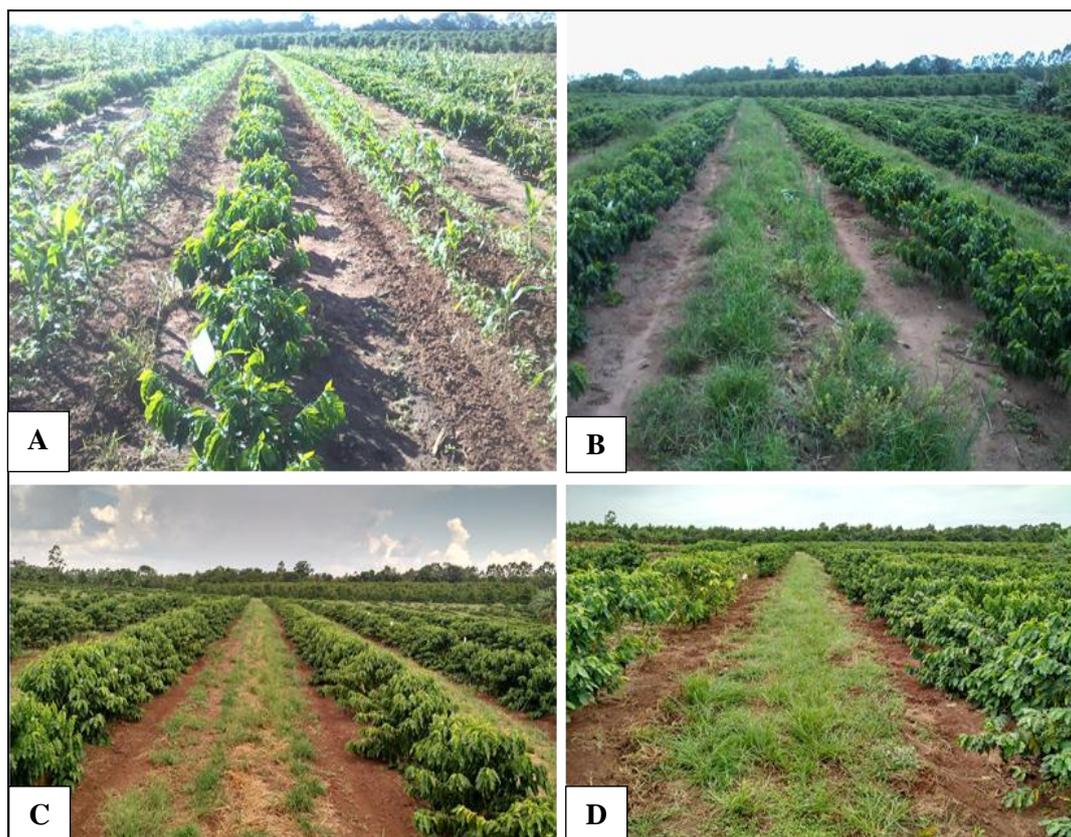
YAMAJI, N.; MITANI, N.; MA, J.F. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. **The Plant Cell**, v. 20, p. 1381-1389, 2008.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, v. 52, p. 157-160, 2008.

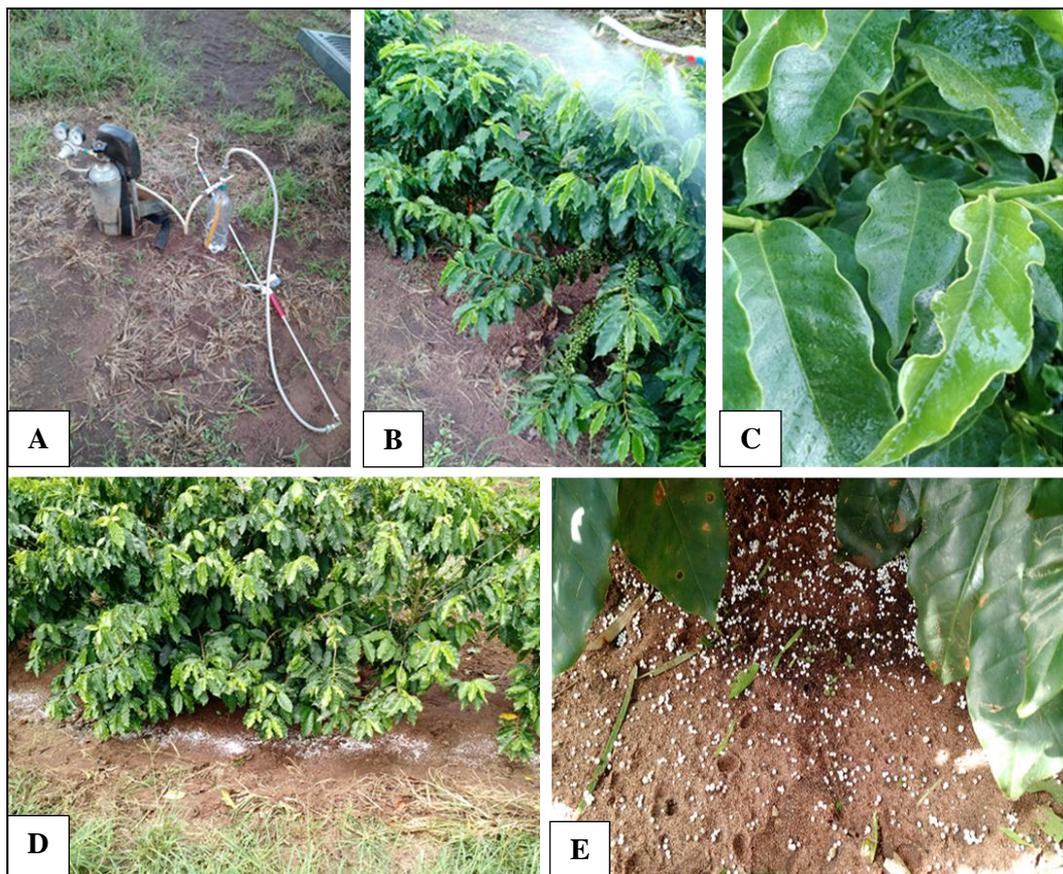
9 APÉNDICE



Apêndice 1. Implantação do cafeeiro em fevereiro de 2013, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Manduri-SP.



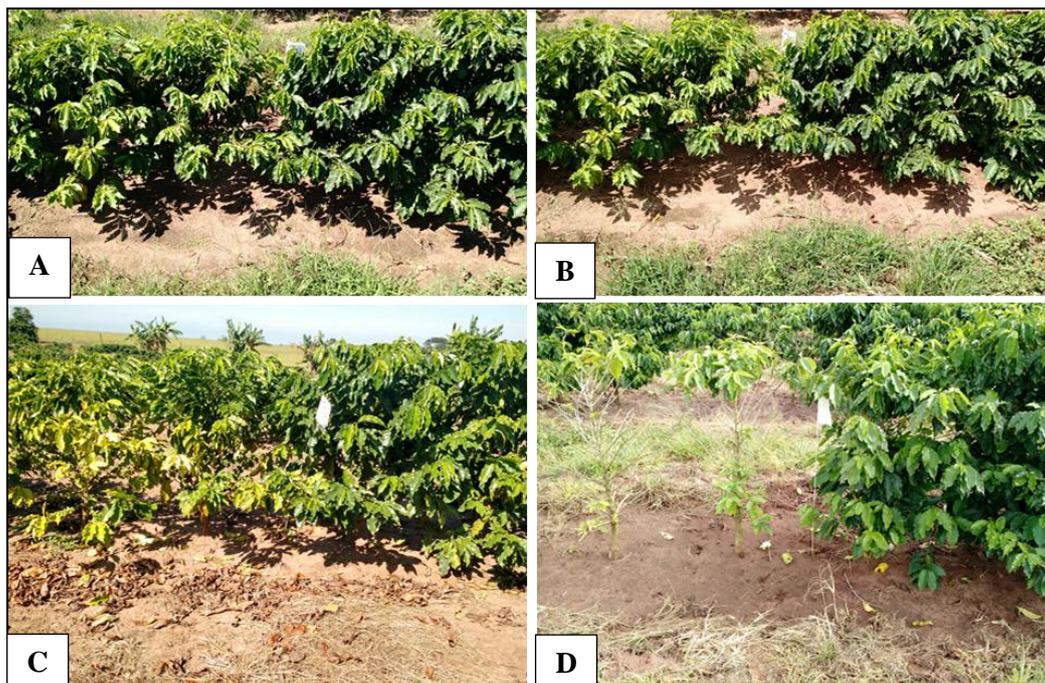
Apêndice 2. Imagens ilustrando o desenvolvimento da cultura do café durante a condução do experimento, (A) abril de 2014, (B) novembro de 2014, (C) março de 2015 (D) fevereiro de 2016. Manduri-SP.



Apêndice 3. Aplicação de silício via foliar e nitrogênio via solo, (A) Equipamento costal CO₂, (B) aplicação de silício, (C) deposição da calda na folha do cafeeiro (D e E) aplicação de N na projeção da saia da planta. Manduri-SP.



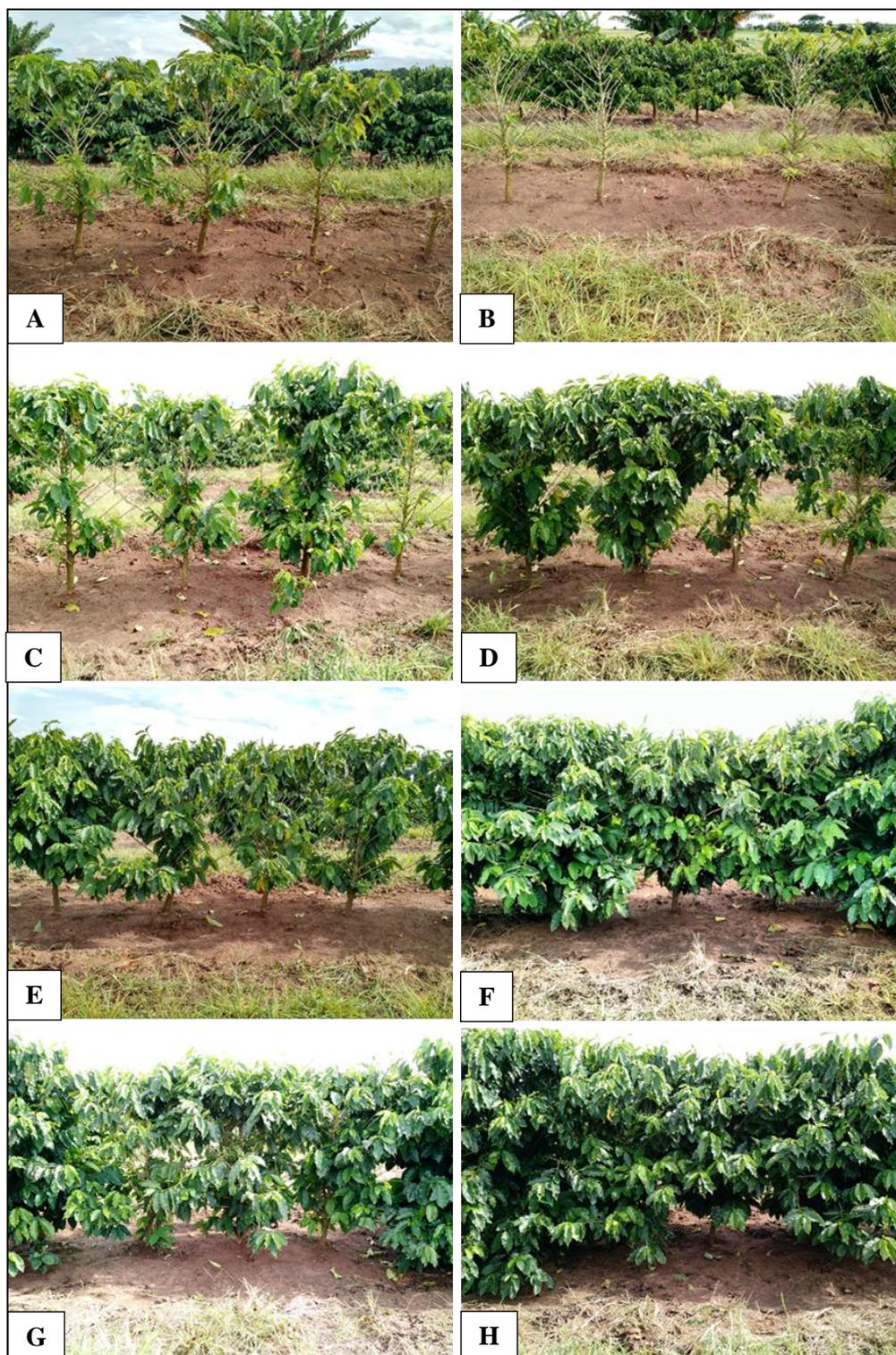
Apêndice 4. Detalhes da marcação dos ramos do cafeeiro com fitilho de polietileno, (A e B) ramos marcados no terço médio da planta, (C e D), ramos marcados no terço superior da planta. Manduri-SP.



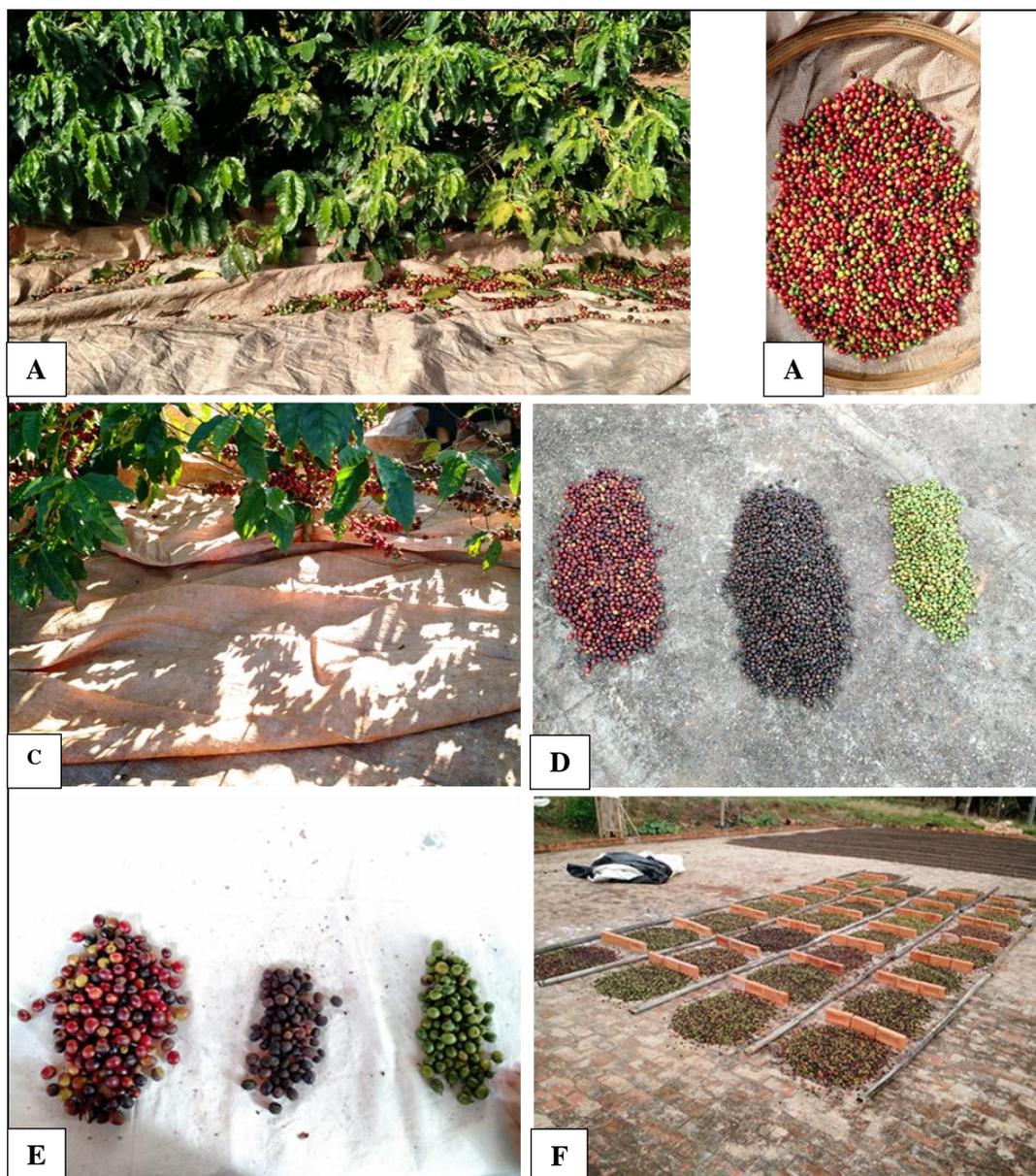
Apêndice 5. Sintomas de deficiência de N na cultura do café, as duas plantas à esquerda da bandeirinha é a testemunha e as duas plantas à direita da mesma é o tratamento na dose de 75 kg ha^{-1} de N, (A e B) primeiros sintomas de deficiência de N na testemunha, (C) fase de granação dos frutos, (D) fase de desenvolvimento após a primeira produção. Manduri-SP.



Apêndice 6. Detalhes da primeira produção do cafeeiro, após o início do ensaio, (A) tratamento sem N e com Si, (B) tratamento 300 kg ha^{-1} de N com Si. Manduri-SP.



Apêndice 7. Desenvolvimento do cafeeiro após a primeira produção, com doses de N e aplicação de Si via foliar, (A) tratamento sem N e sem Si, (B) tratamento sem N e com Si, (C) tratamento com 75 kg ha⁻¹ de N e sem Si, (D) tratamento com 75 kg ha⁻¹ de N e com Si, (E) tratamento com 150 kg ha⁻¹ de N e sem Si, (F) tratamento com 150 kg ha⁻¹ de N e com Si, (G) tratamento com 300 kg ha⁻¹ de N e sem Si, (H) tratamento com 300 kg ha⁻¹ de N e com Si. Manduri-SP.



Apêndice 8. Momento da colheita do experimento em ambos os tratamentos, (A B e C) derrça do café sobre um pano, (D e E) separação dos frutos cereja, seco e verde, (F) secagem dos grãos de café em terreiro de alvenaria. Manduri-SP.