

**NUTRIÇÃO, PROTEÇÃO E QUALIDADE DA
BEBIDA DO CAFÉ SOB PULVERIZAÇÕES
DE SILICATO DE POTÁSSIO LÍQUIDO
SOLÚVEL**

FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO

2007

FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO

**NUTRIÇÃO, PROTEÇÃO E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFÉ SOB
PULVERIZAÇÕES DE SILICATO DE POTÁSSIO LÍQUIDO SOLÚVEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Figueiredo, Felipe Campos

Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel / Felipe Campos Figueiredo. -- Lavras : UFLA, 2007.

97p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Paulo Tácito Gontijo Guimarães.

Bibliografia.

1. Café. 2. Silicato de potássio. 3. Ferrugem. 4. Qualidade 5. pH de calda. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73894

FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO

**NUTRIÇÃO, PROTEÇÃO E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFÉ SOB
PULVERIZAÇÕES DE SILICATO DE POTÁSSIO LÍQUIDO SOLÚVEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 13 de dezembro de 2007.

Prof^ª. Dr^ª. Janice Guedes de Carvalho – UFLA

Prof. Dr. Enilson de Barros Silva – UFVJM

Prof^ª. Dr^ª. Sara Maria Chalfoun – EPAMIG/CTSM

Prof. Dr. Lísias Coelho - UFU

**Prof. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães
EPAMIG
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus, que me privilegiou com capacidade, possibilitando meu crescimento – louvo, bendigo e agradeço por este trabalho.

DEDICO

Aos meus pais Antônio Pereira de Figueiredo e Maria das Graças Campos Figueiredo que conduziram minha vida e me permitiram alcançar meus ideais.

Aos meus irmãos: Nuno, Vitor Alexandre e a minha irmãzinha Aline que fortificam a construção da minha vida familiar e profissional.

OFEREÇO

“Tão importante quanto aprender o que é bom é esquecer o que é ruim”

Felipe Campos Figueiredo

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pelas graças concedidas, Obrigado!

Em deferência à Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, assim como ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Paulo Tácito Gontijo Guimarães pela amizade, respeito e competência em orientar-me nesta minha empreitada.

Ao meu pai Antônio Pereira de Figueiredo e minha mãe Maria das Graças Campos Figueiredo que me ajudaram colocando a “mão na massa”, auxiliando-me nas avaliações, aplicação dos tratamentos, condução do ensaio. Foi uma ajuda essencial e, por isso, posso considerar esta como: “A tese da família”.

Ao meu praticamente, “co-orientador” Carlos Ribeiro Rodrigues pela confiança, cumplicidade e respeito, que nos torna sócios em uma grande empreitada. Não poderia deixar de citar a sua esposa Tatiana e agora a Ana Liz e Maria Eduarda, afinal, o que seria desse homem sem suas mulheres!

À Una-Prosil por financiar grande parte deste trabalho, por confiar no projeto e em meu potencial para conduzi-lo. Aos colegas desta empresa: Joelson, Rolando, Alfredo, Elaine, Marcel, Ribamar, Adriano, Sérgio, Luciana, Regiane, Willian. Ao Eduardo Freitas e ao senhor Luiz Gonzaga da UNA.

Aos profissionais: técnicos e funcionários, essenciais à condução dos experimentos, Ronaldo Nogueira de Medeiros e o Técnico Agrícola Hélio Almeida Pereira, em Três Pontas.

À professora Janice Guedes de Carvalho, que sempre me apoiou nas pesquisas. Ao Adalberto pela ajuda nas análises.

Aos amigos e colegas de departamento: Thiago H. P. Reis, Paulo Pinho, Cleber, Lauro, Ana Rosa, Adélia, Enio, Daniela (secretária), Adrianinha, Antônio Claré (Tunin), Krisle, Alexandre Barberi, Jussara, Leandro, José Zilton, Núbia, Euzi e todos os amigos do curso.

Aos companheiros de república e cúmplices dos apertos nas disciplinas e trabalhos: Ivoney Gontijo e André Shigueyoshi Nakatani.

Aos meus tios Josué e Cristina, Walter e Beatriz pelo exemplo e enorme ajuda que me deram aos quais serei eternamente agradecido. Também ao tio Eugênio sempre presente e de alto astral.

À minha noiva Priscila Pereira Botrel, que cada vez se torna mais importante na minha vida pelo apoio e carinho que temos um com o outro. Tenho certeza que esta caminhada seria mais difícil sem ela ao meu lado.

Como não poderia deixar de ser, agradeço ao meu sogro e sogra Sirlei e Maria Aparecida (Cida) pelo apoio e exemplo e pelo melhor peixe da região que diversas vezes “serrei”.

A minha irmã Aline e meu cunhado Marcelino por estarem sempre de braços abertos para ajudar e aconselhar e, agora, todo o carinho para o meu afilhado Heitor que chega para encantar a família.

Aos meus colegas de Três Pontas: Felipe Perereca, Mauricinho, Daniel, Tiago, Gabriel, Dudu roseira, tio Dácio, Gustavão, Marcelão, Helga, Bondi, Daniela, Keila, Renata, Joane.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 SILICATOS SOLÚVEIS.....	2
2.2 QUÍMICA E ESPECIAÇÃO DO SILÍCIO EM SOLUÇÃO	3
2.3 ABSORÇÃO E TRANSPORTE DO SI PELAS PLANTAS	7
2.4 HIPÓTESES DO AUMENTO DA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS NUTRIDAS COM SILÍCIO	9
2.4.1 Barreira física.....	9
2.4.2 Barreira química.....	11
2.5 EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILICATOS SOLÚVEIS	13
2.6 EFEITO DO PH DE CALDA NA EFICIÊNCIA DO CONTROLE DE DOENÇAS	16
2.7 ADUBAÇÃO FOLIAR NA CAFEICULTURA	17
2.8 QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFÉ.....	19
2.9 DOENÇAS DA PARTE AÉREA DO CAFEIRO	20
2.9.1 Ferrugem do café	20
2.9.2 Cercosporiose	22
2.9.3 Mancha de <i>Phoma</i> e <i>Ascochyta</i>	23
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO 1: PULVERIZAÇÃO COM SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL NA NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFÉ.....	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
1 INTRODUÇÃO	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1 Maturação dos frutos de café.....	39
3.2 Rendimento de grãos de café	41
3.3 Produção de grãos de café.....	42
3.4 Classificação dos grãos por peneiras.....	44
3.5 Qualidade da bebida do café.....	46

3.6 Correlações dos teores foliares de Si e K com atributos de qualidade da bebida do café	48
4 CONCLUSÕES	53
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

CAPÍTULO 2: APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL NA PRODUÇÃO DE COMPOSTOS DE DEFESA E NO CONTROLE DE FERRUGEM DO CAFEIEIRO (*Hemileia Vastatrix*)

RESUMO	57
ABSTRACT	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
3.1 Correlações do Si e K foliares com ferrugem, fenólicos e produção	71
4 CONCLUSÕES	74
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

CAPÍTULO 3: ASSOCIAÇÃO DO SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL COM FUNGICIDA E SAIS DE MICRONUTRIENTES NA PROTEÇÃO E NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO.....

RESUMO	78
ABSTRACT	79
1 INTRODUÇÃO	80
2 MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1 Experimento 1: Associação do silicato líquido solúvel com fungicida	81
2.2 Experimento 2: Associação de silício líquido solúvel com sais de micronutrientes	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.1 Associação de silício líquido solúvel com fungicida	85
3.2 Associação de silício líquido solúvel com sais de micronutrientes.....	90
4 CONCLUSÕES	94
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

RESUMO GERAL

FIGUEIREDO, Felipe Campos. **Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel**. 2007. 97p. (Tese de Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

Foram conduzidos três experimentos sendo que o primeiro teve o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação foliar de fontes e doses de silicato de potássio líquido solúvel (Meta e Sili-K) sobre a ferrugem, compostos de defesa, produção e qualidade e de bebida do café. O segundo objetivou avaliar a associação da melhor fonte de silício líquido solúvel (Sili-K), com fungicida no controle de doenças e o terceiro foi avaliar a absorção de micronutrientes, quando estes estiverem associados ao Sili-K na calda de pulverização e comparar com outras caldas. Foi possível concluir que a aplicação foliar com silício líquido solúvel influenciaram a proporção dos diferentes estádios de maturação dos frutos, que afetou o rendimento e produção do café. O Meta foi significativamente inferior ao Sili-K, ao reduzir as peneiras altas na safra de alta produção enquanto o Sili-K elevou a proporção destas na safra de baixa produção; os melhores efeitos foram observados entre as doses de 1710 e 5000 mg L⁻¹. Na mesma faixa de dose e independente da fonte utilizada, houve melhoria das notas de “acidez” e “balanço” da bebida na safra de baixa e do “corpo” da bebida, independente da safra. Os teores de Si e K na folha relacionaram indiretamente com a qualidade de bebida na safra de baixa produção e na amenização da bienalidade de produção do café. As fontes e doses de silicato de potássio líquido solúvel não elevaram dos teores foliares de Si e K, apesar dos teores destes, relacionarem, positivamente, com a produção da safra seguinte. O Sili-K se mostrou superior ao Meta na redução da incidência da ferrugem, no entanto, houve redução da severidade da doença independente da fonte. As imagens de microscopia eletrônica evidenciaram um maior recobrimento das superfícies foliares com aumento das doses de Si. O aumento dos teores de Si e K e a redução dos teores de fenóis totais estão ligados à elevação da produtividade na safra seguinte, podendo, futuramente ser considerados índices de potencial produtivo do café. Na associação de 2L ha⁻¹ silício líquido solúvel (Sili-K) com a metade da dose recomendada de fungicida (750mL ha⁻¹ do epoxiconazole + pyraclostrobin) na calda, houve controle da ferrugem e a cercosporiose semelhante à dose

¹ **Comitê Orientador:** Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães (Orientador) – CTSM/EPAMIG, Prof^a Dr^a Janice Guedes de Carvalho DCS/UFLA (Co-orientadora).

recomendada do fungicida ($1,5 \text{ L ha}^{-1}$ e $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ na 1ª e 2ª aplicação, respectivamente). A ocorrência das doenças foliares não esteve relacionado com os teores foliares de K ou Si. A mistura de micronutrientes com silício líquido solúvel na calda aumentou a absorção de Cu, 30 dias após a aplicação, e foi semelhante à Calda Viçosa quanto ao fornecimento de B, Zn e Mn.

GENERAL ABSTRACT

FIGUEIREDO, F. C. **Nutrition, protection and quality of the beverage of coffee under the spraying of soluble liquid potassium silicate.** 2007. 97 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras.¹

Three experiments were conducted so that the first one had as objective to evaluate the effects of the foliar spraying of sources and doses of soluble liquid potassium silicate (Meta e Sili-K) on the coffee leaf rust, compounds of defense, production and quality and the coffee beverage. The second experiment aimed to evaluate the association of the better source of soluble liquid silicon (Sili-K) with fungicide in the control of diseases, and the third experiment evaluated the absorption of micronutrients when they are associated with Sili-K in the spraying solution and comparing it with other solutions. It was possible to conclude that the foliar spraying with soluble liquid silicon had influenced the ratio of different stages of the maturation of the fruits that affected the income and production of coffee. The Meta was significantly inferior to Sili-K when reducing high sieve in the high production harvest while the Sili-K raised the ratio of these sieve in the low production harvest; the best effects were observed between the doses of 1710 and 5000 mg L⁻¹. In the same rate of dose and independent of the source used, there was improvement of the grades of “acidity” and “balance” of the beverage in the low harvest, and of the “body” of the beverage independent of the harvest. Contents of Si and K in leaf were indirectly related with the quality of the beverage in the low production harvest and in the relaxation of the biennial of the coffee production. The sources and doses of potassium silicate did not raise from the foliar contents of Si and K in spite of their contents to be positively related to the production the next harvest. The Sili-K has showed itself superior to Meta in the reduction of the incidence of the coffee rust, however, there was reduction of disease severity independent from the source. The images of electronic microscopy made evident a larger recovering of the foliar surfaces with increase of the Si doses. The increase of Si and K contents and the reduction of the contents of total phenols are connected with the rise of productivity in the following harvest and can be further considered indexes of productive potential of coffee. In the association of 2 L ha⁻¹ of soluble liquid silicon (Sili-K) with half of the prescribed dose of fungicide (750ml ha⁻¹ of epoxiconazole + pyraclostrobin) in the solution, rust and brown-

¹ **Guidance Committee:** Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães (Adviser) – EPAMIG, Prof^a Dr^a Janice Guedes de Carvalho DCS/UFLA (Co-Adviser).

eye-spot were controlled similar to the prescribed dose of fungicide (1,5 L ha⁻¹ and 1 L ha⁻¹ in the 1st and 2nd application respectively).The occurrence of foliar diseases was not related to the foliar contents of K or Si. The mixture of micronutrients with soluble liquid silicon in solution had increased the absorption of Cu, 30 days after the application and it was similar to the Viçosa solution concerning to the supplying of B, Zn and Mn.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O silício (Si) é encontrado nos tecidos de todas as plantas variando de 0,1 a 10% em matéria seca, concentrando-se nos tecidos-suporte do caule e das folhas, mas também pode ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Esse elemento ainda não foi considerado como nutriente das plantas, porque a sua função ainda não foi esclarecida, porém é considerado um elemento benéfico (Epstein, 1999), pois, mesmo não sendo um elemento essencial para as plantas, sua absorção traz inúmeros benefícios. São reconhecidas as suas influências na resistência das plantas ao ataque de insetos, nematóides, bactérias e fungos, na melhoria do estado nutricional e redistribuição dos nutrientes, na redução da transpiração e, também, em alguns aspectos da eficiência fotossintética.

As plantas podem ser classificadas como acumuladoras e não acumuladoras de Si, de acordo com suas habilidades e podem ser avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0 as plantas são consideradas acumuladoras; entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias; e menor do que 0,5, não acumuladoras (Miyake & Takahashi, 1983; Ma et al., 2001).

Várias classes de solo da região central do Brasil, principalmente nas áreas sob vegetação de cerrado, são pobres em matéria orgânica e Si disponível para as plantas (Raij e Camargo, 1973; Korndörfer et al., 2004), nessas condições, pode-se esperar respostas das plantas à aplicação de Si na forma de fertilizantes.

O suprimento dessas demandas podem ser compensados pela adição de fertilizantes com Si disponíveis no mercado, que apresentam características bastante distintas. Dentre estas, o silício líquido solúvel, na forma de silicato de potássio é ainda pouco estudado apesar de possuir um potencial de utilização muito grande, especialmente, nas condições onde a sua solubilidade é um diferencial como fertirrigação, hidroponia e aplicações foliares.

A nutrição foliar com micronutrientes vem sendo intensamente utilizada na cafeicultura brasileira. Com isso, a aplicação do Si, na forma solúvel poderá ser inserida, aproveitando as aplicações, incorporando um agente de controle de patógenos e melhoria da produção e qualidade do café.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Silicatos Solúveis

Os silicatos solúveis são fontes obtidas da fusão da sílica (SiO_2) com hidróxidos ou carbonatos de sódio ou potássio em fornos pressurizados. Desse modo são obtidas as principais fontes de silicatos solúveis que são os silicatos de sódio (Na_2SiO_3) e potássio (K_2SiO_3). Os silicatos solúveis são fontes promissoras e eminentes de serem adotadas como insumos de produção, que ofereçam as vantagens da nutrição com Si e, ainda, oferecem possibilidade de serem utilizados na fertirrigação, hidroponia, via foliar e no solo. Por serem totalmente solúveis são capazes de fornecer Si, prontamente absorvível pelas plantas, o que reduz a quantidade a ser utilizada do produto. A legislação brasileira de fertilizantes admite o uso do silício como micronutriente, mas, das fontes solúveis, somente o silicato de potássio é liberado para utilização agrícola (Brasil, 2006). Por isso, as pesquisas com silicatos de potássio no Brasil são bastante incipientes. No mundo, a pesquisa não é recente, pois, na estação de Rothmsted, na Inglaterra, foi implantado um experimento com silicato de sódio no século 19 e, até hoje, continua sendo conduzido. Na época o intuito era fornecer sódio, pois os pesquisadores acreditavam na essencialidade deste nutriente. Mas, com o passar dos anos, as parcelas que continham Si produziam

mais e possuíam disponibilidade de P também maiores, perdurando esses resultados por mais de 100 anos de condução do mesmo experimento (Russel, 1976). O principal enfoque das pesquisas com fontes solúveis é o controle de doenças e pragas, principalmente, por serem estes agentes que, potencialmente, mais reduzem a produção das culturas.

2.2 Química e Especiação do Silício em Solução

O silício pode estar presente na forma de ácidos monossilícicos e polissilícicos. Dentre os ácidos monossilícicos, existem os ácidos metassilícico e ortossilícico. O ácido metassilícico (H_2SiO_3), é um ácido fraco. O ácido ortossilícico (H_4SiO_4) é, também, um ácido fraco. Entretanto, quando uma solução de ortossilicato de sódio e/ou potássio é acidificada, precipita-se na forma de sílica gel, ao invés de formar o H_4SiO_4 .

A sílica (SiO_2) somente é solúvel em água sob condições de pH alcalino (Atkins & Jones, 2006; Knight & Kinrade, 2001; Coradin & Lopez, 2003; PQ Corporation, 2006). A solubilidade da sílica é observada em maior escala em pH acima de 9,6 (Anderson et al., 1982).

Para melhor explicar a solubilidade dos silicatos em meio aquoso, Knight & Kinrade (2001) apresentam um diagrama, que relaciona a concentração de silício e o pH nas diferentes formas de silício em solução (Figura 1).

Em concentrações acima de $10^{-2,74}$ mol kg^{-1} de Si ou 51,13 mg L^{-1} e acima do primeiro pKa do H_4SiO_4 , que se dá no pH 9,6, predominam as soluções monoméricas, que representam o domínio solúvel. Abaixo deste pH predominam as soluções oligoméricas e o domínio insolúvel representado por grandes polímeros de sílica. Isso é especialmente importante para se entender o comportamento das soluções de silício nas aplicações foliares, pois, a solução na

superfície foliar aos poucos vai se desidratando e a concentração vai aumentando e a sílica começa a polimerizar com compostos de cera e cutícula e formar um filme sobre a superfície foliar, constituindo uma barreira física à penetração de patógenos como comentado por Bowen et al. (1992).

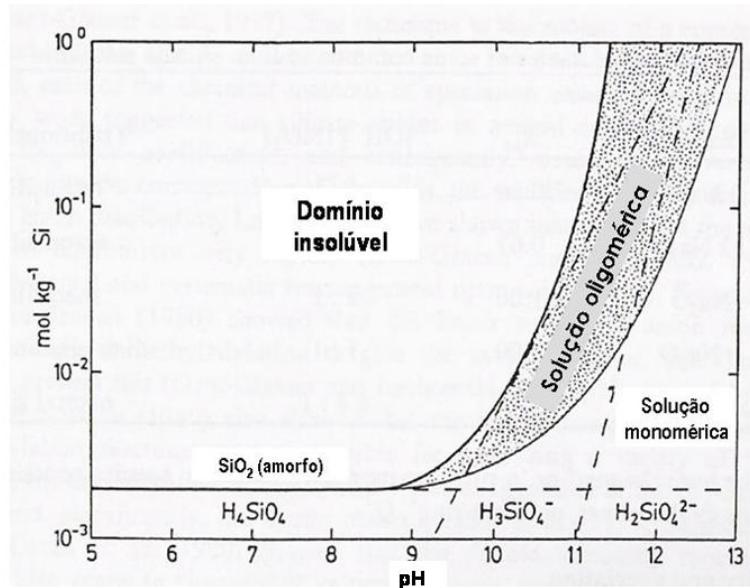


FIGURA 1. Diagrama de estabilidade de silicatos solúveis a 25°C. Os pontos de inserção das linhas tracejadas do eixo X correspondem aos primeiro e segundo pK_a do ácido silícico (Knight & Kinrade, 2001).

Parte destes polímeros pode solubilizar novamente por ação do orvalho ou das chuvas, que por um lado, auxiliam a absorção foliar de silício, mas que também lava esta sílica da superfície foliar. Considerando que as soluções de silício líquido solúvel, na forma de silicato de potássio não possuem boa adesividade e que o silício não é redistribuído (Missio et al., 2005b), sugere-se que a utilização deve estar sempre associada a um bom espalhante adesivo e reaplicada de modo a manter o enfolhamento novo protegido, repondo o silício que foi removido (Reis et al., 2007).

Adicionalmente, o potencial de polimerização do silício depende, também, da relação sílica:hidróxido podendo a concentração de sólidos da fonte solúvel ser observada na Figura 2. Essa relação define a influência indireta do pH, pois quanto menor a relação sílica:hidróxido maior é o pH.

Nas concentrações abaixo de $10^{-2,74}$ mol kg⁻¹ de Si ou 51,13 mg L⁻¹ predominam as espécies iônicas de silício, as quais, também são dependentes de pH, mas que não possuem potencial de polimerização, permitindo reduzir o pH da solução sem o inconveniente de formar precipitados (Figura 3).

Neste diagrama, observa-se que em pH baixos, o H₄SiO₄ predomina e o equilíbrio com a forma H₃SiO₄⁻ ocorre à pH 9,6 (pKa1). A partir do pH 11 inicia a formação de H₂SiO₄²⁻ que por sua vez estará em equilíbrio com o H₃SiO₄⁻ no pH próximo à 14 (pKa2). Em pH de cultivo, somente em concentrações abaixo de 51 mg L⁻¹ de Si é possível existir o ácido monossilícico (H₄SiO₄), que é a forma absorvida pelas raízes. Não por acaso, muitos trabalhos mostram que as melhores concentrações estão abaixo dessa concentração como revisado por Bélanger et al. (1995).

O principal parâmetro que controla a cinética da polimerização de sílica é o pH. A taxa mínima de polimerização é obtida a pH 2. Essa taxa aumenta em duas vezes sua magnitude com valores de pH entre 3 a 5 e, mais duas vezes, com valores de pH entre 6 e 9. Em valores abaixo de pH 2, a polimerização do ácido silícico é uma reação de segunda ordem e, conseqüentemente, a velocidade da reação aumenta rapidamente com o aumento da concentração do ácido silícico. Por exemplo, a pH 7, uma solução de ácido silícico a 0,5 mol L⁻¹ forma gel em apenas cinco minutos a temperatura ambiente. No entanto, uma solução 0,1 mol L⁻¹, nas mesmas condições, não apresenta a formação de gel após muitas horas, se não houver elevação da temperatura, que pode acelerar o processo de polimerização (Coradin & Lopez, 2003).

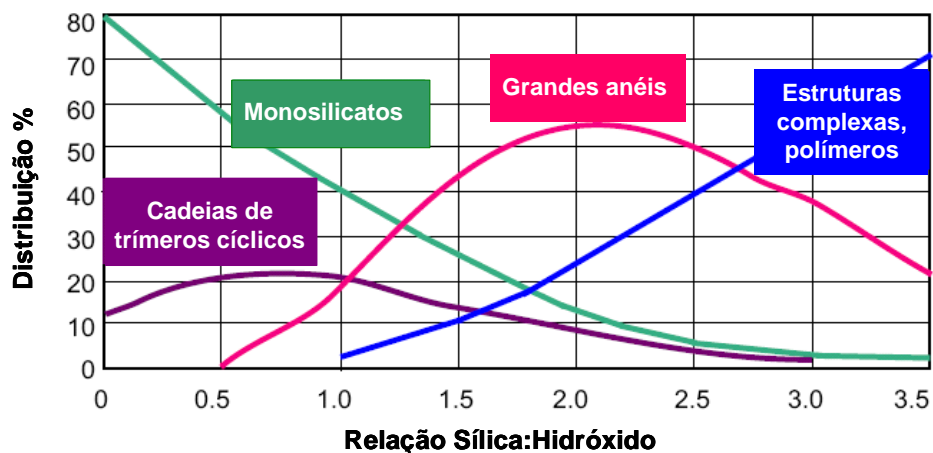


FIGURA 2. Interpretação qualitativa do equilíbrio e distribuição de ânion silicato, em solução com concentração de 1 mol L^{-1} (Adaptado de PQ Corporation, 2006).

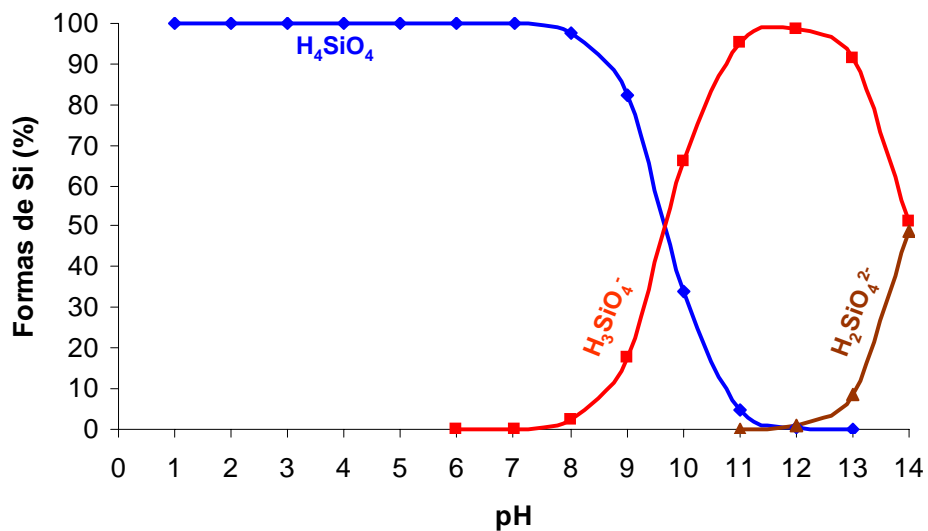


FIGURA 3. Especiação iônica do ácido silícico em função do pH da solução feito com auxílio do programa Visual Minteq[®] v. 2,54 (Department of Land and Water Resources Engineering - KTH, 2007).

Os cátions metálicos também são agentes que podem acelerar o processo de condensação e formação de sílica gel, especialmente, abaixo de pH 7 (Coradin & Lopez, 2003). Os cátions interagem com as cargas negativas dos silicatos e exibem as cargas de superfície das partículas, o qual favorece a agregação que ocorre devido à adsorção de polímeros na superfície da partícula, que reduz a repulsão eletrostática entre as partículas (coagulação). Se mais polímeros são adsorvidos na superfície das partículas, o balanço de cargas da mesma torna-se positiva, promovendo a re-dispersão da sílica coloidal “sílica sol”, formando uma solução estável. Entretanto, a adição de pequena concentração de NaCl pode favorecer a formação de gel ou floculação e precipitação, caso longas cadeias de polímeros se liguem a outras partículas (Coradin & Lopez, 2003).

2.3 Absorção e Transporte do Si pelas Plantas

Em relação à absorção do Si nas partes das plantas, tanto radicular quanto foliar, ainda não são conhecidas “claramente” as influências dessas formas iônicas. Do ponto de vista prático, a absorção radicular será somente da forma do ácido monossilícico neutro (H_4SiO_4), devido às condições de pH da maioria dos solos cultivados. Isso não significa que as formas aniônicas (H_3SiO_4^- e $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$) não são eficientes em suprir a planta em Si, mesmo porque, nas condições dos solos cultiváveis essas formas não estariam presentes, conforme demonstrado na Figura 3. No entanto, em relação à influência das formas disponíveis em solução sobre a eficiência no suprimento de Si para as plantas em aplicações foliares devem ser melhor estudadas. Pela literatura sabe-se que o Si é absorvido pelas raízes na forma de H_4SiO_4 e ácido dissilícico [$(\text{OH})_3\text{Si-O-Si}(\text{OH})_3$] numa proporção de aproximadamente 7:1 no trigo (Casey et al., 2003).

Nas plantas acumuladoras, o transporte de Si é ativo e coordenado pelo gene *LSII*, enquanto naquelas não acumuladoras como o cafeeiro a absorção se dá por difusão passiva e em menor proporção (Mitani et al., 2005).

Segundo Balastra et al. (1989), o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos após esta evaporação da água não ocorrendo redistribuição para outras partes da planta (Miyake & Takahashi, 1983; Ma & Takahashi, 1990a e 1990b), à semelhança do Ca e do B. Dentro da planta, mais de 90% do silício existente encontra-se insolúvel, na forma de sílica-gel ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (Parry & Smithson, 1964).

Isto tem implicações práticas quanto à forma de suprimento deste nutriente. Sua disponibilidade deve ser constante às raízes, para garantir o seu suprimento para o desenvolvimento vegetal. Via foliar, as reaplicações devem ser realizadas de modo a cobrir o novo enfolhamento e repor o antigo lavado pela chuva, além proporcionar uma cobertura constante sobre a superfície conseguida pela associação de espalhante adesivos à calda (Reis et al., 2007).

De maneira geral, quando se reduz o pH da calda de pulverização não se confirmam os resultados esperados no controle de doenças foliares, como relatado por diversos autores (Missio et al., 2005a; Missio et al., 2005b; Zambolin et al., 2005). Isto acontece devido à formação de ácido monossilícico ou estruturas complexas incapazes de formar polímeros de Si, com compostos de cutícula na superfície foliar. Isto indica que o fornecimento de Si não depende somente da quantidade deste, mas das formas aniônicas de silicato na solução (H_4SiO_4 , H_3SiO_4^- e $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$) que podem proporcionar resultados fitotécnicos totalmente diferentes. Apesar de não confirmada, pode existir a absorção de ácido monossilícico via foliar, à semelhança do ácido bórico ou mesmo a formação de compostos da reação de H_3SiO_4^- ou $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ com cátions ou aminoácidos promovendo a absorção do Si via foliar ou mesmo, favorecendo a

absorção destes cátions, para equilibrar de cargas elétricas das células. Mas essas hipóteses ainda necessitam de confirmação da pesquisa.

2.4 Hipóteses do Aumento da Resistência das Plantas Nutridas com Silício

2.4.1 Barreira física

Ao ser absorvido, o silício se acumula nos pontos de transpiração e nas paredes dos vasos do xilema (Balastra et al., 1989). Isto pode ser importante para prevenir a compressão dos vasos xilemáticos, quando a taxa de transpiração é elevada (Raven, 1983). A silicificação pela deposição de Si sobre as células epidérmicas, dificulta a penetração do tubo infectivo dos fungos, agindo, assim, como uma barreira mecânica (Wagner, 1940 citado por Lima Filho et al., 1999). Porém, a maior concentração de estudos, primeiramente, foi com as gramíneas, plantas acumuladoras de Si e, segundo diversos autores, desenvolveram uma barreira física logo abaixo da epiderme impedindo a penetração dos patógenos (Bidwell, 1974; Malavolta, 1980; Marschner, 1986; Takahashi, 1995; Fawe et al., 2001), conforme é representado esquematicamente na Figura 4.

Essa barreira, no entanto, pode ser descontínua nas plantas acumuladoras como o arroz (Figura 5A), deixando espaços vazios e, por isso, alguns pesquisadores afirmam que a barreira química (indução de resistência) seja mais efetiva que a barreira física (Heine et al., 2006; Bélanger et al., 2003). Essa afirmação pode estar sustentada pelo fato de que o fornecimento de Si via raiz, suprima o patógeno por elevar a atividade de peroxidase, polifenoxidase e quitinase. Mas, o mesmo efeito de supressão míldio do pepineiro pode ocorrer com aplicações foliares de Si, mesmo que esta não seja capaz de elevar a produção desses compostos de resistência (Liang et al., 2005).

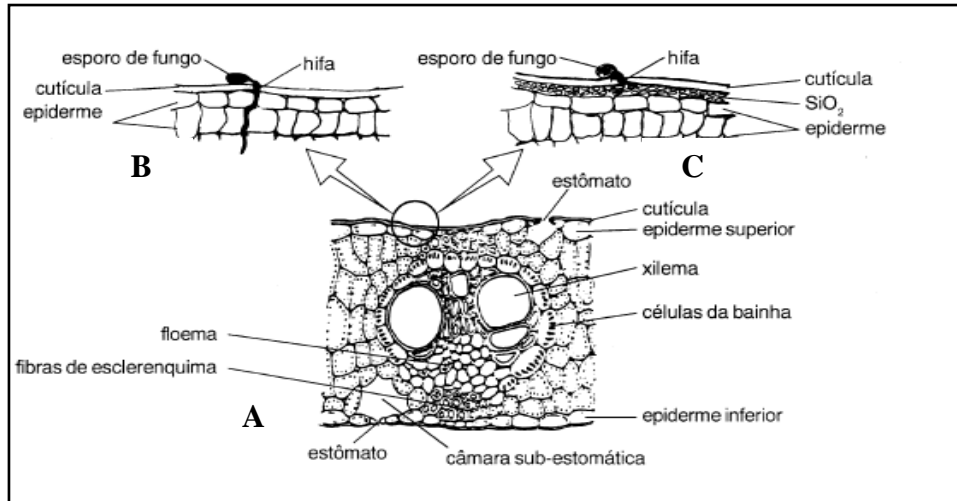


FIGURA 4. Corte transversal do limbo foliar de monocotiledônea (A); Desenvolvimento de hifa de fungo em tecido foliar sem acúmulo de sílica (B); Camada de sílica abaixo da cutícula, dificultando o desenvolvimento da hifa (C) (Bidwell, 1974).

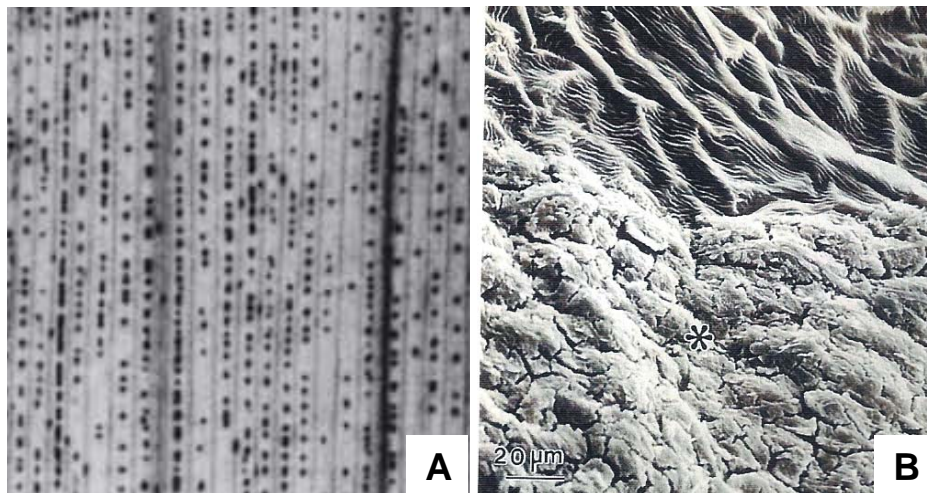


FIGURA 5. Característica da deposição desuniforme de silício fornecido via solo em arroz (A) (Ma & Yamaji, 2006) e via foliar em uva (B), onde, no asterisco é possível visualizar a camada de silício sobre a folha em relação à superfície acima sem esta camada (Bowen et al., 1992).

Deste modo, esse efeito pode ser atribuído à formação de um filme de polímeros do silício e compostos de cutícula (Figura 5b), constituindo uma barreira física eficiente sobre a superfície foliar, dificultando a penetração de fungos (Bowen et al., 1992). Assim, as dicotiledôneas não acumuladoras, como o café, podem se beneficiar do silício de forma tão eficiente quanto as acumuladoras.

2.4.2 Barreira química

O Si pode agir como elemento indutor de mecanismos de defesa da planta pela ativação de vários compostos, incluindo síntese de fenólicos e lignina, suberina e calose na parede celular das plantas (Samuels et al., 1991; Vidhyasekaran, 1997; Menzies et al., 1991). O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e a mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra patógenos e, a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (Menzies et al., 1991). Vários trabalhos sugerem que o Si tenha um papel ativo, reforçando a resistência das plantas a doenças por estimular a expressão de reações de defesa naturais da planta. Alguns desses metabólitos identificados como flavonóides e ácidos fenólicos eram especificamente e fortemente induzidos em um padrão típico de fitotoxinas. Chérif et al. (1994a) observaram rápida ativação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase após infecção por *Pythium* spp. O número de células infectadas por oídio e o tempo de acúmulo dos compostos fenólicos nas células infectadas foram consideravelmente reduzidos, quando o Si foi retirado do meio, ou seja, com a omissão do fornecimento de Si (Samuels et al., 1991).

A indução da resistência pode se dar naturalmente pelo patógeno, iniciando o processo pela explosão oxidativa, que é uma resposta de defesa da planta após o reconhecimento do patógeno, conduzindo à reação de hipersensibilidade (HR). Esta resposta é devido à geração de espécies ativas de oxigênio, tais como H_2O_2 , O_2^- , e OH^\cdot . As espécies ativas de oxigênio possuem várias funções na resposta de defesa da planta. Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) pode ser diretamente tóxico ao patógeno e está envolvido com o fortalecimento da parede celular, uma vez que o H_2O_2 é necessário para a biosíntese de lignina. O peróxido de hidrogênio atua, também, como mensageiro secundário, sendo responsável pela ativação da hidrolase do ácido benzóico, enzima responsável pela conversão do ácido benzóico em ácido salicílico. A explosão oxidativa não está confinada somente à HR macroscópica, uma vez que explosões oxidativas secundárias poderão ocorrer nos tecidos distantes, causando micro-HR's e conduzindo à resistência sistêmica adquirida (SAR), a qual é mediada pelo ácido salicílico como um sinal. Portanto, a ocorrência de HR e SAR é dependente da cascata de sinalização derivada da explosão oxidativa, que por sua vez é um evento inicial na resposta da planta contra a invasão do patógeno (Resende et al., 2003).

Os compostos fenólicos são substratos para a biosíntese da lignina que é um importante componente na resistência de plantas a patógenos, pois além da barreira química, também limita a ação destes, pela formação de barreira física como componente estrutural (Taiz & Zeiger, 2004). No entanto, a indução de resistência sem a presença do patógeno pode gerar um custo energético que pode comprometer parte da produção das culturas (Iriti & Faoro, 2003). O nitrogênio, provavelmente, seja o principal dreno deste custo energético da indução, pois, os mecanismos de resistência são baseados na síntese e complexação de proteínas por fenólicos (Taiz & Zeiger, 2004) e enzimas, que são envolvidas nas diferentes

rotas metabólicas, o que demanda maior suprimento exógeno de nitrogênio (Dietrich et al., 2005).

Assim, pode se inferir que a indução de resistência pelo Si nas plantas acumuladoras deste elemento, tenha um mecanismo regulatório que evita a indução não desejada, uma vez que este evento co-evoluiu com os patógenos que acometem estas culturas sem, no entanto, causar um custo energético tão expressivo já que o Si se acumula naturalmente na ausência de patógenos.

Como a aplicação foliar de silício solúvel talvez não seja capaz de induzir compostos de resistência (Liang et al., 2005), isto representa um ganho energético considerável, mantendo um controle semelhante às plantas induzidas. Neste contexto, o cafeeiro poderia ser beneficiado pela tecnologia de aplicação de silício solúvel via foliar, mesmo não sendo acumuladora de Si.

2.5 Efeito da Aplicação Foliar de Silicatos Solúveis

A aplicação foliar de fontes de silicato solúveis têm sido foco de várias pesquisas, pela sua praticidade e possibilidade da utilização de doses menores, passíveis de utilização em equipamentos normalmente utilizados pelos produtores.

Os resultados são bastante promissores em várias culturas, mesmo naquelas não são acumuladoras do elemento. Em plantas de morango, a aplicação foliar de silicato de potássio proporcionou um aumento no conteúdo de clorofila e no crescimento de plantas (Wang & Galletta, 1998). O silicato de potássio aplicado via foliar aumentou, significativamente a matéria seca da parte aérea e raízes, quando comparadas ao controle. Esse aumento evidente do crescimento ocorreu mesmo na menor dose de silicato de potássio aplicado (4,25 mM) e foi creditado à maior elasticidade dos tecidos e volume de água simplástica que promoveram a uma maior expansão celular e o crescimento das

plantas (Emadian & Newton, 1989). O tratamento com silicato de potássio foliar afetou, positivamente, o metabolismo do morangueiro por incrementar os níveis de ácido cítrico e málico e redução no conteúdo de frutose, glicose e sacarose.

A intensidade do oídio (*Uncinula necator*) na videira foi significativamente menor nas plantas pulverizadas com silicato de potássio em relação à testemunha (Bowen et al., 1992). Neste trabalho, a microscopia eletrônica mostrou uma camada espessa de Si, na superfície das folhas pulverizadas, que, provavelmente, impediram o crescimento da hifa do patógeno. A redução da severidade do oídio da videira foi atribuída em parte pela formação da barreira física encontrada nas folhas e, também, à migração e deposição de Si nos sítios de penetração do fungo, mesmo quando aplicado via foliar.

Em comparação de fontes de Si solúvel foliar Gama et al. (2003), concluíram que a aplicação de silicato de potássio em pepineiros inoculados com o fungo oídio (*Erysiphe cichoracearum*) reduziu a incidência e a severidade da doença, em relação à testemunha e do silicato de sódio. Isso pode ser explicado pela maior eficiência do silicato de potássio, em relação ao silicato de sódio em fornecer Si às plantas de pepino.

Em outra cucurbitácea, a abóbora, a aplicação de silicato de potássio em solução nutritiva, bem como em pulverizações foliares, também reduziu, significativamente, o número de colônias de *S. fuliginea* devido ao aumento do período latente (Menzies et al., 1992).

Apesar da maioria dos resultados mostrarem o efeito do silício na redução da incidência e severidade das doenças e, por consequência, no aumento da produtividade, alguns trabalhos mostram que o elemento Si favorece, por si só, o crescimento das plantas. Neste cenário se destacam as fontes solúveis de silicato de sódio e silicato de potássio. No trabalho realizado por Khan & Roy (1964) ficou evidenciado um efeito significativo do Si no crescimento e rendimento da planta de juta (*Corchorus capsularis*). O comprimento da fibra,

espessura e a relação comprimento/espessura melhoraram, significativamente, com a aplicação do silicato de sódio.

Trabalhos realizados na Universidade Federal de Uberlândia demonstraram a aplicabilidade das diversas fontes silicatadas via foliar, na redução do progresso de doenças foliares da cenoura (Ramos et al., 2003) e requeima (*Phytophthora infestans*) da batateira (Carneiro et al., 2003).

Benedetti et al. (2007) observaram que as plantas de cenoura tratadas com silicato de potássio foliar tinham maior ângulo da folha em relação ao solo indicando que as plantas estavam mais eretas e, assim, interceptavam a luz com maior eficiência, já que a luminosidade tinha maior penetração no dossel da cultura. Em consequência, as plantas produziram raízes, diâmetro, comprimento e peso maiores.

De forma semelhante, Duarte et al. (2007) verificaram que a associação de silicato de potássio com fungicidas foliares foi capaz de elevar a proporção de batata extra e dos teores de sólidos solúveis, devido ao aumento da atividade fotossintética das plantas tratadas com Si. E, assim como ocorreu na cenoura, as plantas da batata ficaram mais eretas, à medida que aumentaram as doses e os teores foliares de Si (Carvalho Junior et al., 2007).

Sousa et al., (2007) concluíram que o silicato de potássio pode ser uma alternativa eficiente para o controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja. A dose de 3L ha⁻¹ aplicados em R5 e R5.1 elevou a produtividade em 24% em relação à testemunha.

2.6 Efeito do pH de Calda na Eficiência do Controle de Doenças

A maioria dos fungicidas possuem a na sua recomendação a necessidade de manter o pH levemente ácido para maior eficiência do mesmo (WINFIT BMS, 2007).

A alcalinidade da calda de silicato de potássio, poderia inviabilizar a sua associação com fungicidas. Entretanto, San Juan & Matiello (2006) concluíram que caldas básicas ou ácidas não afetaram a eficiência do fungicida cyproconazole + trifloxistrobin no controle da ferrugem do cafeeiro. Em outro trabalho, Carvalho Junior et al. (2007) mostraram que esta associação do silicato de potássio com diversos fungicidas triazóis proporcionou menor severidade da ferrugem asiática da soja comparada à aplicação do fungicida isolado. No trabalho de Nascimento et al. (2005) foi observado que a mistura do silicato de potássio com fungicida não prejudicou o controle da ferrugem asiática da soja.

No cafeeiro existem poucos trabalhos, porém, a utilização de fontes solúveis como o silicato de potássio apresenta potencial no manejo integrado de doenças. A maioria das pesquisas não exploraram as razões das variações das respostas, apesar de existir argumentos para tais questionamentos.

Missio et al. (2005a) testaram a influência do pH da calda de pulverização, concluindo que o 60 g L⁻¹ de silicato de potássio à pH de 10,5 não deferiram estatisticamente do tratamento com pH corrigido para 5,5 e fungicida. Mas os valores mostraram uma tendência de melhoria do controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no pH próximo ao natural que é de 10,5.

Outro questionamento está na inviabilidade desta redução de pH pelo fato de se gastar uma quantidade expressiva de ácido e da polimerização que ocorre, quando se utiliza uma concentração tão elevada. Essas afirmações se consolidam em outro trabalho realizado por Missio et al. (2005b), em condição de campo, onde a correção de pH da calda de pulverização prejudicou a eficácia

do silicato de potássio, no controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) e, também, do controle da mancha angular do feijoeiro (*Isariopsis griseola*) (Rodrigues et al., 2005a).

2.7 Adubação Foliar na Cafeicultura

A capacidade das folhas das plantas em absorver os nutrientes, deu origem à prática da adubação foliar, em que soluções de um ou mais nutrientes são pulverizados sobre a parte aérea das plantas, atingindo, principalmente as folhas (Volkweiss, 1991). Estudos realizados por Boareto & Rosolem (1989) levaram a concluir que a adubação foliar com micronutrientes era um recurso eficaz e econômico no controle de deficiência em cafeeiro, citros e outras plantas frutíferas perenes, podendo ser recomendada em programas de adubação, desde que houvesse controle das necessidades das plantas e se utilizassem produtos específicos.

A adição de micronutrientes tornou-se prática obrigatória na cafeicultura moderna, perante o avanço de plantio em solos de baixa fertilidade e matéria orgânica aliados a omissão ou mal emprego de micronutrientes como o boro, cobre e zinco. Seja pela falta de adubações foliares ou mesmo de adubações de solo com micronutrientes, a produtividade dos cafezais brasileiros tem sido comprometida (Guimarães et al., 2002).

A eficiência da adubação foliar depende de fatores associados à planta. Assim, a absorção se dá em folhas com cutícula menos espessa, aplicação superfície inferior folhas, pois, normalmente, possui maior quantidade de estômatos. As folhas novas também são mais ativas metabolicamente e absorvem mais nutrientes. Uma maior umidade ou molhabilidade da superfície foliar, umidade alta, luminosidade, temperaturas amenas, plantas com menores reservas

nutricionais em estágio de crescimento vegetativo rápido absorvem melhor os nutrientes aplicados via foliar (Malavolta, 2006).

Quanto aos fatores que melhoram a absorção existem aqueles associados à solução. A maior velocidade de absorção ocorre com uma maior concentração de nutrientes até o V_{max} de cada nutriente. Em ordem decrescente, o tempo para absorção de 50% do nutriente aplicado é: Zn, Mn, Fe, Mg, Ca, $K=NH_4$. A concentração total da calda não deve passar 2% em alto volume de calda, (Malavolta, 2006).

O pH de calda também pode influenciar a absorção de sais com micronutrientes normalmente utilizados na cafeicultura. De modo geral, soluções com pH de calda inferiores a 7 facilitam a absorção de ânions enquanto aquelas acima da neutralidade, favorecem a de cátions, pela redução da atividade do H^+ , conservando a integridade funcional da membrana celular e reduzindo a competição pelos sítios de adsorção com outros cátions. Concomitantemente, o pH alcalino da calda pode elevar a CTC da cutícula foliar, auxiliando a absorção dos micronutrientes catiônicos aplicados em pulverização. Porém, os ânions como o cloreto e silicato podem ter a sua absorção prejudicada (Malavolta, 2006).

Na cafeicultura é comum o uso de micronutrientes em pulverização foliar. Quando necessário, recomenda-se de 2 a 4 aplicações foliares da calda de pulverização, contendo sulfato de zinco, ácido bórico, sulfato de manganês, oxicloreto de cobre na concentração de 0,3% de cada fonte. Nesta situação recomenda-se o uso de cloreto de potássio a 0,3% com a intenção de fornecer Cl^- e amenizar a inibição competitiva da absorção do Zn pelo B e Cu (Guimarães et al., 1999; Malavolta, 2006).

2.8 Qualidade da Bebida do Café

Os compostos químicos nos grãos de café são reflexos de uma série de atributos que, juntos, conferem a qualidade da bebida do café. Dentre eles podem-se destacar fatores genéticos e ambientais, as condições de manejo na produção e o processamento pós-colheita (Prete, 1992).

A fase de pré-colheita é muito importante, pois as plantas deverão estar bem nutridas e em boas condições fitossanitárias, para obtenção de frutos e grãos bem formados e constituídos. Uma lavoura mal conduzida durante o ciclo produtivo dará frutos imperfeitos, mal granados e chochos da mesma forma, quando sofre ataque de pragas e doenças, que provocam a desfolha da planta, prejudicando o suprimento dos frutos na fase de enchimento de grãos e, como consequência, a sua má formação e queda precoce (Pozza et al., 2004). Deste modo, o silício aplicado via foliar pode ser uma alternativa no controle de ferrugem e de outras doenças foliares do cafeeiro. Os benefícios da utilização do silício na agricultura vêm sendo cada vez mais reconhecidos e comprovados por cientistas do mundo inteiro. Esses benefícios incluem acréscimos na produtividade das culturas e na resistência destas aos estresses bióticos e abióticos (Bélanger et al., 1995).

Ao apresentar certo controle das doenças que acometem o cafeeiro, o silício, juntamente com o potássio, podem ser um dos agentes que influenciam a qualidade de bebida, pois a menor incidência de doenças preserva o enfolhamento da cultura, propiciando uma melhor uniformidade dos grãos que, por sua vez, tem relação direta com a qualidade de bebida do café (Carvalho & Chalfoun, 2000).

2.9 Doenças da Parte Aérea do Cafeeiro

2.9.1 Ferrugem do café

A ferrugem do cafeeiro, a *Hemileia vastatrix*, também chamada ferrugem alaranjada do cafeeiro, é considerada a mais grave e, por isso, a principal doença da cafeicultura brasileira. Possui uma correlação direta com a produção da safra seguinte, causando perdas que podem chegar a 35%, em condições favoráveis e chegar a 50% em condições de alta severidade da doença (Zambolim et al., 2005). Seu controle exige gastos anuais, onerando os custos de produção do café (Matiello & Almeida, 2006).

A ferrugem do cafeeiro é também conhecida como ferrugem alaranjada ou ferrugem verdadeira, cujo agente causal é *Hemileia vastatrix*. Os esporos da doença só germinam no escuro e na presença de água na forma líquida sobre a folha como gotas de orvalho ou chuva. Ela ocorre de 2 a 4 horas, mas para a penetração, o ideal é que esta condição permaneça de 24 a 48 horas. A temperatura é um fator de determina a germinação e penetração dos esporos. As temperatura mínima é de 12,5 a 15°C; a ótima de 22 a 23°C e a máxima de 28 a 32,5°C. As folhas novas não são susceptíveis à penetração, pois os estômatos são pouco desenvolvidos e por possuir uma espessa camada de cera. As folhas do 2º ao 4º pares são as mais suscetíveis e dentro delas, as bordas são mais atacadas pelo acúmulo de água nos bordos (Matiello & Almeida, 2006).

Os esporos emitem 2 a 3 tubos germinativos, que se dirigem para penetrar na abertura dos estômatos na superfície inferior da folha (Matiello & Almeida, 2006). O período de latência que compreende o intervalo entre a penetração do fungo na folha e o aparecimento da lesão é 27 a 30 dias no verão, em regiões de baixa altitude e de 60 a 70 dias em regiões mais frias. Apesar da evolução da doença ser mais lenta nas regiões mais frias, esta poderá atingir

“picos” de infecção danosos enquanto que nas regiões mais quentes, onde o progresso da doença é mais rápido pode existir abortamento das lesões e retardamento da evolução desta. Por isso, as condições ambientais que favorecem a produção de café, também são boas para ferrugem (Matiello & Almeida, 2006).

O nível de infecção da doença depende de três fatores ligados ao ambiente (clima), hospedeiro (cafeeiro) e ao patógeno. As condições de ambientais relacionadas com o macro e micro-clima possuem papel preponderante sobre o epidemiologia, com destaque à umidade e temperatura. Por isso, nas condições de campo, a ferrugem ocorre no período chuvoso de novembro a maio. Dentre os fatores ligados ao hospedeiro destaca-se a cultivar/variedade, estado nutricional das plantas, densidade de plantio, enfolhamento e a carga pendente (Matiello & Almeida, 2006). Assim, quanto maior a carga pendente, maior será a intensidade da doença e, também, o maior enfolhamento irá propiciar maior inoculo residual para o próximo ciclo da ferrugem. O adensamento de plantas propicia um microclima plenamente favorável ao desenvolvimento do fungo.

O manejo da doença deve envolver medidas que visam impedir a sua manifestação epidêmica, tais como, o plantio em condições desfavoráveis à doença como espaçamento que evita do sombreamento excessivo, correção da acidez e uso adequado de fertilizantes, visando o equilíbrio nutricional, plantio de variedades resistentes, monitoramento da incidência, observação de condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento e tratamento químico quando necessário. O controle químico se indica o uso de fungicidas protetores até 5% das folhas infectadas. De 5 a 12%, recomenda-se a utilização de fungicidas sistêmicos curativos (Zambolim, 2005). Neste sentido, o silício poderia ser inserido como uma ferramenta de manejo integrado, como agente protetor

devido à formação de uma película de sílica sobre a superfície após a secagem da calda pulverizada com silício líquido solúvel.

2.9.2 Cercosporiose

A cercosporiose é uma das doenças mais antigas do cafeeiro, tanto na América do Sul como na América Central. No Brasil, causa perdas de 15 a 30% na produtividade do café.

O agente causal dessa doença é o fungo *Cercospora coffeicola* Berk & Cook, que recebe várias denominações, dependendo da região onde incide, como: cercosporiose, mancha-de-olho-pardo, olho-de-pomba, olho-pardo e Brown-eye-spot. Os sintomas característicos, que conferiram essas denominações à doença, são manchas circulares de coloração castanho-clara a escura, com o centro branco-acinzentado, quase sempre envolvidas por um halo amarelado.

Existe uma grande relação entre a incidência da cercosporiose e a nutrição mineral das plantas e os fatores climáticos. Por isso, a implantação de lavouras na região dos cerrados ou em solos de baixa fertilidade natural e alterações nas condições de clima, que se tornaram mais adversas aos cafeeiros, os prejuízos com a doença ganharam maior importância. Qualquer condição que leve a planta a um estado nutricional deficiente ou desequilibrado favorece a doença. Algumas dessas condições são: substrato para a formação de mudas pobre, textura de solo inadequada muito argilosa ou muito arenosa, sistema radicular deficiente, compactação do solo, deficiência de nitrogênio, excesso de potássio ou desequilíbrio da relação N/K (Carvalho & Chaulfoun, 2000).

2.9.3 Mancha de *Phoma* e *Ascochyta*

Apesar de ser causada por fungos diferentes (*Ascochyta coffea*, *Phoma ssp.*), na prática, a identificação visual é muito difícil.

O fungo *Ascochyta coffeae* foi identificado inicialmente como causador da doença denominada canela-seca, devido ao ressecamento que provoca no caule da plântula e conseqüente tombamento das mudas no viveiro.

A *Phoma costarricensis* Ech., foi identificada pela primeira vez na Costa Rica, necessitando de ferimentos prévios na planta, para que ocorram as infecções (Echandi, 1957). Entretanto, trabalhos realizados na Colômbia demonstraram que o fungo *Phoma* sp. é capaz de penetrar e causar infecções nos brotos, frutos e folhas na presença ou ausência de ferimentos (Fernandez, 1961). No Brasil, além da *Phoma costarricensis*, estudos mais recentes confirmam a ocorrência de outras espécies do fungo (Salgado et al., 1997).

A doença foi constatada no país, inicialmente em cafezais localizados em altitudes elevadas (acima de 900m), no estado do Espírito Santo, em regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Apesar de ser constatada normalmente em cafezais localizados em altitudes acima de 900m, a doença tem sido encontrada em outras regiões, em lavouras expostas a ventos fortes e frios, com as faces voltadas para o sul, sudeste e leste.

A penetração do fungo é facilitada por danos mecânicos nos tecidos da planta, produzidos por insetos ou pelo roçar de folhas tenras causado pelos ventos. A temperatura tem grande influência ao ataque desse fungo, pois o micélio é infectivo a 24°C e os picnidiosporos a 18-19°C. Períodos intermitentes de frio, ventos frios e chuva favorecem a doença. Durante o ano, essas condições ocorrem, geralmente, nos meses de agosto a outubro e março a maio. Nessas épocas, podem ocorrer surtos da doença, porém, dependendo da região e condições de clima específico, ela pode evoluir em outros meses. Os sintomas,

nas folhas novas, são manchas circulares de coloração escura e de tamanho variado que podem chegar a 2cm de diâmetro. Quando as lesões atingem as bordas das folhas, estas encurvam-se, podendo apresentar rachaduras. Podem ocorrer nos ramos iniciando-se a partir dos folíolos ou do ponto de abscisão das folhas. Nos ramos atacados, observam-se lesões deprimidas e escuras, que podem ocorrer também nos botões florais, flores e frutos, no estágio de chumbinho e causar a morte e mumificação desses órgãos atacados.

As medidas gerais de controle preconizam o plantio de lavouras em áreas não sujeitas a ventos frios; implantação de quebra-ventos; adubações equilibradas; realizar o controle com fungicidas específicos durante os períodos favoráveis à doença e lançar mão controle preventivo, principalmente nas fases pós-florada (chumbinho), em áreas onde a doença ocorre sistematicamente (Carvalho & Chaulfoun, 2000).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, K. R.; DENT-GLASSER, L. S.; SMITH, D. N. Polymerization and colloid formation in silicate solutions. **American Chemical Society Symposium Series**, v. 194, p. 115-131, 1982.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALASTRA, M. L. F. C.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* Straw and Hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, Aug. 1989.

BELANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET D, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon—its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329–336, Apr. 1995.

BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of na active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria*

graminis fsp. *tritici*) **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n. 4, p. 402-412, Apr. 2003.

BENEDETTI, T. C.; RODRIGUES, T. M.; RODRIGUES, C. R.; SOUSA, J. V.; FIGUEIREDO, F. C. Aplicação de fosfito e silicato de potássio via foliar em plantas de cenoura: arquitetura e crescimento de raiz. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2007. p. 231-234.

BIDWELL, R. G. S. **Plant physiology**. New York: Macmillan, 1974. 643 p. (The Macmillan Biology Series).

BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. (Coords.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 2., Botucatu, 1987. **Anais...** Botucatu: Fundação Cargill, 1989. 669p.

BOTREL, P. P.; ROSADO, L. D.; SOUZA, R. R.; RODRIGUES, H. C.; COSTA, F. C.; FIGUEIREDO, F. C.; CUSTÓDIO, T. N. Efeito de fontes e doses de silicato de potássio no pH do solo. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. 1 CD ROM.

BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6., p. 906-912, Nov. 1992.

BRASIL. Decreto n. 5.351, de 21 de janeiro de 2005. Instrução normativa das n. 27, 05 de junho de 2006. Legislação-inspeção e fiscalização da produção, importação e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes no que se refere às concentrações de metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jun. 2006. Seção 1, n. 110, p. 15-16.

CARNEIRO, L. M.; JULIATTI, F. C.; OLIVEIRA, R. G.; KÖRNDORFER, G.; AMADO, D. F.; RAMOS, H. F. Uso da argila silicatada na redução da severidade de *Phytophthora infestans* em batateira. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. S347-348, ago. 2003. Suplemento.

CARVALHO JÚNIOR, P. C.; LUZ, J. M. Q.; RODRIGUES, C. R.; JULIATTI, F. C.; SOUSA, V. B. F. SOUZA, J. V. Aplicação de silicato de potássio via foliar em plantas de batata: teor foliar de Si e arquitetura da planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 32., 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

- CARVALHO, V. L.; CHAULFOUN, S. M. **Doenças do Cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 58).
- CASEY, W. H.; KINRADE, S. D.; KNIGHT, C. T. G., RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. **Plant Cell Environment**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 51–54, Jan. 2003.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, Mar. 1994.
- CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, n. 6, p. 411-425, Dec. 1992a.
- CORADIN, T.; LOPEZ, P. J. Biogenic Silica Patterning: Sample chemistry or subtle biology? **Chembiochem**, Weinheim, v. 4, n. 4, p. 251-259, Apr. 2003.
- DEPARTMENT OF LAND AND WATER RESOURCES ENGINEERING – KTH. **Visual Minteq version 2.53**. Stockholm, 2007. Disponível em: <<http://www.lwr.kth.se/English/OurSoftware/vminteq>>. Acesso em: 01 dez. 2007.
- DIETRICH, R.; PLOSS, K.; HEIL, M. Growth responses and fitness cost after induction of pathogen resistance depend on environmental condition. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 211-222, Feb. 2005.
- DUARTE, I. N.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M.; JULIATTI, C. J. Aplicação de silicato de potássio via foliar em plantas de batata: produção e sólidos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP. p. 175-178.
- DUTRA, M. R. **Controle de nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp) com silicatos em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ECHANDI, E. La quema de los cafetos causada por *Phoma costarricensis* n. Sp. **Revista de Biología Tropical**, San Jose, v. 5, n. 1 p. 81-102, 1957.
- EMADIAN, S. F.; NEWTON, R. J. Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, v. 134, n. 1, p. 98-103, Feb. 1989.

EPSTEIN, E. **Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon – mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopatology**, St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, May 1998.

FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. B. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: L.E. DATNOFF; G.H. SNYDER; G.H. KORNDÖRFER (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Elsevier: Amsterdam, 2001. p. 159-169.

GAMA, A. J. M.; KORNDORFER, G. H.; JULIATTI, F. C. Controle da incidência e severidade de oídio em plantas de pepino através da aplicação de fontes de silício via solo e via foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 26., 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2003.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. Sugestões de adubação par grandes culturas anuais e perenes – cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 43.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras: UFPA/FAEPE, 2002. 317 p.

HEINE, G.; TIKUM, G.; HORST, W. J. The effect of silicon on the infection by and spread of *Pythium aphanidermatum* in single roots of tomato and bitter gourd. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 569-577, Feb. 2007.

IRITI, M.; FARAO, F. Does benzothiadiazole-induced resistance increase fitness cost in bean? **Journal of Plant Pathology**, Pisa, v. 85, n. 4, p. 265-270, Dec. 2003b. Special issue.

JULIATTI, F. C.; RAMOS, H. F.; KORNDÖRFER, G.H.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; CARNEIRO, L. M. e S.; LUZ, J. M. Q. Controle da queima das folhas de cenoura pelo uso do silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2003, Uberlândia. **Resumos...**Uberlândia: UFU, 2003. 1 CD-ROM.

- KHAN, D. H.; ROY, A. C.. Growth, P-uptake and fiber cell dimensions of jute plants affected by silicate treatment. **Plant Soil**, Dorcrecht, v. 20, p. 331-336, 1964.
- KNIGHT, C. T. G.; KINRADE, S. A primer on the aqueous chemistry of silicon. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 57-84.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. (Boletim Técnico).
- LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; SI, J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, p. 678-685, Oct. 2005.
- LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, jun. 1999.
- LUZ, J. M. Q.; GUIMARAES, S. T. M. R.; KORNDORFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Piracicaba, v. 24, n. 3, jul./set. 2006.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. Cap. 2, p. 17-39.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 126, n. 1, p. 115-119, Aug. 1990a.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. The effect of silicic acid in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 126, n. 1, p. 121-125, Aug. 1990b.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, London, v.11, n. 8, p. 392-397, Aug. 2006.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic, 1986. 674 p.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2006. v. 1.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6., p. 902-905, Nov. 1992.

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**, St. Paul, v. 81, n. 1, p. 84-88, Jan.1991.

MISSIO, V. C.; RODRIGUES, F. A.; KORNDÖRFER, G. H.; CARVALHO, T.M.; ZAMBOLIM, L. Effect of foliar application of potassium silicate on coffee rust development. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia:UFU, 2005a. p. 119.

MISSIO, V. C.; RODRIGUES, F. A.; KORNDÖRFER, G. H.; CARVALHO, T. M.; ZAMBOLIM, L. Effect of potassium silicate on the control of coffee leaf rust under field conditions. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005b. 120 p.

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 IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005b. 124 p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cumcuber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, n. 1, p. 71-83, Jan./Feb. 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plants, **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 24, n. 2, p. 175-189, 1978.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 31, n. 4, p. 625-636, Dec. 1985.

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of potassium silicate combine dor not with systemic or protector

- fungicidas on the control of asian soybean rust. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. 121 p.
- PARRELA, M. P.; COSTAMAGNA, T.; KASPI, R. the addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza* leafminers attacking floriculture crops. **Gerbera Pest Management Alliance**, n. 9, p. 2-4, Mar. 2006.
- PARRY, D. W.; SMITHSON, F. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. **Annals of Botany**, London, v. 28, n. 109, p. 169-185, 1964.
- PQ-CORPORATION. **Fundamentals of Silicate Chemistry**. Malven, P. A. 2006. Disponível em: <<http://www.pqcorp.com>>. Acesso em: 10 ago. 2006.
- POZZA, A. A. A. **Silício em mudas de cafeeiro**: efeito na nutrição mineral e na suscetibilidade à cercosporiose em três variedades. 2004. 84 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica*, L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- RAIJ, B. Van; CAMARGO, O. A. Sílica soluble em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-236, 1973.
- RAMOS, H. F.; JULIATTI, F. C.; KÖRNDORFER, G. H.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; CARNEIRO, L. M. Controle da queima das folhas da cenoura pelo uso do silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, n. 28, p. S359, Ago. 2003. Suplemento.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Review**, New York, v. 58, n. 2, p. 179-207, 1983.
- 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. 124 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 82).
- RESENDE, M. L. V., SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 123-130, abr. 2003.
- RODRIGUES, F. A.; DUARTE, H. S. S.; KORNDÖRFER, G. H.; WORDELL FILHO, J. A.; ZAMBOLIM, L. Effect of foliar application of potassium silicate

on angular leaf spot development on beans. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005a. 105 p.

RUSSEL, E. W. **Soil conditions and plantacrowth**. 10. ed. Londres: Longman, 1976.

SALGADO, M.; SOUZA, S. M. C.; CARVALHO, V. L. ocorrência dos fungos *Ascochyta* sp. E *Phoma* sp. Causadores de manchas foliares (leaf spot) na regiões cafeeiras de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 30., 1997, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1997. p.19.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L. Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 44, n. 4, p. 237-242, Apr. 1994.

SAN JUAN, R. C. C.; MATIELLO, J. B. Efeito do pH da calda fungicida na atividade de Sphere no controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: [S.l.], 2006. p. 97-98.

SANTOS, D. M. **Efeito do silício na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk & Cooke) em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2002. 43 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA SOBRINHO, R. R. de; ARAÚJO, J. L. A.; RODRIGUES, T. M.; TREVISAN, D.; RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V. Crescimento da alface americana em solução nutritiva sob diferentes concentrações e formas de aplicação de silício. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Anais...**Lages: UDESC, 2004. 1 CD-ROM.

SOUSA, V. B. F.; SOUSA, J. V.; CARVALHO JÚNIOR, P. C.; RODRIGUES, C. R.; MELO, S. P.; FIGUEIREDO, F. C. Aplicação foliar de silicato de potássio na soja: absorção de Si, severidade de ferrugem asiática e produtividade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2007. p.102-106.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H.

(Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Physiology Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. v. 2, p. 420-433.

THOMAS, P.; COSTAMAGNA, R. K.; PARRELLA, M. P. Potassium silicate enhances resistance/tolerance of ornamental plants to insect attack. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE**, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. 118 p.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: **SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA**, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, 1991. p. 391-412.

VOOGT, W.; SONNEVELD, C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 2001. p. 115-131.

VOOGT, W.; WUBBEN, J. P.; STRAVER, N. A. The effect of Silicon application on some ornamental plants. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE**, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. 128 p.

WANG, S. Y.; GALLETTA, G. J. Foliar application and potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 21, n. 1, p. 157-167, 1998

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Eds.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2, 663p.

CAPÍTULO 1

PULVERIZAÇÃO COM SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL NA NUTRIÇÃO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BEBIDA DO CAFÉ

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação foliar de fontes e doses de silício líquido solúvel na maturação, tamanho de grãos por peneiras e na qualidade da bebida do café, em anos de alta e baixa produção do café. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x4 numa lavoura de Mundo Novo IAC 379-19, utilizando as fontes de silicato de potássio (Sili-K) e o metasilicato de potássio pentahidratado (Meta) nas concentrações de 0, 855, 1710 e 8550 mg L⁻¹ de Si em três aplicações foliares, à intervalos de 45 dias, a partir da segunda quinzena do mês de dezembro, nos anos de 2006 e 2007. Os resultados levaram a concluir que a aplicação foliar com silício líquido solúvel influenciou a proporção dos diferentes estádios de maturação dos frutos, que afetaram o rendimento e produção do café. O Meta foi significativamente inferior ao Sili-K ao reduzir as peneiras altas na safra de alta produção enquanto o Sili-K elevou a proporção destas na safra de baixa produção; os melhores efeitos foram observados entre as doses de 1710 e 5000 mg L⁻¹. As doses de qualquer uma das fontes melhoram as notas de “acidez” e “balanço” da bebida na safra de baixa e do “corpo” da bebida, independente da safra. Os teores de Si e K na folha relacionaram indiretamente com a qualidade de bebida na safra de baixa produção, bem como na amenização da bialidade de produção.

Palavras-chave: silicato de potássio, adubação foliar, bebida, maturação.

SPRAYING WITH SOLUBLE LIQUID SILICON IN NUTRITION, PRODUCTION AND COFFEE BEVERAGE QUALITY

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of the foliar application of sources and doses of soluble liquid silicon in maturation, size grains for sieve and in the years of high and low production of coffee. It was used a randomized complete design in a 2x4 factorial scheme in a cropping of Mundo Novo IAC 379-19, using as sources of potassium silicate (Sili-K) and the pentahydrate potassium metasilicate (Meta) in concentrations of 0, 855, 1710 and 8550 mg L⁻¹ of Si in three foliar applications at intervals of 45 days, from the second fortnight of December in the 2006 and 2007 years. The results have led to concluded that the foliar application with soluble liquid silicon had influenced the ratio of the different stages of maturation of fruits that affected the income and production of coffee. The Meta was significantly inferior to the potassium silicate reducing “high sieve” in the high production harvest while the Sili-K raised the ratio of those sieves in the low production harvest; better effects were observed between the doses of 1710 and 5000 mg L⁻¹. Doses of soluble liquid silicon improved the grades of “acidity” and “balance” of the beverage in the low harvest and of the “body” of the beverage independent from the harvest. The contents of Si and K in the leaf are indirectly related to the quality of the drink in the low production harvest as well in smoothing of biennial coffee production.

Key words: potassium silicate, foliar fertilization, beverage, maturation

1 INTRODUÇÃO

Os compostos químicos nos grãos de café são reflexos de uma série de atributos, que juntos, conferem a qualidade da bebida do café. Dentre eles podem se destacar fatores genéticos e ambientais, as condições de manejo na produção e o processamento pós-colheita (Prete, 1992).

A fase de pré-colheita é muito importante, pois as plantas deverão estar bem nutridas e em boas condições fitossanitárias, para obtenção de frutos e grãos bem formados e constituídos. Uma lavoura mal conduzida durante o ciclo produtivo dará frutos imperfeitos, mal granados e chochos, da mesma forma, quando sofre ataque de pragas e doenças, que provocam a desfolha da planta, prejudicando o suprimento dos frutos na fase de enchimento de grãos e como conseqüência, a sua má formação e queda precoce (Pozza et al., 2004). Desse modo, o silício aplicado via foliar pode ser uma alternativa no controle de ferrugem e de outras doenças foliares do cafeeiro. Os benefícios da utilização do silício na agricultura vêm sendo cada vez mais reconhecidos e comprovados por cientistas do mundo inteiro. Esses benefícios incluem acréscimos na produtividade das culturas e na resistência destas aos estresses bióticos e abióticos (Bélangier et al., 1995). Neste contexto, os silicatos solúveis são fontes de silício com grande potencial por serem solúveis e, portanto, prontamente disponíveis às plantas, como o silicato de potássio, que teve a sua comercialização e utilização liberada pelo decreto-lei nº 4.954 (que regulamenta a lei 6.894 de 16/01/1980) juntamente com a inclusão do silício como micronutriente das plantas (Brasil, 2004).

Na Europa esta fonte já vem sendo utilizada em cultivos protegidos, aplicada em solução nutritiva ou foliar, como uma ferramenta do manejo integrado de pragas e doenças e, também, como amenizador de estresses

abióticos como temperaturas extremas, toxidez ou deficiências nutricionais (Bélanger et al., 1995).

O silicato de potássio destaca-se por ser uma fonte de alta solubilidade e pureza, que o torna uma alternativa limpa e potencialmente eficiente no manejo integrado de pragas e doença foliares. Seu modo de ação é diferente do silício aplicado ao solo, que ao ser absorvido na forma de ácido monossilícico, transloca via xilema até os pontos de maior transpiração, recobrando a superfície de forma descontínua, permanecendo ali definitivamente por não ser redistribuído (Casey et al., 2003). O silicato de potássio aplicado via foliar forma um filme sobre a folha após a secagem das gotas, agindo como uma barreira física à penetração do apressório dos patógenos ou pode ser absorvido e induzir a produção de compostos tóxicos a estes patógenos (Menziés et al., 1992). A maioria desses trabalhos foram conduzidos, utilizando plantas acumuladoras como o pepino e arroz, que possuem evidência que apresentam absorção ativa do silício (Ma & Yamaji., 2006).

Ao apresentar certo controle das doenças que acometem o cafeeiro, o silício juntamente com o potássio podem ser agentes influenciadores da qualidade de bebida, pois a menor incidência de doenças preserva o enfolhamento da cultura, propiciando uma maior uniformidade dos grãos que, por sua vez, têm relação direta com a qualidade de bebida do café (Chalfoun & Carvalho, 2002).

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação foliar de fontes e doses de silicato de potássio na nutrição, produção, maturação dos frutos, classificação dos grãos por peneiras e qualidade da bebida do café em safras de alta e baixa produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Coqueiros, no município de Santana da Vargem, Sul de Minas Gerais a uma altitude de 883m, tendo como coordenadas 21° 17' 9,71''S e 45° 24' 43,29''O numa lavoura da cultivar Mundo Novo IAC 379-19, plantada no espaçamento de 3,5m x 0,7m, com oito anos de plantio, contendo 4080 plantas ha⁻¹ sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. A análise química do solo em 2006 antes do início do experimento continha: pH: 5,1; P: 10 mg kg⁻¹; K: 115 mg kg⁻¹; Ca: 2,9 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,1 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 12,9 mg dm⁻³; MO: 4,0 %; Zn: 2,5 mg kg⁻¹; B: 0,7 mg kg⁻¹; Mn: 8,96 mg kg⁻¹; Cu: 1,99 mg kg⁻¹; Fe: 19,92 mg kg⁻¹; V: 52%. No ano de 2007 a análise química constava: pH: 5,0; P: 7 mg kg⁻¹; K: 154 mg kg⁻¹; Ca: 2,3 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,7 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 9,1 mg dm⁻³; MO: 2,3 %; Zn: 4,1 mg kg⁻¹; B: 1,0 mg kg⁻¹; Mn: 10,21 mg kg⁻¹; Cu: 3,24 mg kg⁻¹; Fe: 22,41 mg kg⁻¹; V: 35,1%. Com base nestas análises e carga pendente estimada, a adubação de solo foi de 700 kg ha⁻¹ de fertilizante 30-00-10 na safra de 2006 e 750 kg ha⁻¹ do fertilizante 20-05-20 na safra de 2007. Em cada safra, foram realizadas três aplicações foliares em caldas distintas dos tratamentos, que continham 2 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre, 1 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, 1,5 kg ha⁻¹ de sulfato de manganês e 0,8 kg ha⁻¹ de KCl e espalhante adesivo (Dufol[®]) na dose 0,3 mL L⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em um esquema fatorial 2x4, com fontes e doses de silício líquido solúvel na forma de silicato de potássio (Sili-K[®]: 171 g L⁻¹ de Si e 210 g L⁻¹ de K₂O) e metassilicato de potássio pentahidratado (Meta: 238 g L⁻¹ de Si e 510 g L⁻¹ de K₂O) nas concentrações de 0, 855, 1710 e 8550 mg L⁻¹ com quatro repetições. Cada parcela continha nove plantas, sendo cinco plantas úteis e quatro de bordadura, dentro da linha de plantio uma linha de bordadura entre as parcelas, separando os blocos. Os tratamentos foram pulverizados na folhagem dos

cafeeiros com turbopulverizador Jacto Arbus 400 em um volume de calda correspondente a 400 L ha⁻¹ associado ao espalhante adesivo Haiten[®] na dose de 0,3 mL L⁻¹. As pulverizações foram realizadas em três épocas (dezembro, fevereiro e março) com intervalos de 45 dias, a partir da segunda quinzena do mês de dezembro de cada ano agrícola.

Para análise dos nutrientes foliares, foram coletadas 30 folhas de cada parcela ao final do mês de maio de cada ano, após 120 dias da última aplicação dos tratamentos. As folhas foram lavadas com água destilada e enviadas ao Laboratório de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, para determinação dos teores de Si pelo método amarelo (Elliott & Synder, 1991). Os teores de potássio foram determinados, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), no laboratório da Cooperativa de Cafeicultores da Zona de Três Pontas.

A colheita das plantas para avaliação da produção foi realizada em 15 de julho do ano de 2006 (safra alta) e 10 de junho no ano de 2007 (safra baixa).

Nas parcelas colhidas, foram separados os frutos colhidos diretamente da planta daqueles caídos ao chão. Foram amostrados 10 litros de café da lavoura, que foram secados em peneiras. Nessas amostras, foram obtidas três sub-amostras de 300 mL, determinando-se nelas a proporção de frutos em cada estágio de maturação. O rendimento foi calculado pelo beneficiamento das amostras e o peso ajustado para 11% de umidade. Assim, foi obtida a quantidade de café beneficiado por 10 litros de café colhido da lavoura.

Foram avaliadas a proporção de grãos de café com tamanhos de peneiras acima de 17 e a soma das peneiras 14, 15 e 16 consideradas como peneiras altas e baixas respectivamente (Bartholo & Guimarães, 1997).

Para teste de qualidade de bebida, foi realizada a análise sensorial através da determinação das características: bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, retrogosto, balanço, geral e nota final, segundo as normas da BSCA (Brazilian

Speciality Coffee Association) (BSCA, 2007), onde cada característica foi pontuada de 4 a 8 e, a soma destes, mais 36 formou a nota final. A prova foi realizada pelo provador João Marcos Botelho da Cooperativa de Cafés Especiais “Santo Antônio State Coffee”, de Santo Antônio do Amparo, MG.

A eficácia do provador foi determinada pelo seu coeficiente de variação, que foi determinado pelas notas realizadas dentro de cada parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância através programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2000), sendo as fontes de silicato de potássio testadas pelo teste de Scott-Knott a 5% e as doses de Si submetidas ao estudo de regressão, sendo os gráficos plotados no programa SigmaPlot 10.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Maturação dos frutos de café

A quantidade de cada fração componente dos diferentes estádios de maturação dos frutos foi influenciada pelas doses de silício líquido solúvel. Para os frutos no estádio “cereja”, houve interação entre doses e fontes de silício líquido solúvel, de modo que, a maior percentagem de frutos cereja foi obtida nas doses estimadas de 4160 mg L⁻¹ de Si para a fonte silicato de potássio (Sili-K) e 3401 mg L⁻¹ de Si para o metassilicato de potássio (Meta) (Figura 1A). O silicato de potássio proporcionou uma maior percentagem de frutos neste estádio, os quais são considerados o estádio ideal para obtenção de bebidas de qualidade (Zambolim et al., 2000). Os frutos colhidos no estádio “passa” foram influenciados somente pela dose de silício líquido solúvel, que reduziu a percentagem dos frutos neste estádio até a dose de 3968 mg L⁻¹ de Si (Figura 1B). A percentagem de frutos “secos” foi influenciada pelas doses de silício

líquido solúvel (Figura 1C), reduzindo de forma quadrática até um ponto estimado de 3997 mg L⁻¹ independente da fonte, indicando ser uma boa condição, pois os frutos secos na planta comprometem a qualidade do café. Estes resultados mostram que as doses podem melhorar a uniformidade de maturação na safra de alta produção, com destaque para a fonte silicato de potássio.

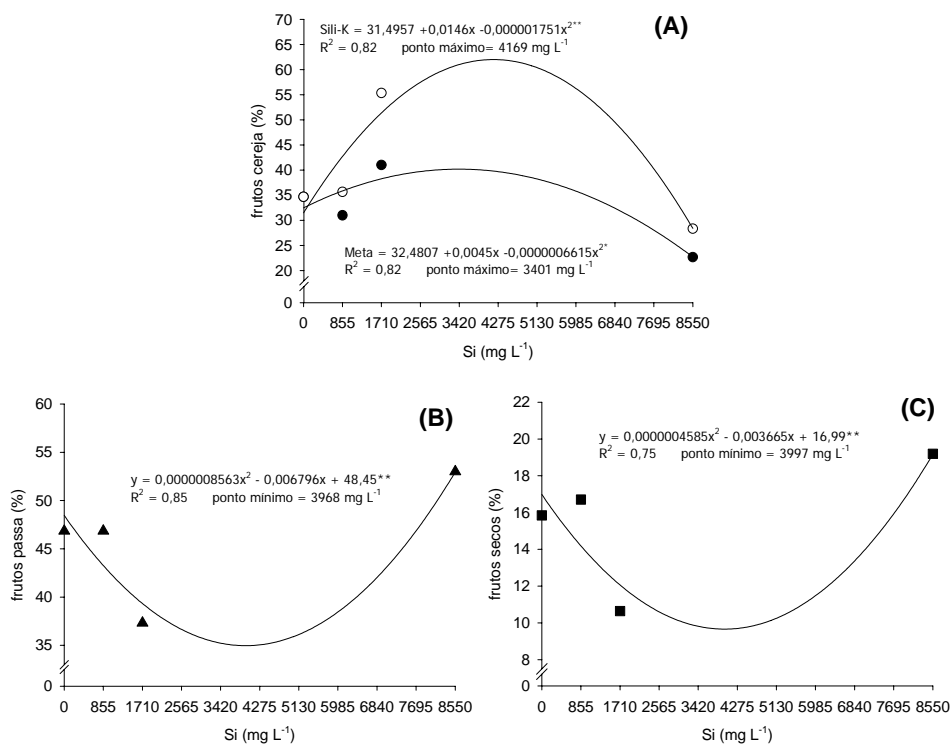


FIGURA 1. Proporção de frutos “cereja” (A) “passa” (B) e “seco” (C) em função da adubação foliar com fontes e doses de silicato de potássio na safra 2006.

Na safra seguinte as duas fontes proporcionaram uma maior proporção de frutos no estágio “passa” de forma quadrática até uma dose estimada de 4274 mg L⁻¹ e 5373 mg L⁻¹ de Si para as fontes metassilicato de potássio e silicato de potássio respectivamente (Figura 2A). Os frutos no estágio “verde” também foram influenciados pelas doses das fontes testadas, com destaque a dose de

1710 mg L⁻¹ de Si que proporcionou baixíssima proporção de frutos verdes, que não são desejáveis para a qualidade do café (Figura 2B).

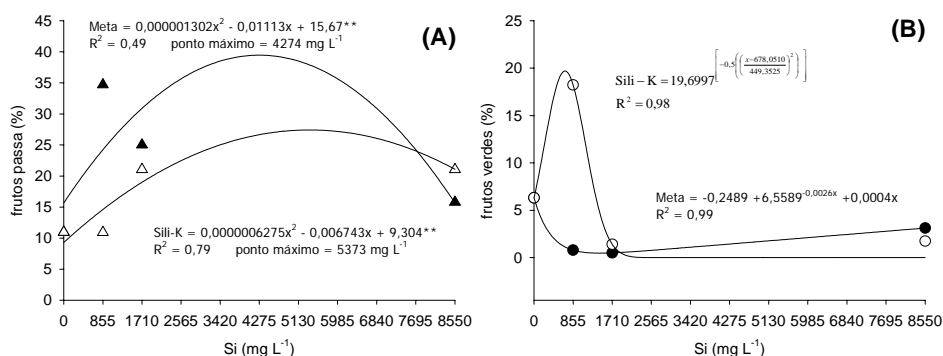


FIGURA 2. Percentagem de frutos passa (a) e verde (b) em função da aplicação foliar com fontes e doses de silicato de potássio na safra 2007.

3.2 Rendimento de grãos de café

No aspecto rendimento na safra de 2006 (Figura 3A), o metassilicato de potássio se sobressaiu sobre o silicato de potássio, elevando o rendimento até a doses estimada de 4919 mg L⁻¹ de Si ao se usar o metassilicato de potássio e 3553 mg L⁻¹ para o silicato de potássio. Esses resultados podem ter sido influenciados por outras características, como a proporção de diferentes estádios de maturação dos frutos, pois, foi observado uma maior proporção de frutos “secos” nas doses do metassilicato de potássio. Isso possui grande importância, porque os frutos secos possuem menor volume e uma relação menor de casca: grão, que na prática resulta num maior número de grãos por volume, aumentando o rendimento (Ferroni & Tuja, 1992).

Na safra de baixa produção o metassilicato de potássio proporcionou aumento do rendimento até um patamar de 1400 g de café colhido por 10L de

café beneficiado e o silicato de potássio propiciou alteração nos valores de forma quadrática até a dose de 5519 mg L⁻¹ de Si (Figura 3B). O aumento do rendimento pode ser desejável ao cafeicultor, pois a colheita é paga por volume, desse modo, se no mesmo volume houver mais grãos, a colheita tende a ficar mais barata, mas deve existir uma ponderação, pois o aumento do rendimento devido a maior proporção de frutos “verdes ou secos” pode prejudicar a qualidade do café quanto ao aspecto, tipo e defeitos (Teixeira, 1990). Assim, o silicato de potássio se destaca por elevar a proporção de frutos “cereja” na safra alta e o rendimento na safra de baixa produção, reduzindo a proporção de frutos “verdes”, notadamente na dose de 1710 mg L⁻¹ de Si.

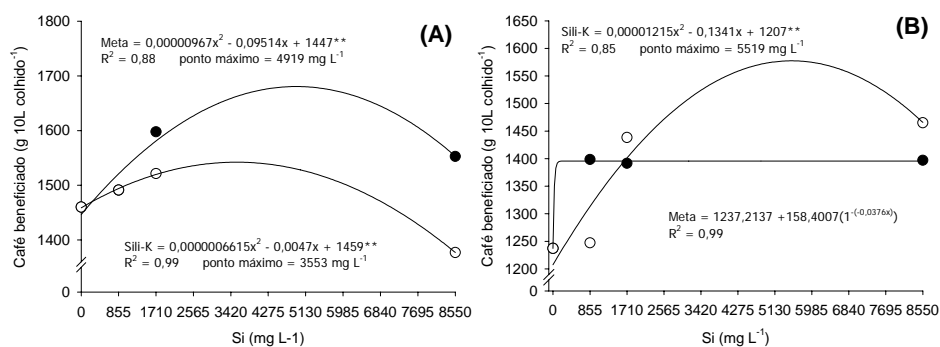


FIGURA 3. Rendimento de café proporcionado pela aplicação foliar com fontes e doses de silicato de potássio nas safras de 2006 (A) e 2007(B).

3.3 Produção de grãos de café

A produção do biênio foi significativamente afetada pelas doses das fontes testadas, atingindo o ponto máximo numa maior dose de silicato de potássio e menor ao se usar o metassilicato de potássio (Figura 4). Assim as regressões mostraram que a melhor dose de Si se encontrava entre 3000 e 4000 mg L⁻¹ de Si, aplicados por três vezes. Dentre as produções observadas destaca-

se a dose de 1710 mg L^{-1} de Si nas duas fontes testadas, onde o silicato de potássio propiciou 1,97 sacas ou 6,8% a mais que a testemunha. O metassilicato de potássio também na mesma dose, elevou em 1,99 sacas ou 6,9% a mais que a testemunha.

Estes resultados podem estar ligados aos benefícios atribuídos à nutrição com Si como redução da evapotranspiração (Datnof et al., 2001), controle de doenças foliares (Menzies et al., 2001), melhoria da arquitetura e atividade fotossintética (Deren, 2001) dentre outros. Apesar dos benefícios do Si o potássio possui também seu papel, pois, quimicamente ele é um cátion solubilizador do Si e nutricionalmente ele possui funções que são similares ou mesmo complementares aquelas exercidas pelo Si. Dentre estas funções, destacam-se a regulação osmótica dos responsável pelo abertura e fechamento dos estômatos que agem na regulação transpiratória e ativação de processos enzimáticos ligados ao metabolismo de açúcares (Mengel & Kirkby, 2001; Marchner, 1995; Taiz & Zeinger, 2004). A função do K na fotossíntese é complexa, mas a ativação de enzimas e o envolvimento deste nutriente na produção de ATP é, provavelmente mais importante no controle da fotossíntese do que seu envolvimento na atividade estomatal (Malavolta, 2006).

Estes resultados mostram que o silicato de potássio pode ser utilizado como uma ferramenta para o aumento da produção, mas que o estudo de doses e outros critérios técnicos devem ser levados em conta, pois, o uso inadequado pode levar a frustrações de colheita uma vez que foi verificada que as doses de 855 mg L^{-1} e 8550 mg L^{-1} de Si propiciaram produções menores.

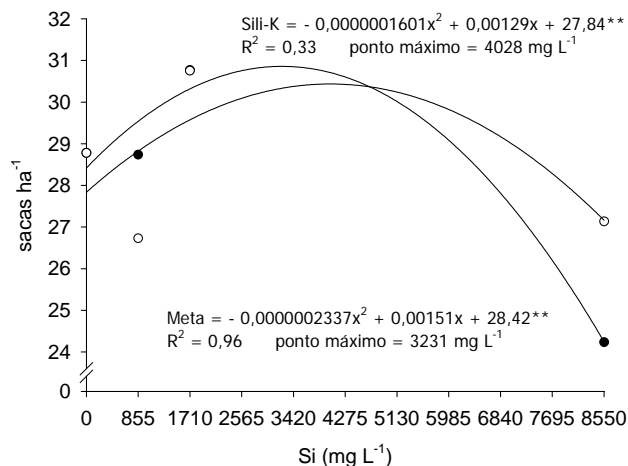


FIGURA 4. Produção de café em função de doses e fontes de silicato de potássio em aplicação foliar, nas safras de 2006 e 2007. UFLA, Lavras, 2007.

3.4 Classificação dos grãos por peneiras

Todas as proporções de tamanhos de grãos separados através de peneiras foram influenciadas pelas fontes, doses e safra. Foi observado uma elevação do número de grãos retidos por peneiras 14, 15 e 16, nas dosagens de 855 e 1710 mg L⁻¹ de Si do metassilicato de potássio, vindo a estabilizar abaixo da proporção encontrada nas plantas não tratadas (Figura 5A). Ao mesmo tempo, os grãos de café retidos em peneira acima de 17, na safra 2006, também foram influenciados pelas doses do metassilicato de potássio, que reduziu a proporção desta peneira nas dosagens de 855 e 1710 mg L⁻¹ de Si e, estabilizando a partir de 3000 mg L⁻¹ de Si, próximo a proporção encontrada nas plantas não tratadas (Figura 5B). O comportamento encontrado para essa fonte não é desejável, pois uma menor proporção de peneiras altas e maior de peneiras baixas (14, 15 e 16) acarreta em

perda de qualidade, uma vez que os grãos defeituosos e mal granados são encontrados principalmente em peneiras baixas (Pimenta, 2003). Isso se agravou ainda mais na safra de alta produção, pois existe uma tendência natural de redução das peneiras nas safras altas. Assim, o silicato de potássio sobressaiu, pois as doses não alteraram nas proporções de grãos, com tamanhos de peneiras avaliadas nesta safra de 2006.

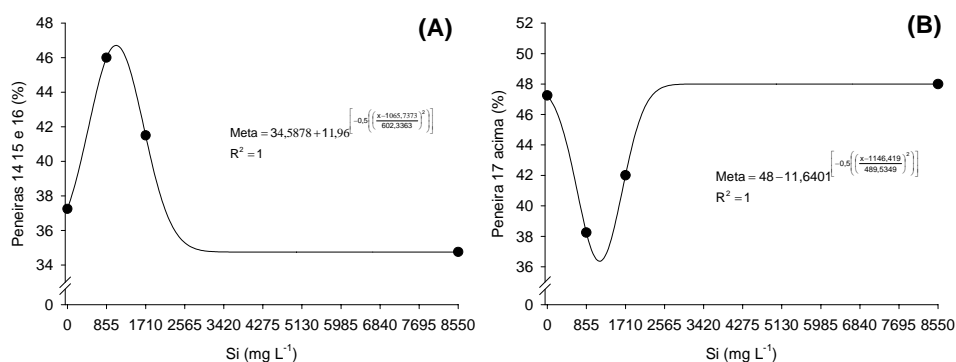


FIGURA 5. Influência das doses do metassilicato de potássio na proporção de grãos de café com peneiras 14, 15 e 16 (A) e peneiras 17 acima (B) na safra 2006 de alta produção.

Na safra seguinte, de baixa produção, foi observada uma alteração de forma quadrática, na proporção de grãos com tamanho de peneiras 14, 15 e 16, no entanto, essa queda foi mais acentuada nas doses de silicato de potássio, principalmente, na dose 1710 mg L⁻¹ de Si (Figura 6A). De forma contrária, observou-se uma alteração quadrática da proporção de grãos com tamanhos de peneiras acima de 17, novamente com destaque ao silicato de potássio (Figura 6B). Nesta safra de baixa produção houve uma alteração de forma significativa de elevação da proporção de grãos, com tamanhos de peneiras maiores devido, provavelmente a um maior aporte de fotoassimilados para os grãos, mas ainda assim, as fontes tiveram um papel intensificador desta característica, que é desejável para a obtenção de cafés especiais (Bartholo & Guimarães, 1997).

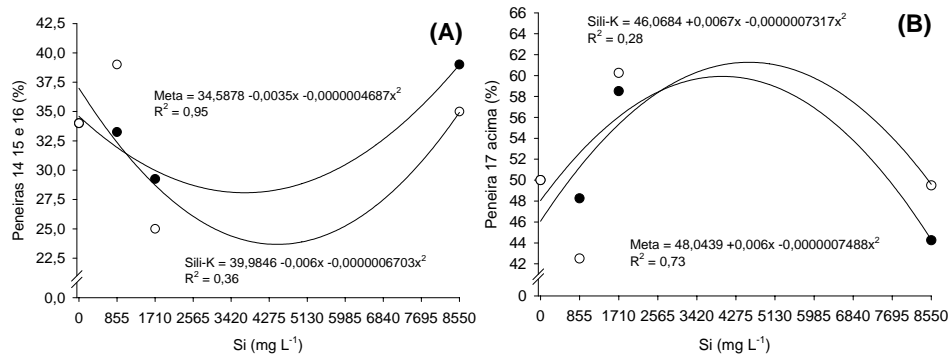


FIGURA 6. Influência das doses de silício líquido solúvel na proporção de grãos de café retidos em peneira 14, 15 e 16 (A) e em peneiras acima de 17 (B) na safra 2007 de baixa produção.

3.5 Qualidade da bebida do café

O provador teve uma boa precisão na classificação e identificação das nuances denotada pelo coeficiente de variação do provador de 8,5%. Todos os atributos analisados apresentaram um coeficiente de variação abaixo de 13% o que indicou uma precisão aceitável quanto aos aspectos da bebida do café.

As notas para “bebida limpa” e “doçura” foram influenciadas pelas doses de silício líquido solúvel, independente da fonte, no entanto, nenhum modelo matemático se ajustou aos resultados. As notas de “retrogosto” e “nota final” não foram influenciadas por nenhuma das fontes e doses de silício líquido solúvel, apesar dos valores dos atributos, que somados formaram a nota final, terem sido influenciados pelas safras (Tabela 1) e doses de silício líquido solúvel (Figura 7). Observou-se que o café da safra de 2007 foi superior à de 2006 nas notas de “corpo”, “sabor” e “geral” de forma significativa. Essa diferença poderia estar ligada à produção, já que na safra baixa a planta consegue suprir melhor os grãos com fotoassimilados, realçando-os nestas características.

TABELA 1. Índices para os atributos “corpo”, “sabor” e “geral” para bebidas de café, segundo a análise da BSCA nas safras de 2006 (safra alta) e 2007 (safra baixa).

Safra	Corpo	Sabor	Geral
2006 (alta produção)	5,41 b	4,78 b	5,16 b
2007 (baixa produção)	5,66 a	5,00 a	5,40 a

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

As doses de silício líquido solúvel melhoraram a “acidez” e “balanço” na medida em que se aumentou a dose até um máximo estimado de 5000 mg L⁻¹ de Si, para acidez e 4750 mg L⁻¹ de Si, para o “balanço” na safra de 2007 (Figura 7). Da mesma forma, as notas dos atributos “corpo” se elevaram com as doses de silício líquido solúvel até uma dose estimada de 5000 mg L⁻¹, independente da fonte e da safra.

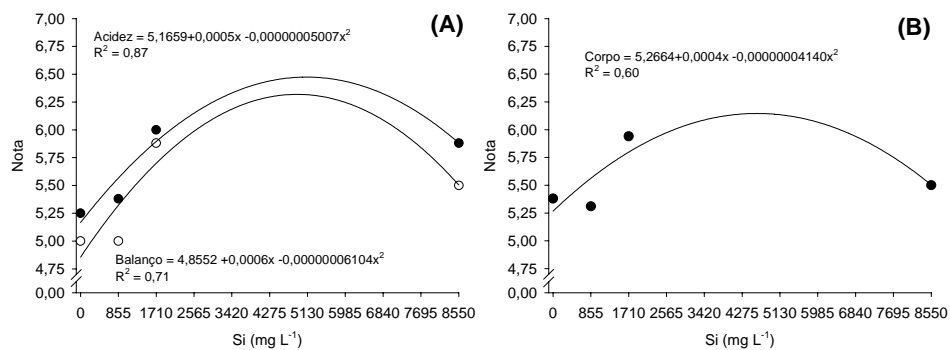


FIGURA 7. Influência das doses de silício líquido solúvel nos atributos de acidez e “balanço” na safra de 2007 (A) e “corpo” independente da safra (B), segundo a análise da bebida do café pela tabela da BSCA (BSCA, 2007).

3.6 Correlações dos teores foliares de Si e K com atributos de qualidade da bebida do café

A produção da safra alta (2006) correlacionou negativamente com a produção da safra baixa (2007) seguinte. Isto demonstrou o efeito marcante da bienalidade da produção do cafeeiro. O potássio foliar reduziu, à medida que a produção aumentou no ano de alta, pelo maior dreno para os frutos. Da mesma forma a proporção de frutos do tipo “passa” reduziu à medida que a produção aumentou. O aumento da produção na safra alta também elevou a proporção de peneiras baixas e frutos no estágio de “verde cana”, melhorando as notas para os atributos “bebida limpa”, “corpo”, “balanço”, “geral” e “nota final”, que são atributos da qualidade de bebida do café. Todas as notas para os atributos de bebida do café se correlacionaram entre si o que indicou que qualquer outro atributo, que estivesse afetando alguma nota poderia estar afetando a bebida como um todo. Assim, somente uma elevação da produção significa também melhoria na bebida na safra de alta produção (Tabela 2).

Os teores foliares de Si correlacionaram positivamente com os teores de potássio, indicando que as fontes propiciaram uma elevação de ambos os nutrientes nos tecidos foliares. No ano de safra alta, somente os teores foliares de potássio correlacionaram com o grau de maturação e com a classificação, aumentando a proporção de frutos no estágio “passa” e peneiras acima de 17 e, reduzindo peneiras baixas (14, 15 e 16) e os frutos “verde cana”, que foram responsáveis pela redução de peneiras altas e aumento de peneiras baixas dada a sua correlação positiva e negativa respectivamente com estes atributos (Nobre et al., 1980). No entanto, as correlações evidenciam que a proporção de peneiras acima de 17 não foram diretamente responsáveis pela qualidade, pois não se correlacionam com nenhuma nota de atributo de bebida (Tabela 2).

Na safra de alta produção a proporção de frutos “cereja” correlacionou negativamente com a proporção de frutos “passa” e “secos”, ou seja, a maior proporção de frutos “cereja” significou menor proporção desses dois estádios, mas isso não representou diretamente um ganho em qualidade de bebida, pois não foi observada nenhuma correlação dos “frutos cereja” com peneiras ou notas para os atributos de bebida. Da mesma forma, a proporção de frutos no estádio “verde” não afetou nenhum atributo de bebida, provavelmente por terem sido observados em todos os tratamentos, níveis sempre abaixo de 5%, que são níveis máximos tolerados e recomendados atualmente para início da colheita (Guimarães et al., 2002).

A elevação dos teores foliares de silício e potássio na safra alta esteve relacionada com o aumento da produção no ano de baixa sugerindo que a elevação dos teores foliares destes, podem ser responsáveis pela amenização dos efeitos da bienalidade da produção de café e melhoria do tipo do café, por ter aumentado a proporção de grãos com tamanhos de peneiras acima de 17. Desse modo, a qualidade pode ter sido afetada, pois houve redução da proporção de frutos no estádio de “verde cana” e grãos de peneiras baixas, afetando negativamente o aspecto do café (Nobre et al., 1980), apesar destes não estarem relacionados diretamente com a bebida,

De modo geral, os teores de Si e potássio e os índices de maturação, não se correlacionaram diretamente com as notas dos atributos da bebida do café a não ser a produção da safra em questão (Tabela 2). Os frutos no estádio de “verde cana” que correlacionaram positivamente com a “bebida limpa” que, por sua vez, se correlacionou com todas as notas dos atributos da bebida.

TABELA 2. Índices de correlação entre os atributos avaliados na safra de 2006.

	Prod 2006	Prod 2007	Si foliar	K foliar	Cereja	Passa	Seco	Verde cana	Verde	Peneiras		Bebida limpa	Doçura	Acidez	Corpo	Sabor	Retro- gosto	Balanço	Geral	Nota final
										>17	16, 15 e 14									
Prod 2006	1,00	<u>-0,83</u>	-0,52	<u>-0,77</u>	0,59	<u>-0,73</u>	-0,48	<u>0,91</u>	0,19	-0,61	0,69	<u>0,75</u>	0,56	0,59	<u>0,74</u>	0,66	0,67	<u>0,76</u>	<u>0,71</u>	<u>0,80</u>
Prod 2007		1,00	0,69	<u>0,75</u>	-0,08	0,28	-0,05	<u>-0,71</u>	-0,26	<u>0,70</u>	<u>-0,88</u>	-0,57	-0,45	-0,27	-0,55	-0,46	-0,48	-0,68	<u>-0,72</u>	-0,63
Si Foliar			1,00	<u>0,40</u>	0,05	0,01	-0,03	-0,31	-0,08	0,14	-0,24	0,00	0,14	0,11	-0,01	0,20	-0,01	-0,03	-0,06	0,04
K Foliar				1,00	-0,33	<u>0,36</u>	0,33	<u>-0,46</u>	-0,20	<u>0,36</u>	<u>-0,54</u>	-0,14	0,05	0,01	-0,14	-0,09	-0,04	-0,22	-0,08	-0,10
Cereja					1,00	<u>-0,92</u>	<u>-0,89</u>	0,39	-0,11	-0,12	0,02	0,14	0,04	0,16	0,28	0,15	0,11	0,10	0,07	0,15
Passa						1,00	<u>0,66</u>	<u>-0,62</u>	0,08	0,37	-0,25	-0,20	-0,11	-0,20	-0,33	-0,18	-0,14	-0,13	-0,17	-0,21
Seco							1,00	-0,19	-0,04	-0,10	0,17	-0,11	-0,02	-0,15	-0,22	-0,16	-0,12	-0,10	-0,01	-0,13
V Cana								1,00	0,02	<u>-0,64</u>	<u>0,57</u>	<u>0,38</u>	0,27	0,32	0,25	0,28	0,27	0,31	0,27	0,34
Verde									1,00	-0,10	0,11	0,07	0,19	0,12	0,24	0,24	0,15	0,05	0,17	0,17
Pen >17										1,00	<u>-0,87</u>	-0,11	-0,28	-0,18	-0,22	-0,18	-0,07	-0,16	-0,26	-0,22
Pen 16 15 14											1,00	0,14	0,20	0,04	0,14	0,09	0,04	0,20	0,25	0,17
Bebida limpa												1,00	<u>0,77</u>	<u>0,69</u>	<u>0,62</u>	<u>0,70</u>	<u>0,53</u>	<u>0,93</u>	<u>0,75</u>	<u>0,88</u>
Doçura													1,00	<u>0,71</u>	<u>0,76</u>	<u>0,80</u>	<u>0,53</u>	<u>0,71</u>	<u>0,80</u>	<u>0,89</u>
Acidez														1,00	<u>0,73</u>	<u>0,80</u>	<u>0,77</u>	<u>0,69</u>	<u>0,66</u>	<u>0,87</u>
Corpo															1,00	<u>0,74</u>	<u>0,67</u>	<u>0,62</u>	<u>0,79</u>	<u>0,86</u>
Sabor																1,00	<u>0,71</u>	<u>0,70</u>	<u>0,62</u>	<u>0,87</u>
Retrogosto																	1,00	<u>0,61</u>	<u>0,55</u>	<u>0,77</u>
Balanço																		1,00	<u>0,75</u>	<u>0,88</u>
Geral																			1,00	<u>0,87</u>
Nota final																				1,00

Os índices de correlação em negrito, itálico e sublinhado são significativos pelo teste *t* de student ao nível de 5% de probabilidade. Prod 2006 e Prod 2007 são as produções destes safras onde os atributos da safra 2006 são correlacionados com a produção da safra de 2007. “Cereja”, “Passa”, “Seco”, “Verde Cana” e “Verde” se referem à proporção de frutos nestes estádios de maturação. Pen >17 e Pen 16 15 14 se referem à proporção de grãos beneficiados retidos nestas peneiras. Beb Limpa (bebida limpa), Doçura, Acidez, Corpo, Sabor, R gosto (retrogosto), Balanço, Geral e Nota Final são notas atribuídas à bebida do café segundo a classificação da BSCA.

TABELA 3. Índices de correlação entre os atributos avaliados na safra de 2007.

	Prod 2007	Si foliar	K foliar	Cereja	Passa	Seco	Verde cana	Verde	Peneiras		Bebida limpa	Doçura	Acidez	Corpo	Sabor	Retro- gosto	Balanço	Geral	Nota final
									>17	16, 15 e 14									
Prod 2007	1,00	-0,53	-0,11	-0,18	<i>-0,71</i>	0,39	0,61	0,66	-0,44	0,48	-0,49	-0,35	-0,55	-0,66	-0,56	-0,62	-0,20	-0,52	-0,03
Si Foliar		1,00	-0,05	-0,12	<i>0,43</i>	0,07	-0,34	-0,21	0,03	-0,11	0,00	0,00	0,19	0,23	0,07	0,29	0,01	-0,01	-0,13
K Foliar			1,00	0,20	0,24	<i>-0,39</i>	-0,27	-0,27	0,18	-0,20	0,18	0,12	0,32	0,27	0,04	<i>0,39</i>	0,23	0,21	0,06
Cereja				1,00	-0,12	-0,01	<i>-0,48</i>	<i>-0,64</i>	<i>0,55</i>	<i>-0,46</i>	<i>0,46</i>	<i>0,48</i>	<i>0,36</i>	<i>0,39</i>	<i>0,48</i>	<i>0,35</i>	<i>0,48</i>	<i>0,38</i>	0,01
Passa					1,00	-0,23	<i>-0,73</i>	<i>-0,63</i>	0,29	<i>-0,36</i>	0,23	0,30	<i>0,64</i>	<i>0,52</i>	0,27	<i>0,57</i>	0,34	<i>0,38</i>	0,21
Seco						1,00	0,04	0,04	<i>-0,36</i>	<i>0,37</i>	0,02	0,08	0,06	0,08	0,08	0,07	-0,10	-0,11	0,03
V Cana							1,00	<i>0,82</i>	<i>-0,52</i>	<i>0,57</i>	<i>-0,40</i>	<i>-0,60</i>	<i>-0,71</i>	<i>-0,62</i>	<i>-0,59</i>	<i>-0,63</i>	<i>-0,56</i>	<i>-0,49</i>	-0,17
Verde								1,00	<i>-0,55</i>	<i>0,52</i>	<i>-0,56</i>	<i>-0,56</i>	<i>-0,80</i>	<i>-0,75</i>	<i>-0,51</i>	<i>-0,76</i>	<i>-0,58</i>	<i>-0,57</i>	-0,19
Pen >17									1,00	<i>-0,94</i>	<i>0,51</i>	<i>0,48</i>	<i>0,49</i>	<i>0,49</i>	<i>0,41</i>	<i>0,42</i>	<i>0,64</i>	<i>0,60</i>	0,01
Pen 16 15 14										1,00	<i>-0,46</i>	<i>-0,43</i>	<i>-0,50</i>	<i>-0,49</i>	<i>-0,47</i>	<i>-0,41</i>	<i>-0,55</i>	<i>-0,59</i>	-0,11
Bebida limpa											1,00	<i>0,64</i>	<i>0,62</i>	<i>0,78</i>	<i>0,47</i>	<i>0,68</i>	<i>0,78</i>	<i>0,86</i>	0,21
Doçura												1,00	<i>0,57</i>	<i>0,56</i>	<i>0,67</i>	<i>0,49</i>	<i>0,77</i>	<i>0,71</i>	0,06
Acidez													1,00	<i>0,84</i>	<i>0,49</i>	<i>0,85</i>	<i>0,65</i>	<i>0,72</i>	0,23
Corpo														1,00	<i>0,49</i>	<i>0,89</i>	<i>0,63</i>	<i>0,68</i>	0,25
Sabor															1,00	<i>0,39</i>	<i>0,49</i>	<i>0,48</i>	0,27
Retrogosto																1,00	<i>0,53</i>	<i>0,59</i>	0,23
Balanço																	1,00	<i>0,80</i>	0,14
Geral																		1,00	0,17
Nota final																			1,00

Os índices de correlação em negrito e itálico são significativos pelo teste *t* de student ao nível de 5% de probabilidade. “Cereja”, “Passa”, “Seco”, “Verde Cana” e “Verde” se referem à proporção de frutos nestes estádios de maturação. Pen >17 e Pen 16 15 14 se referem à proporção de grãos beneficiados com tamanho destas peneiras. Beb Limpa (bebida limpa), Doçura, Acidez, Corpo, Sabor, R gosto (retrogosto), Balanço, Geral e Nota Final são notas atribuídas à bebida do café segundo a classificação da BSCA.

Na safra do ano de baixa produção, a proporção de frutos no estágio “passa” reduziu com o aumento dos teores foliares de silício e com a redução da produção deste ano. Este aumento dos frutos tipo “passa” significou redução de peneiras baixas (14, 15 e 16) e aumento de peneiras altas que, por sua vez, correlacionaram-se positivamente com as notas de bebida. A elevação dos teores foliares de potássio reduziu a proporção de frutos secos, elevando a proporção de frutos nas peneiras altas, que teve relação direta com a melhoria das notas para os atributos de bebida (Tabela 3).

De forma diferente que na safra de produção alta, os frutos do tipo “cereja” e peneiras acima de 17 correlacionaram positivamente com as notas para os atributos de bebida. Os frutos “verdes” e “verde cana” correlacionaram-se negativamente com a qualidade de bebida (Tabela 3).

Dessa forma, fica bastante evidente que os teores de Si e K foliares na safra baixa, possuem efeitos indiretos na qualidade do café melhorando a uniformidade de maturação e as proporções grãos retidos em peneiras altas e estas à qualidade da bebida, mas que na safra alta não foram observadas muitas correlações com notas de bebida.

Estas melhores correlações na safra baixa talvez expliquem melhor os efeitos nos parâmetros de qualidade, pois são conseqüências dos tratamentos da safra alta anterior.

Apesar das doses de silicato de potássio não elevarem estes nutrientes nas folhas, eles afetaram os índices de qualidade, sugerindo que, talvez a estatística ou mesmo os métodos de análise não estejam conseguindo detectar as pequenas alterações na concentração destes nutrientes na folha que levam as alterações significativas dos índices de qualidade do café avaliados neste trabalho.

4 CONCLUSÕES

Os resultados levaram a concluir que a aplicação foliar com silício líquido solúvel influenciaram a proporção dos diferentes estádios de maturação dos frutos, que afetou o rendimento e produção do café.

O metassilicato de potássio (Meta) foi significativamente inferior ao silicato de potássio (Sili-K) ao reduzir as peneiras altas na safra de alta produção, enquanto o silicato de potássio elevou a proporção destas na safra de baixa produção. Os melhores efeitos foram observados entre as doses de 1710 e 5000 mg L⁻¹.

Na mesma faixa de dose e independente da fonte utilizada, houve melhoria das notas de “acidez” e “balanço” da bebida na safra de baixa e do “corpo” da bebida, independente da safra. Os teores de Si e K na folha relacionaram indiretamente com a qualidade de bebida na safra de baixa produção e na amenização da bienalidade de produção do café.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington, 1990. v. 2.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. In.: Qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BELANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329–36, Apr. 1995.

BRASIL. Decreto n°. 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei n°. 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou

biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Decreto n. 86955 de 18 de fevereiro de 1982. Legislação-Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 fev. 1982. Seção 1, v. 120, n. 36, p. 3240-3248.

BRAZIL SPECIALITY COFFEE ASSOCIATION. Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA). 2007. Disponível em: <<http://www.bsca.com.br>>. Acesso em: 17 dez. 2007.

CASEY, W. H.; KINRADE, S. D.; KNIGHT, C. T. G.; RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. **Plant Cell Environment**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 51–54, Jan. 2003.

CHALFOUM, S. M.; CARVALHO, V. M. Doenças e nematóides em cafeeiros. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA, 2002. p. 317.

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

DEPARTMENT OF LAND AND WATER RESOURCES ENGINEERING – KTH. Visual Minteq version 2.53. Stockholm, 2007. Disponível em: <<http://www.lwr.kth.se/English/OurSoftware/vminteq>>. Acesso em: 01 dez. 2007.

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. Cap. 8, p. 149-158.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington. v. 39, n. 6, p. 1118-1119, June 1991.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERRONI, J. B.; TUJA, F. P. Observações sobre rendimento e tipo do café em várias misturas de frutos verdes e maduros. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 18., 1992, Araxá. **Resumos...** Rio de Janeiro: MARA/PROCAFÉ, 1992. p. 112-113.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA, 2002.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2006. v. 1, 98 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Plant-related silicon research in Canada. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. Cap. 20, p. 323-341.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6., p. 906-912, Nov. 1992.

NOBRE, G. W.; TEIXEIRA, R. A. F.; CARVALHO, C. H. S. Rendimento e qualidade do café em frutos colhidos em diferentes estádios de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8., 1980, Campos do Jordão. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1980. p. 417-419.

PIMENTA, C. J. **Época de colheita e tempo de permanência dos frutos a espera da secagem, na qualidade do café (*coffea arábica* L.)**. 2001. 145 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003. 304 p.

POZZA, A. A. A. **Silício em mudas de cafeeiro**: efeito na nutrição mineral e na suscetibilidade à cercosporiose em três variedades. 2004. 84 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica*, L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** 1992. 125 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, A. A. A qualidade do café que o mercado quer comprar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal, SP. **Resumos...** Rio de Janeiro: MARA/PROCAFÉ, 1990. p. 13-14.

ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 323-330.

CAPÍTULO 2

APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL NA PRODUÇÃO DE COMPOSTOS DE DEFESA E NO CONTROLE DE FERRUGEM DO CAFEIEIRO (*Hemileia vastatrix*)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de fontes e doses de silício líquido solúvel na incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro e sua relação com os teores foliares de compostos fenólicos, lignina, silício e potássio. O experimento foi realizado numa lavoura de Mundo Novo IAC 379-19, com oito anos de idade, no município de Santana da Vargem, Sul de Minas Gerais, a 883m de altitude. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em um esquema fatorial 2x4, com fontes e doses de silício líquido solúvel nas formas de silicato de potássio (Sili-K) e metasilicato de potássio pentahidratado (Meta) nas concentrações de 0, 855, 1710 e 8550 mg L⁻¹ de Si em três aplicações via foliar com intervalo de 45 dias a partir da segunda quinzena do mês de dezembro, nas safras de 2006 e 2007. Foi possível concluir que as fontes e doses de silício líquido solúvel não elevaram dos teores foliares de Si e K, apesar dos teores destes, relacionarem positivamente com a produção da safra seguinte. O Sili-K se mostrou superior ao Meta na redução da incidência da ferrugem, mas, as doses reduziram a severidade da doença independente da fonte. As imagens de microscopia eletrônica revelam maior recobrimento das superfícies foliares com aumento das doses de Si evidenciando uma barreira física. O aumento dos teores de Si e K e a redução dos teores de fenóis totais estão ligados à elevação da produtividade na safra seguinte, podendo futuramente, ser considerados índices do potencial produtivo do café.

Palavras-Chave: silicato de potássio, fenóis totais, adubação foliar, resistência.

**FOLIAR APPLICATION OF SOLUBLE LIQUID SILICON IN THE
PRODUCTION OF DEFENSE COMPOUNDS AND IN CONTROL OF
COFFEE LEAF RUST (*Hemileia Vastatrix*)**

ABSTRACT

The current work aimed to evaluate the effects of the foliar application of sources and doses of soluble liquid silicon on the occurrence and severity of the coffee tree rust and its relation with the leaf contents of the phenolic compounds, lignin, silicon and potassium. The experiment took place in a cropping of Mundo Novo IAC 379-19, with eight years of age, located in Coqueiros Farm, in the district of Santana da Vargem, South of Minas Gerais State, at 883m of altitude. It was utilized a randomized block-type delineation in a 2x4 factorial scheme, with sources and doses of soluble liquid silicon in the forms of potassium silicate (Sili-K) and pentahydrate potassium silicate (Meta) in concentrations of 0, 855, 1710 and 8550 mg L⁻¹ of Si, in three applications via foliar at interval of 45 days from the second fortnight of december in the harvests of 2006 and 2007. It was possible to conclude that the sources and doses of soluble liquid silicon did not raise the foliar contents of Si and K in spite of their contents to be positively related with the production of the following harvest. The Sili-K showed itself superior to the Meta in reducing the occurrence of rust, however, the doses reduced the severity of the disease, independent of the source. The images of electronic microscopy made evident a larger re-covering of the foliar surfaces with increases of the Si doses making evident a physical barrier. The increase of the contents of Si and K, and the reduction of the contents of total phenols are connected to the rise of productivity in the following harvest and can be in future considered indexes of productive potential of coffee.

Key-Words: potassium silicate, total phenols, foliar fertilization, resistance.

1 INTRODUÇÃO

O silício solúvel, na forma de silicato de potássio, teve a sua comercialização e utilização aprovada em 14/01/2004, através do decreto-lei nº 4.954 (que regulamenta a lei 6.894 de 16/01/1980), juntamente com a inclusão do silício como micronutriente para as plantas (Brasil, 2004). Na Europa, essa fonte já vem sendo utilizada em cultivos protegidos via solução nutritiva ou para aplicação foliar, como uma ferramenta no manejo integrado de pragas e doenças e, também, na amenização de estresses abióticos como temperaturas extremas, toxidez e deficiências nutricionais (Bélanger et al., 1995).

Apesar de possuir um grande potencial de utilização, existem poucas informações e pesquisas que elucidem as vantagens da tecnologia de aplicação foliar de fontes de silício solúvel, principalmente, por induzir mecanismos de resistência aos patógenos pelas plantas hospedeiras, quando tratadas com silício. Esta redução de infecção pode ser explicada pelo acúmulo do silício na parede celular, impedindo a penetração de fungos nos tecidos das plantas, formando uma barreira física (Bowen et al., 1992) ou pela ativação dos mecanismos naturais de defesa da planta como, por exemplo, a produção de compostos fenólicos como as quitinases, peroxidases ou pelo acúmulo de lignina formando uma barreira química (Samuels et al., 1991; Chérif et al., 1992a,b; Fawe et al., 1998; Epstein, 1999). Nas plantas nutridas com silício essas barreiras podem coexistir e agir de forma sinérgica e seqüencial à infecção patogênica. Isto, porque, a barreira física é o primeiro impedimento à infecção, que após atravessada, o fungo encontrará a barreira química de compostos de defesa, que dificultando o desenvolvimento do patógeno e tornando-o susceptível a outras condições que prejudicam a infecção.

O silicato de potássio se destaca por ser uma fonte de alta solubilidade e pureza, que o torna uma alternativa limpa e, potencialmente eficiente no manejo integrado de pragas e doença foliares. Seu modo de ação deverá ser diferente ao do silício aplicado via solo, que se deposita nos pontos de maior transpiração e não é redistribuído para as outras partes da planta (Epstein, 1991; Casey et al., 2003). O silicato de potássio aplicado via foliar forma um filme sobre a folha após a secagem das gotas, agindo como uma barreira física à penetração de patógenos, podendo ainda ser absorvido, induzindo à produção de compostos tóxicos aos patógenos (Menzies et al., 1992). Até pouco tempo acreditava-se que somente as gramíneas acumuladoras seriam beneficiadas pela aplicação do Si, no entanto, dicotiledôneas como pepineiro, foram beneficiadas pela aplicação do Si, principalmente, quando aplicado via foliar (Bowen et al., 1992). Dessa forma, o cafeeiro, que também é uma dicotiledônea, poderia ser beneficiado pela aplicação foliar de silicato de potássio, no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix*). Esta, por sua vez, é a principal doença do cafeeiro e pode causar prejuízos de até 30% da produção (Zambolim., 2000). Alguns trabalhos preliminares revelam tendências sobre a ação do silicato de potássio no controle da ferrugem do cafeeiro. A aplicação de silicato de potássio via foliar com pH 5,5 e 10,5, mostram uma tendência de melhoria da ação fúngica em pH alto, apesar de semelhantes estatisticamente (Missio et al., 2005a; Missio et al., 2005b). Por existirem algumas tendências e poucos trabalhos a respeito, muitos pontos ainda devem ser estabelecidos.

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de fontes e doses de silicato de potássio sobre a incidência e a severidade da ferrugem e sua relação com os teores foliares de compostos fenólicos, lignina, silício e potássio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Coqueiros, no município de Santana da Vargem, Sul de Minas Gerais a uma altitude de 883m tendo como coordenadas 21° 17' 9,71''S e 45° 24' 43,29''O numa lavoura da cultivar Mundo Novo IAC 379-19, plantada no espaçamento de 3,5m x 0,7m com oito anos de plantio, contendo 4080 plantas ha⁻¹ sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. A análise química do solo em 2006, antes do início do experimento continha: pH: 5,1; P: 10 mg kg⁻¹; K: 115 mg kg⁻¹; Ca: 2,9 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,1 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 12,9 mg dm⁻³; MO: 4,0 %; Zn: 2,5 mg kg⁻¹; B: 0,7 mg kg⁻¹; Mn: 8,96 mg kg⁻¹; Cu: 1,99 mg kg⁻¹; Fe: 19,92 mg kg⁻¹; V: 52%. No ano de 2007 a análise química constava: pH: 5,0; P: 7 mg kg⁻¹; K: 154 mg kg⁻¹; Ca: 2,3 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,7 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 9,1 mg dm⁻³; MO: 2,3 %; Zn: 4,1 mg kg⁻¹; B: 1,0 mg kg⁻¹; Mn: 10,21 mg kg⁻¹; Cu: 3,24 mg kg⁻¹; Fe: 22,41 mg kg⁻¹; V: 35,1%. Com base nestas análises e carga pendente estimada à adubação de solo foi de 700 kg ha⁻¹ de fertilizante 30-00-10 na safra de 2006 e 750 kg ha⁻¹ do fertilizante 20-05-20 na safra de 2007. Em cada safra, foram realizadas três aplicações foliares em caldas distintas dos tratamentos, que continham 2 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre, 1 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, 1,5 kg ha⁻¹ de sulfato de manganês e 0,8 kg ha⁻¹ de KCl e 0,3 mL L⁻¹ de espalhante adesivo (Dufol®).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em um esquema fatorial 2x4, com fontes e doses de silicato de potássio na forma de silicato de potássio (Sili-K: 171 g L⁻¹ de Si e 210 g L⁻¹ de K₂O) e metassilicato de potássio pentahidratado (Meta: 238 g L⁻¹ de Si e 510 g L⁻¹ de K₂O) nas concentrações de 0, 855, 1710 e 8550 mg L⁻¹ com quatro repetições. Cada parcela continha nove plantas, sendo cinco plantas úteis e quatro de bordadura dentro da linha de plantio, uma linha de bordadura entre as parcelas separando os blocos. Os tratamentos foram pulverizados na folhagem dos cafeeiros com

turbopulverizador Jacto Arbus 400, em um volume de calda correspondente a 400 L ha⁻¹ associado ao espalhante adesivo Haiten[®] na dose de 0,3 mL L⁻¹. As pulverizações foram realizadas em três épocas (dezembro, fevereiro e março), com intervalos de 45 dias, a partir da segunda quinzena do mês de dezembro de cada ano agrícola.

A colheita das plantas para avaliação da produção foi realizada em 15 de julho do ano de 2006 (safra alta) e 10 de junho no ano de 2007 (safra baixa). Para a determinação da incidência e severidade da ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*) foram coletadas 30 folhas ao final do mês de maio de cada ano, após 120 dias da última aplicação dos tratamentos. A incidência foi determinada pela proporção de folhas com pústulas da ferrugem, enquanto a severidade, pelo número de médio de pústulas por folha infectada. Após a avaliação fitopatológica, as folhas foram lavadas com água destilada e enviadas para a determinação da lignina e fenóis totais (taninos), no Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, conforme a metodologia de Folin-Denis (AOAC, 1990). Os teores de Si foram determinados, no Laboratório de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia pelo método da autoclave (Elliott & Synder, 1991). Os teores de potássio foram determinados conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), no laboratório da Cooperativa de Cafeicultores da Zona de Três Pontas. Uma amostra representativa de folha fresca de cada tratamento foi encaminhada para a realização da eletromicrografia de varredura de modo a visualizar a superfície foliar e dar suporte à discussão dos possíveis resultados. Destas, foram retirados fragmentos do limbo foliar de 3 x 3mm, das superfícies adaxial e abaxial e montados em suportes de alumínio “stubs”, com o auxílio de fita adesiva de carbono dupla face banhados com ouro. Em seguida, os fragmentos das amostras foram observados no aparelho LEO, modelo Evo40, realizadas no Laboratório de Microscopia do Departamento de Fitopatologia da UFLA. As eletromicrografias foram capturadas e editoradas no Software

Photopaint do pacote Corel Draw 9, com o objetivo de ajustar o brilho, contraste e nitidez destas.

Os dados foram submetidos à análise de variância através programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2000), sendo as fontes de silicato de potássio testadas pelo teste de Scott-Knott a 5% e as doses de Si submetidas ao estudo de regressão, sendo os gráficos plotados no programa SigmaPlot 10.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra de 2006, onde a carga pendente foi maior e, portanto, a pressão da ferrugem tendeu a ser maior (Zambolim, 2000), sendo que a sua ocorrência (incidência), foi influenciada pela fonte e dose aplicada na folha, mas não pela interação de fontes e doses de silicato de potássio. O silicato de potássio (Sili-K) proporcionou valores menores de incidência da ferrugem e maior proporção de folhas saudias do que o metassilicato de potássio (Meta) (Tabela 1).

Somente a incidência de ferrugem teve influência da dose aplicada na folha na safra 2006, de modo que com o aumento das doses de silicato, a incidência da ferrugem reduziu de forma exponencial (Figura 1A).

Em 2007, ano de safra baixa, a incidência da ferrugem foi influenciada pelas fontes e doses de Sili-K, onde observando-se uma redução de forma quadrática com o aumento das doses, até a dose de 4826 mg L⁻¹ ao passo que, com o aumento das doses do Meta houve uma elevação da incidência da ferrugem (Figura 1B).

A severidade medida em número de pústulas por folha foi influenciada somente pelas doses, de modo que na safra de 2006, observou-se uma redução quadrática até um mínimo estimado de 0,84 pústulas por folha na dose estimada de 5042 mg L⁻¹ (Figura 2A). Enquanto na safra de 2007 foi observada apenas

uma de redução linear da severidade, em função das doses, no entanto, o modelo linear obteve baixo ajuste (Figura 2B).

TABELA 1. Efeito das fontes de silicato de potássio sobre os teores de silício, potássio, fenólicos, lignina, folhas saudias e da ferrugem do cafeeiro, nos anos de 2006 e 2007. UFLA, Lavras, 2007.

Fonte ^{1/}	Si	K	Fenóis totais	Lignina	Folhas saudias	Ferrugem	
						Inc ^{2/}	Sev ^{3/} pústulas/ folha
-----2006-----							
Sili-K	0,58 a	2,17 a	8,63 b	9,33 a	64,11 a	35,9 b ^{4/}	6,4 a
Meta	0,59 a	2,20 a	9,66 a	9,38 a	56,47 b	43,5 a	3,0 a
CV (%)	11,02	1,05	2,91	2,91	18,91	28,7	38,2
-----2007-----							
Sili-K	0,61 a	1,94 a	7,61 b	14,55 a	44,2 a	51,7 a	3,2 a
Meta	0,66 a	1,85 a	8,23 a	14,66 a	38,3 a	56,0 a	3,3 a
CV (%)	13,93	3,03	5,75	2,67	22,19	14,4	31,9

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.^{1/} SiliK: silicato de potássio; MetassiliK: metassilicato de potássio pentahidratado.^{2/} incidência. ^{3/} severidade. ^{4/} Significativo à 10% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

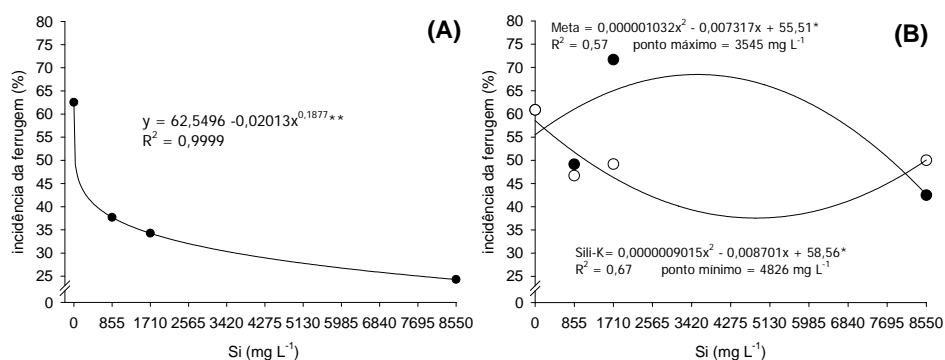


FIGURA 1. Incidência da ferrugem, em função das doses de silício, em aplicação foliar nos anos 2006 (A) e 2007 (B). UFLA, Lavras, 2007.

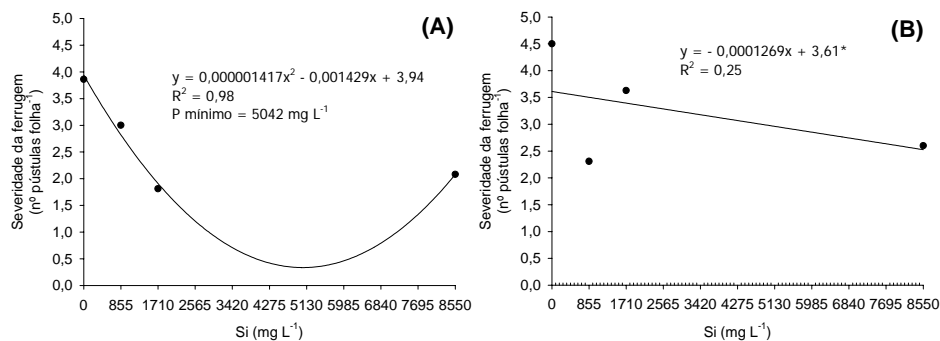


FIGURA 2. Severidade da ferrugem em função das doses de silício em aplicação foliar nos anos 2006 (A) e 2007 (B). UFLA, Lavras, 2007.

A porcentagem de folhas sadias aumentou de forma exponencial no sentido da maior dose no ano de 2006 (Figura 3A); no ano de 2007 observou-se uma elevação quadrática até a dose de 4780 mg L⁻¹ de Si da fonte silicato de potássio (Sili-K) e com tendência linear para a fonte metassilicato de potássio (Meta), cujo modelo teve baixo ajuste (Figura 3B).

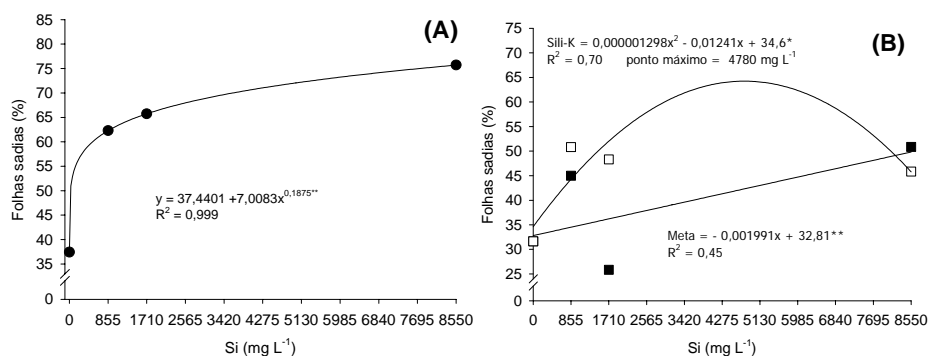


FIGURA 3. Porcentagem de folhas sadias em função das doses de silício nos anos de 2006(A) e 2007 (B). UFLA, Lavras, 2007.

Observou-se uma superioridade do silicato de potássio sobre o metassilicato de potássio, devido às suas características químicas como uma

relação Si:K maior, o que proporciona um potencial maior de polimerização com compostos de cutícula na superfície foliar (Reis et al.,2007), após a evaporação da água da calda aplicada, constituindo assim, uma barreira física mais efetiva à penetração do patógeno (Menzies et al., 1992). No entanto, esta barreira não permanece por muito tempo na folha, em razão da solubilização e lavagem proporcionada pela chuva, atrito entre as folhas e a própria escamação das placas de cera da folha que é um mecanismo natural, que as plantas utilizam para se livrarem de agentes patogênicos como esporos de fungos e insetos (Shepherd e Griffiths, 2006).

Esses resultados concordam com os obtidos por Missio et al. (2005), que verificaram uma sensível redução da ferrugem em mudas de cafeeiro, principalmente onde não houve alteração do pH da calda como realizado neste trabalho. Deste modo, quando não é realizado ajuste do pH da calda, o silicato de potássio permanece na forma iônica e solúvel em concentrações elevadas.

Na safra de 2006, a lignina teve seus teores reduzidos com o aumento das doses de silício, somente na fonte metassilicato de potássio (Figura 4A), e na safra seguinte, foi observada uma elevação sutil com baixo ajuste do modelo linear.

As doses de silicato de potássio provocaram uma elevação quadrática dos teores de lignina até uma dose estimada de 3350 mg L^{-1} , na safra de baixa produção (Figura 4B). Na safra de maior produção foram observados teores de lignina bem abaixo dos observados na safra de baixa produção.

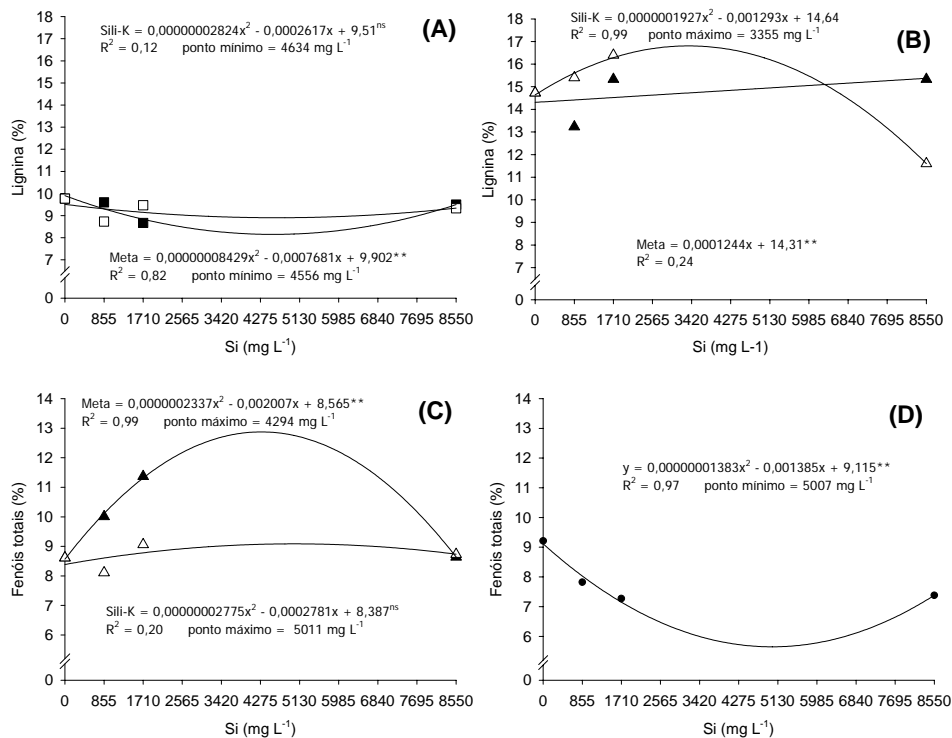


FIGURA 4. Teores de lignina em função das doses de silício em aplicação foliar nos anos 2006 (A) e 2007 (B) e teores de fenóis totais no ano de 2006 (C) e no ano de 2007 (D). UFLA, Lavras, 2007.

O metassilicato de potássio proporcionou aumentos nos teores de fenóis totais (Figura 4C) até próximo ao ponto onde houve um menor valor na severidade da ferrugem (Figura 2A); o silicato de potássio (Sili-K) não proporcionou alterações significativas no ano de 2006. No ano seguinte, as doses reduziram de forma quadrática os teores de fenóis totais independente da fonte (Figura 4D) e semelhante à redução da incidência da ferrugem proporcionada pelas doses de silicato de potássio (Sili-K). Isso pode indicar que os fenóis totais possam ter sido alterados pela doença e que o controle da ferrugem pela aplicação de silício solúvel pode interferir, reduzindo a ocorrência de ferrugem, que naturalmente induz reação de defesa (Agrios, 2005). As alterações dos

teores de lignina podem ter sido influenciados pelos teores de fenóis totais, pois, estes são precursores do biossintese deste composto (Taiz & Zeiger, 2004). Isto pode ser visualizado nos gráficos da Figura 4, onde os fenóis aumentaram e a lignina diminuiu de forma inversa e quadrática nos dois anos. Através dos resultados obtidos neste trabalho, também não foi possível afirmar ou descartar completamente o efeito do Si, como responsável alteração destes compostos apesar dos teores foliares não terem sido alterados por nenhuma das doses.

Nas eletromicrografias de varredura realizadas nas folhas coletadas em junho de 2007, foi possível observar características importantes que podem ajudar a esclarecer os resultados obtidos na redução da ferrugem das folhas. Na Figura 6B observa-se o uredosporo da *Hemileia vastatrix*, germinando sobre o estômato. Nas superfícies adaxial (Figuras 6A, 6C, e 6E) e abaxial (Figuras 6B, 6D, 6F e 6I) foi observado um aumento da cera tipo filme, à medida em que se aumentou a dose do metassilicato de potássio, culminando com a presença de placas na dose de 8550 mg L⁻¹ desta fonte (Figuras 6G, 6H e 6I).

Em todas as doses de silicato de potássio, observou-se a presença de resquícios de placas de sílica nas superfícies adaxiais, apontadas pelas setas nas figuras 7A, 7B, 7D, 7F. Na dose de 855 mg L⁻¹ ainda continha resquícios destas placas (Figura 7A), bem como janelas, onde já havia se soltado a placa (Figura 7B). Nas superfícies abaxiais, estas placas foram visualizadas somente na maior dose, que foi de 8550 mg L⁻¹ de silicato de potássio (Figura 7H e 7G). Nesta última, é possível visualizar os estômatos no meio das placas, supondo que esta estrutura não venha a comprometer a fixação de carbono atmosférico.

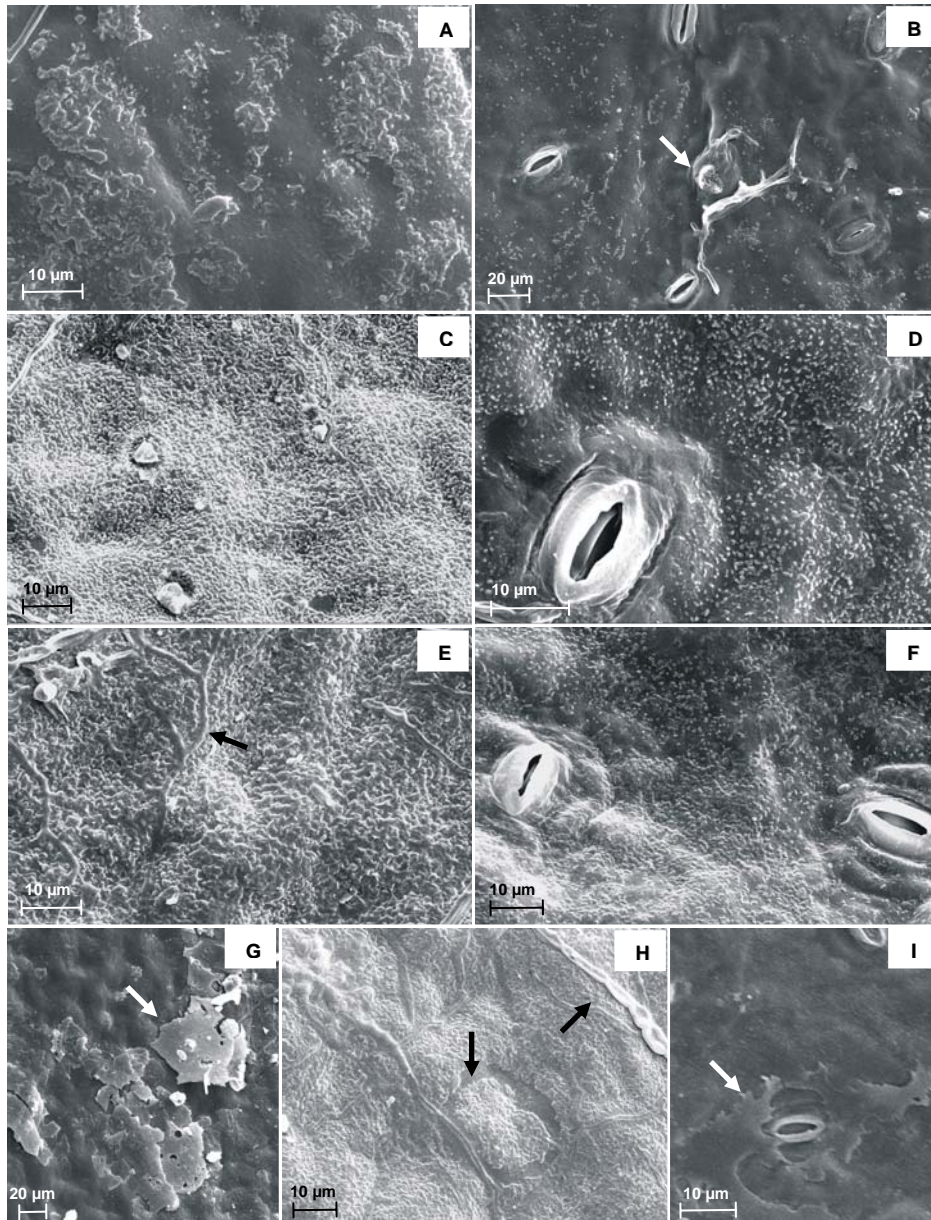


FIGURA 6. Eletromicrografia da superfície adaxial da testemunha (A), metassilicato de potássio 855 mg L⁻¹ (C), 1710 mg L⁻¹ (E), 8550 mg L⁻¹ (G; H). Superfície abaxial da testemunha (B), metassilicato de potássio 855 mg L⁻¹ (D), 1710 mg L⁻¹ (F), 8550 mg L⁻¹ (I).

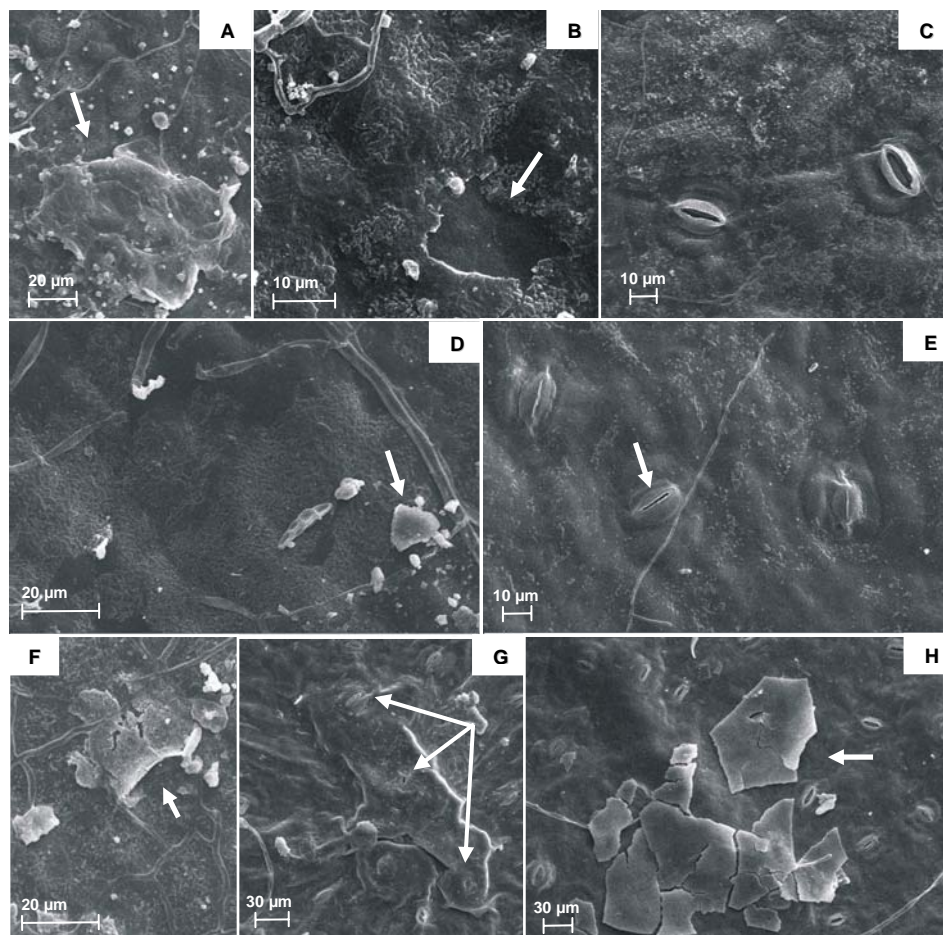


FIGURA 7. Eletromicrografia da superfície adaxial dos tratamentos com silicato de potássio 855 mg L^{-1} (A), 1710 mg L^{-1} (B), 8550 mg L^{-1} (F; G). Superfície abaxial dos tratamentos com silicato de potássio 855 mg L^{-1} (C), 1710 mg L^{-1} (E), 8550 mg L^{-1} (H).

Na dose de 1710 mg L^{-1} observou-se que todos os estômatos encontravam-se fechados ou entreabertos, podendo indicar algum efeito regulatório deste tratamento, na abertura e fechamento de estômatos, uma vez que as condições de coleta foram semelhantes em todos os tratamentos.

Na superfície abaxial da folha na dose de 855 mg L⁻¹ de silicato de potássio, observou-se uma quantidade de cera, tipo filme, ligeiramente maiores que nos demais tratamentos, indicando que este tratamento possa estar influenciando a incidência de doença, pela menor incidência de ferrugem na safra de 2007.

Este aumento de cera observado pode ter ocorrido pela ação direta, com a polimerização do silício com compostos de cutícula ou mesmo de forma indireta por estimular o metabolismo responsável pela produção de compostos de cutícula, como sugerido por Pozza (2004), mas ainda é possível que ambos possam estar ocorrendo simultaneamente, já que não foram determinados os teores de cera neste trabalho e, portanto, não foi possível diferenciar a cera das placas de silício polimerizado com esses compostos.

3.1 Correlações do Si e K foliares com ferrugem, fenólicos e produção

A lignina correlacionou-se negativamente com os teores foliares de silício e potássio. Observou-se um aumento da porcentagem de folhas sadias com a elevação do silício foliar, provavelmente, porque os teores foliares de silício correlacionaram-se de forma negativa com a incidência e severidade da ferrugem, ou seja, foi observado que ferrugem teve seus índices de incidência e severidade reduzidos, à medida em os teores de silício foliar se elevaram. Fato que não foi constatado com o K foliar (Tabela 2).

Ao analisar a correlação da produção do ano seguinte (Tabela 3) foi possível observar que seu aumento se deve à elevação dos teores foliares de silício e potássio. Em outras palavras, pode se dizer que a produção do ano seguinte se correlaciona positivamente com os teores foliares de silício e potássio do ano anterior (Tabela 3). Isso ocorreu, porque as doses de silicato de

potássio afetaram negativamente a incidência da ferrugem, que por sua vez correlaciona com severidade ($r=0,415^{**}$) e esta, com os teores foliares de Si do ano anterior (Tabela 3). A severidade da ferrugem pode causar maior desfolha, redução do “pegamento” da florada e perda da capacidade produtiva do ano seguinte, como comentado por Matiello (2006).

TABELA 2. Correlações entre os teores foliares de silício e potássio com a ferrugem do cafeeiro, fenóis totais e lignina no ano de alta produção (2006).

Teste	Folhas sadias	Fenóis totais	Lignina %	Ferrugem	
				Incidência	Severidade pústulas/folha
silício foliar					
correlação	0,412	-0,019	-0,117	-0,411	-0,296
t calculado	2,476	0,105	0,644	2,472	1,694
significância	*	NS	NS	*	°
potássio foliar					
correlação	-0,08	-0,25	-0,17	0,08	-0,20
t calculado	0,45	1,43	0,95	0,45	1,14
significância	NS	NS	NS	NS	NS

NS não significativo; * Significativo ao nível de 5% e ° 10% de probabilidade pelo teste *t* de student.

TABELA 3. Correlações entre os teores foliares de silício e potássio com a ferrugem do cafeeiro, fenóis totais e lignina na safra anterior (2006) com a produção da safra seguinte (2007).

Teste	Si	K	Folhas sadias	Fenóis totais	Lignina %	Ferrugem	
						Incidência	Severidade pústulas/folha
Produção do ano seguinte							
correlação	0,67	0,67	0,21	-0,70	-0,26	-0,21	-0,49
t calculado	2,20	2,22	0,52	2,37	0,66	0,52	1,36
significância	∞	∞	NS	∞	NS	NS	NS

NS não significativo; ∞ Significativo pelo teste *t* de student ao nível de 8% de probabilidade.

Observou-se um aumento nos teores foliares de fenóis totais da safra anterior com a redução da produção do ano seguinte. Supõem-se que o teor foliar de fenóis totais seja um indicador do potencial produtivo do ano seguinte, pois a elevação nos teores ocorre, quando algum fator estiver prejudicando o cafeeiro, como a produção que estaria sendo prejudicada pela maior demanda energética para a síntese destes compostos. O estresse causado por algum agente sobre a planta desencadeia uma explosão oxidativa que, por sua vez, induz a uma seqüência e compostos, dentre eles, os compostos fenólicos. Estes componentes possuem alta afinidade por proteínas, inativando a função destas no metabolismo vegetal o que na prática, torna um composto difícil de ser degradado pelo patógeno, mas que demanda um gasto energético que deveria ser direcionado à produção (Taiz & Zeiger, 2004). Shi et al. (2005) dissertaram sobre os efeitos do Si, amenizando a toxidez de Mn, que desencadeia uma produção de formas reativas de oxigênio. Constatou-se que onde havia toxidez do Mn, na presença de silício, a produção de peróxido de hidrogênio foi menor que nas plantas intoxicadas sem Si. Também foi observado que a maior atividade de enzimas antioxidantes é responsável pela degradação do H_2O_2 e síntese de compostos de defesa como os compostos fenólicos. O aumento dos teores de fenóis é desejável, quando for modulado por enzimas antioxidantes, pois o H_2O_2 é tóxico tanto para o patógeno quanto para as plantas. Talvez o Si seja este modulador e, por isso, os teores foliares de Si estejam relacionados positivamente com a produção da safra seguinte.

No ano de baixa produção, somente os teores de fenóis e lignina relacionaram negativamente com os teores foliares de K (Tabela 4). Então, a elevação dos teores de potássio nesta situação poderia amenizar a perda de produção na safra seguinte, como comentado anteriormente.

TABELA 4. Correlações dos teores foliares de silício e de potássio com a ferrugem do cafeeiro, fenóis totais e lignina no ano de baixa produção (2007).

Teste	Folhas sadias	Fenóis totais	Lignina %	Ferrugem	
				Incidência	Severidade pústulas/folha
..... silício foliar					
correlação	-0,06	0,19	0,12	0,14	0,06
t calculado	0,35	1,03	0,63	0,75	0,35
significância	NS	NS	NS	NS	NS
..... potássio foliar					
correlação	0,29	-0,52	-0,47	-0,26	0,01
t calculado	1,66	3,35	2,93	1,46	0,05
significância	NS	*	*	NS	NS

NS - não significativo; ** - Significativo pelo teste *t* de student ao nível de 1 % de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de fontes e doses de silicato de potássio não elevaram os teores foliares de Si e K, apesar dos teores destes, relacionarem positivamente com a produção da safra seguinte.

O silicato de potássio mostrou-se superior ao metassilicato de potássio na redução da incidência da ferrugem, porém, as doses dos silicatos de potássio independente da fonte reduziram a severidade da doença.

As imagens de microscopia eletrônica revelam maior recobrimento das superfícies foliares com aumento das doses de Si, evidenciando uma barreira física.

O aumento dos teores de Si e K e a redução dos teores de fenóis totais estão ligados à elevação da produtividade na safra seguinte, podendo futuramente ser considerados índices do potencial produtivo do café.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**, 5th ed. San Diego: Elsevier Academic, 2005. 922 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington, 1990. v. 2.

BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon—its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329-336, Apr. 1995.

BOWEN, P. A.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6., p. 906-912, Nov. 1992.

BRASIL. Decreto n°. 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei n°. 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, n. 6, p. 411-425, Dec. 1992a.

CHÉRIF, M.; MENZIES, J. G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R. R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, n. 5, p. 371-385, Nov. 1992b.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 6, p. 1118-1119, June 1991.

EPSTEIN, E. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding National Academy Science United States of America**, New York, v. 91, p. 11-17, 1991.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon – mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopatology**, St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, May 1998.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **Ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2006. v. 1, 98 p.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6., p. 902-905, Nov. 1992.

MISSIO, V. C.; RODRIGUES, F. A.; KORNDÖRFER, G. H.; CARVALHO, T. M.; ZAMBOLIM, L. Effect of foliar application of potassium silicate on coffee rust development. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia:UFU, 2005a. p. 119.

MISSIO, V.C.; RODRIGUES, F.A.; KORNDÖRFER, G.H.; CARVALHO, T.M.; ZAMBOLIM, L. Effect of potassium silicate on the control of coffee leaf rust under field conditions. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005b. 119 p.

POZZA, A. A. A. **Silício em mudas de cafeeiro: efeito na nutrição mineral e na suscetibilidade à cercosporiose em três variedades**. 84 p. 2004. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 485-492, June 1991.

SHEPHERD, T.; GRIFFITHS, D. W. The effects of stress on plant cuticular waxes. Journal compilation. **New Phytologist**, Cambridge, v. 171, n. 3, p. 469–499, 2006.

SHI, Q. H.; BAO, Z. Y.; ZHUJUN, Z. J.; YONG, H.; QIAN, Q. Q.; YU, J. Q. Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumis sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. **Phytochemistry**, St. Paul, v. 66, n. 13, p. 1551-1559, July 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 323-330.

CAPÍTULO 3

ASSOCIAÇÃO DO SILÍCIO LÍQUIDO SOLÚVEL COM FUNGICIDA E SAIS DE MICRONUTRIENTES NA PROTEÇÃO E NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO

RESUMO

O trabalho teve como objetivo verificar os efeitos da associação do silício líquido solúvel, na forma de silicato de potássio (Sili-K) com fungicida à calda de pulverização no controle de enfermidades e com sais de micronutrientes, na nutrição do cafeeiro. No experimento com fungicida, os tratamentos foram constituídos pelas doses de: 100% fungicida; 75% fungicida + 25% de Sili-K; 50% de fungicida + 50% de Sili-K; 25% de fungicida + 75% Sili-K; 100% de Sili-K e uma testemunha sem tratamento. As doses referentes a 100% foram de 1,5 L ha⁻¹ na 1ª aplicação e 1 L ha⁻¹ na 2ª aplicação para o fungicida e 4 L ha⁻¹ de silicato de potássio em cada uma das duas aplicações. Os tratamentos do experimento, onde foi testada a associação de micronutrientes com SiliK foram: calda micronutrientes; Calda Viçosa; SiliK + micronutrientes e testemunha sem aplicação. Concluiu-se que a associação de 2L ha⁻¹ silício líquido solúvel (SiliK) com a metade da dose recomendada de fungicida (750mL ha⁻¹ do epoxiconazole + pyraclostrobin) na calda, controlou a ferrugem e a cercosporiose semelhante à dose recomendada do fungicida (1,5 L ha⁻¹ e 1,0L ha⁻¹ na 1ª e 2ª aplicação respectivamente). A ocorrência das doenças foliares não esteve relacionada com os teores foliares de K ou Si. A mistura de micronutrientes com silício líquido solúvel na calda potencializou a absorção de Cu, 30 dias após a aplicação, e foi semelhante à Calda Viçosa quanto ao fornecimento de B, Zn e Mn.

Palavras-chave: silicato de potássio, ferrugem, cercóspera, pH de calda, teor foliar.

ASSOCIATION OF THE SOLUBLE LIQUID SILICON WITH FUNGICIDE AND SALTS OF MICRONUTRIENTS IN THE PROTECTION AND NUTRITION OF COFFEE TREE

ABSTRACT

The work aimed to verify the effects of the association of soluble liquid silicon in form of potassium silicate (Sili-K) with fungicide in the spraying solution to control diseases and with the salts of micronutrients in the nutrition of the coffee tree. In the experiment with fungicide, treatments had been constituted by doses of: 100% fungicide; 75% fungicide + 25% of Sili-K; 50% of fungicide + 50% of Sili-K; 100% of Sili-K and a proof without treatment. The doses concerning to 100% were of 1,5 L ha⁻¹ in the first application and 1 L ha⁻¹ in the second application to the fungicide, and 4 L ha⁻¹ of Sili-K in each one of the two applications. The treatments of the experiment where the association of micronutrients with Sili-K was tested were: micronutrient solution; Viçosa solution; Sili-K + micronutrients and proof without application. It was concluded that the association of 2 L ha⁻¹ of soluble liquid silicon (Sili-K) with half of the prescribed dose of fungicide (750 ml ha⁻¹ of epoxiconazole + pyraclostrobin) in solution, had controlled rust and brown-eye-spot as well as the prescribed dose of fungicide (1,5 L ha⁻¹ and 1,0 L ha⁻¹ in the 1st and 2nd applications respectively). The occurrence of foliar diseases was not related to the foliar contents of K or Si. The mixture of micronutrients with soluble liquid silicon in solution strengthened the absorption of Cu, 30 days after the application, and it was similar to the Viçosa Solution concerning to the supplying of B, Zn and Mn.

Key-word: potassium silicate, rust, brown-eye-spot, ph solution, foliar content.

1 INTRODUÇÃO

Apesar do silício não ser considerado um elemento essencial, os benefícios da utilização na agricultura vêm sendo cada vez mais reconhecidos e comprovados pela ciência (Reis et al., 2007). Esses benefícios incluem acréscimos na produtividade das culturas e na resistência destas aos estresses bióticos e abióticos, tais como excesso de metais pesados, deficiência hídrica, pragas e doenças (Bélanger et al, 1995). Os mecanismos de supressão dos patógenos pelas plantas nutridas com silício, ainda não são muito bem conhecidos. Para isto, existem duas propostas para explicar esta supressão; o acúmulo do silício na epiderme impede a penetração do fungo nos tecidos da planta (Bowen et al., 1992) e a outra proposta é a ativação dos mecanismos naturais de defesa da planta como, por exemplo, a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e acúmulo de lignina (Samuels et al., 1991; Chérif et al., 1992 e 1994; Fawe et al., 1998; Epstein, 1999), além de uma possível interação entre as barreiras física e química.

A aplicação foliar de silício líquido solúvel na forma de silicato de potássio pode ser uma alternativa eficiente em fornecer silício às plantas bem como todos os seus benefícios, inserindo-se como uma ferramenta no controle integrado de doenças, potencializando o controle fitossanitário, contribuindo para a melhoria da produtividade e qualidade do café (Figueiredo et al., 2007).

A legislação brasileira de fertilizantes regulamenta o uso do silício como micronutriente e o silicato de potássio como a única fonte de silício solúvel para uso agrícola (Brasil, 2006). Este produto é obtido através da fusão da sílica (SiO_2) com hidróxidos ou carbonatos de potássio em fornos pressurizados, gerando uma fonte de alcalina com pH de aproximadamente 12, dependendo da relação $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ (UNA-PROSIL, 2007).

Esta característica alcalina do silicato de potássio pode ser prejudicial para a eficiência de fungicidas triazóis uma vez que os fabricantes recomendam caldas levemente ácidas em torno de pH 5 (WINFIT BMS, 2007). No entanto, San Juan & Matiello (2006) concluíram que caldas básicas ou ácidas não afetam a eficiência do cyproconazole + trifloxistrobin no controle da ferrugem do cafeeiro.

O pH de calda também pode influenciar a absorção de sais com micronutrientes normalmente utilizados na cafeicultura. De modo geral, soluções com pH de calda inferiores a 7 facilitam a absorção de ânions enquanto aquelas acima da neutralidade, favorecem a de cátions, pela redução da atividade do H^+ , conservando a integridade funcional da membrana celular e reduzindo a competição pelos sítios de adsorção com outros cátions. Concomitantemente, o pH alcalino da calda pode elevar a CTC da cutícula foliar, auxiliando a absorção dos micronutrientes catiônicos aplicados em pulverização. Porém, os ânions como o cloreto e silicato podem ter a sua absorção prejudicada (Malavolta, 2006).

Deste modo, a pesquisa se faz necessária para elucidação dos efeitos nutricionais e sanitários relativos à associação de caldas alcalinas de silicato de potássio com fungicidas e com sais de micronutrientes destinadas à pulverização foliar em cafeeiros. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi embasado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento 1: Associação do silicato líquido solúvel com fungicida

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da EPAMIG do município de Três Pontas, Sul de Minas Gerais, localizadas nas coordenadas 21°

20° 41,41”S e 45° 28’ 42,94” O a uma altitude de 934 m numa lavoura da cultivar Mundo Novo, espaçada de 3,5 x 0,8m, contendo 3570 plantas ha⁻¹ e com 10 anos de plantio sobre um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. A análise química do solo em 2006 antes do início do experimento continha: pH: 5,4; P: 4 mg kg⁻¹; K: 66 mg kg⁻¹; Ca: 2 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,9 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 21 mg dm⁻³; Zn: 0,4 mg kg⁻¹; B: 0,39 mg kg⁻¹; Mn: 10,4 mg kg⁻¹; Cu: 2,20 mg kg⁻¹; Fe: 61,41 mg kg⁻¹; V: 51%. Com base nestas análises e carga pendente estimada, a adubação de solo foi de 700 kg ha⁻¹ de fertilizante 30-00-10 na safra de 2006 e 750 kg ha⁻¹ do fertilizante 20-05-20 na safra de 2007.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema de faixas com quatro repetições, onde estavam inseridos os seguintes tratamentos na primeira aplicação: silício líquido solúvel 4 L ha⁻¹; silício líquido solúvel 3 L ha⁻¹ + fungicida 0,375 L ha⁻¹; silício líquido solúvel 2 L ha⁻¹ + fungicida 0,75 L ha⁻¹; silício líquido solúvel 1 L ha⁻¹ + fungicida 1,125 L ha⁻¹; fungicida 1,5 L ha⁻¹ e uma testemunha sem pulverização. Foi acrescentado espalhante adesivo Dufol[®] na concentração de 0,3 ml L⁻¹ em todas as caldas dos tratamentos, cujos valores de pH encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Valores de pH das caldas dos tratamentos com as combinações de silício líquido solúvel e fungicida (epoxiconazole e pyraclostrobin).

Sili-K ^{1/}	Fungicida ^{2/}	1 ^a aplicação	2 ^a aplicação ^{3/}
L ha ⁻¹	mL ha ⁻¹		
4 (100%)	0	11,32	11,32
3 (75%)	375 (25%)	11,20	11,19
2 (50%)	750 (50%)	10,99	11,01
1 (25%)	1120 (75%)	10,67	10,69
0	1500 (100%)	7,59	7,77
Testemunha (água)		7,8	7,8

^{1/} Sili-K: fonte de silício líquido solúvel na forma de silicato de potássio; ^{2/} Epoxiconazole + Pyraclostrobin; ^{3/} Na segunda aplicação, as doses de fungicida referentes a 100%, 75%, 50%, 25% foram de 1000 mL, 750 mL, 500 mL e 250 mL, respectivamente.

A primeira aplicação foi realizada dia 31 de janeiro de 2007 e a segunda no dia 16 de março do mesmo ano. Nesta última, o tratamento somente com fungicida foi de 1,0 L ha⁻¹ e frações deste (750, 500, 250 e 0 mL). O silício líquido solúvel utilizado foi o silicato de potássio (Sili-K) indicado para aplicação foliar, que continha 364 g L⁻¹ de SiO₂ e 210g L⁻¹ de K₂O. O fungicida utilizado foi o Epoxiconazole + Pyraclostrobin (Opera[®]). As avaliações da ferrugem (*Hemileia vastatrix*), cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), mancha de *Phoma* e *Ascochyta* (*Phoma spp.*) foram realizadas no dia 02/08/2007.

Os dados foram submetidos à análise de variância através programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2000), sendo os tratamentos testados pelo teste de Scott-Knott a 5%.

2.2 Experimento 2: Associação de silício líquido solúvel com sais de micronutrientes

O experimento foi instalado na Fazenda Coqueiros, no município de Santana da Vargem, Sul de Minas Gerais a uma altitude de 887m tendo como coordenadas 21° 17' 15,31''S e 45° 24' 41,86''O, numa lavoura da cultivar Icatu Amarelo IAC 3282, plantada no espaçamento de 3,5m x 0,7m com oito anos de plantio, contendo 4080 plantas ha⁻¹ sobre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. A análise química do solo em 2006 antes do início do experimento continha: pH: 5,0; P: 7 mg kg⁻¹; K: 154 mg kg⁻¹; Ca: 2,3 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,7 cmol_c dm⁻³; SO₄²⁻: 9,1 mg dm⁻³; MO: 2,3 %; Zn: 4,1 mg kg⁻¹; B: 1,0 mg kg⁻¹; Mn: 10,21 mg kg⁻¹; Cu: 3,24 mg kg⁻¹; Fe: 22,41 mg kg⁻¹; V: 35%. Com base nestas análises e carga pendente estimada, a adubação de solo foi de 700 kg ha⁻¹ de fertilizante 30-00-10 na safra de 2006 e 750 kg ha⁻¹ do fertilizante 20-05-20 na safra de 2007.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados no esquema de faixas com 6 repetições, onde foram testados os seguintes tratamentos: micronutrientes + 4 L ha⁻¹ de silício líquido solúvel; micronutrientes + 0,8 Cal hidratada (Calda Viçosa); somente micronutrientes e uma testemunha sem pulverização. A fonte de silício líquido solúvel foi o silicato de potássio (Sili-K), indicada para aplicação foliar que continha 364g L⁻¹ de SiO₂ e 210g L⁻¹ de K₂O. Os tratamentos com micronutrientes continham 2 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre, 1 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, 0,85 kg ha⁻¹ de ácido bórico, 1,5 kg ha⁻¹ de sulfato de manganês e 0,8 kg ha⁻¹ de KCl. O espalhante adesivo (Dufol[®]) foi acrescentado em todas as caldas dos tratamentos na concentração de 0,3 ml L⁻¹. A composição dos nutrientes e valores de pH das caldas de cada tratamento está mostrada na Tabela 2.

TABELA 2. Composição dos nutrientes e valores de pH das caldas dos tratamentos utilizadas no experimento.

Tratamentos	Cu	Zn	Mn	K	Ca	Si	B	S	Cl	pH
 mg L ⁻¹									calda
Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8
Micronutrientes	1200	500	1163	1150	-	-	638	1647	840	3,9
Calda Viçosa	1200	500	1163	1150	1060	-	638	1647	840	5,1
Micro+Sili-K*	1200	500	1163	2860	-	1710	638	1647	840	5,5

* Sili-K: fonte de silício líquido solúvel na forma de silicato de potássio.

A aplicação foi realizada em 15 de novembro de 2006 e as coletas de folhas do 3º e 4º par, foram feitas nos dias 15/12/2006 aos 30 dias e, em 20/01/2007 aos 65 dias após a aplicação dos tratamentos, para realizações de análises foliares e avaliações das doenças. As análises foliares do B, Cu, Zn e Mn foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e do silício pela metodologia de Elliott & Snyder (1991).

Os dados foram submetidos à análise de variância através programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2000), sendo os tratamentos testados pelo teste de Scott-Knott a 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Associação de silício líquido solúvel com fungicida

Os resultados de avaliação da incidência das principais doenças após a aplicação dos tratamentos estão apresentados na Tabela 3, onde é possível observar que incidência da mancha de *Phoma* e *Ascochyta* não foi influenciada por nenhum tratamento.

Já a incidência da cercosporiose foi afetada pelos tratamentos e neste caso, somente a dose de 4L ha⁻¹ de silicato líquido solúvel (Sili-K) e a testemunha foram semelhantes entre si e inferiores aos tratamentos, que continham de 25 a 100% de fungicida. Quanto à porcentagem de folhas sadias, somente a testemunha foi inferior aos demais tratamentos, indicando que qualquer proporção das combinações de Sili-K com fungicida mantém uma quantidade significativamente semelhante de folhas sadias.

Quanto à ferrugem, a testemunha apresentou a maior incidência, sendo que os tratamentos com 50% da dose de silício líquido solúvel (Sili-K) mais 50% da dose de fungicida (Epoconazole + Pyraclostrobin) e 25% da dose de Sili-K mais 75% da de fungicida foram semelhantes ao tratamento com 100% fungicida. Esses resultados corroboram com San Juan e Matiello (2006), que concluíram que o pH de calda do fungicida não afetou o controle da ferrugem do cafeeiro. Neste caso o silício líquido solúvel pode até mesmo estar agindo em sinergia, pois mesmo reduzindo a dose do fungicida, o controle das doenças não

foi prejudicado de forma significativa mantendo-se abaixo do nível de dano econômico preconizado em 12% de incidência (Zambolim, 2005).

Contudo, isso indica que apesar do silício líquido solúvel ser um produto alcalinizante, a eficiência do controle de doenças não foi afetada quando misturado à calda com o fungicida (Epoconale + Pyraclostrobin).

Apesar das moléculas do princípio ativo serem instáveis em valores de pH elevados, a cinética de reação da hidrólise dos compostos é que determina a quantidade de produto gerado e a velocidade com que esta ocorre. Esta velocidade é determinada pela variação das concentrações de produtos e reagentes, pela variação de tempo, sendo influenciada pela superfície de contato, temperatura, catalizadores e concentração de reagentes (Atkins, & Jones, 2006). Desse modo, o tempo em que a mistura permanece no pulverizador e a concentração dos produtos, poderiam ser insuficientes para que a reação de degradação das moléculas ocorresse, o que explicaria a não interferência da mistura do silício líquido solúvel com o fungicida.

Os teores de potássio foliar foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 3), o que era esperado, devido à pequena dosagem aplicada perante a grande exigência do cafeeiro (Guimarães et al., 1999) e, ao longo período, entre a aplicação e coleta para análise de tecido. Assim, o K seria redistribuído e diluído na planta como um todo e a observação da elevação dos teores seria muito pouco provável. Com isso, seria de se esperar que os teores deste elemento não se correlacionassem com a incidência das doenças como foi observado (Tabela 4).

TABELA 3. Incidência de ferrugem, mancha de *Phoma* e *Ascochyta*, cercosporiose e quantidade de folhas saudas de cafeeiros submetidos a tratamentos com silício líquido solúvel misturado com fungicida na calda de pulverização.

Sili-K ^{1/}	Fungicida ^{2/}	Ferrugem	<i>Phoma</i> e <i>Ascochyta</i>	Cercosporiose	Folhas saudas	Si foliar	K foliar
L ha ⁻¹	mL ha ⁻¹	----- % -----					
4 (100%)	0	15,43 b	5,70 a	9,00 b	66,55 a	0,55 a	2,10
3 (75%)	375 (25%)	11,98 b	4,13 a	4,15 a	75,65 a	0,53 a	2,29
2 (50%)	750 (50%)	6,63 a	9,95 a	2,65 a	76,76 a	0,55 a	2,14
1 (25%)	1120 (75%)	6,55 a	2,43 a	1,63 a	83,55 a	0,56 a	2,13
0	1500 (100%)	2,40 a	3,30 a	2,40 a	86,15 a	0,58 a	2,25
Testemunha		57,48 c	9,33 a	13,82 b	29,13 b	0,63 a	2,20
CV (%)		36,4	78,1	75,4	12,8	15,42	6,23

As médias seguidas da mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{1/} Sili-K: fonte de silício líquido solúvel na forma de silicato de potássio; ^{2/} Na segunda aplicação as doses de fungicida (Epoconazole + Pyraclostrobin) referente à 100%, 75%, 50%, 25% foram de 1000 mL, 750 mL, 500 mL e 250 mL respectivamente do produto comercial.

Os teores foliares de silício também não foram afetados pelos tratamentos (Tabela 3) e nem mesmo se correlacionaram com as doenças foliares (Tabela 4), apesar das diferentes combinações de Sili-K com fungicida resultarem num melhor controle das doenças. Isto reforça que a ação do silício líquido solúvel aplicado via foliar tenha ação meramente física, através da formação de uma película formada pela polimerização da sílica e, desta, com compostos de cutícula da superfície externa da folha, como observado também por Bowen et al. (1992) em videiras. Se a ação do Si dependesse da sua absorção esperava-se uma elevação dos teores foliares, porque este não possui mobilidade na planta (Ma & Takahashi, 1990) e, assim, acumularia nas folhas.

TABELA 4. Análises de correlações dos teores foliares de silício e potássio com doenças foliares do cafeeiro.

Teste	Ferrugem	Cercosporiose	<i>Phoma e Ascochyta</i>	Folhas sadias
	-----%-----			
-----Silício foliar-----				
correlação	0,295	0,333	-0,147	-0,174
t calculado	1,448	1,656	0,696	0,829
significância	NS	NS	NS	NS
-----Potássio foliar-----				
correlação	0,041	-0,121	-0,018	-0,027
t calculado	0,191	0,573	0,083	0,128
significância	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo pelo teste significativo a 5% de probabilidade pelo teste de t.

3.2 Associação de silício líquido solúvel com sais de micronutrientes

O experimento obteve uma boa precisão por se tratar de experimento de campo, onde os valores de coeficiente de variação tendem ser mais altos.

Os teores foliares de Boro (B) não tiveram alteração em nenhuma das doses após 30 dias de aplicação; somente no tratamento com micronutrientes foi observado um aumento nos teores de B de 42% aos 65 dias após a aplicação (Tabela 5). Nos tratamentos com Calda Viçosa e Micronutrientes + silício líquido solúvel (Sili-K), o aumento dos teores dos 30 aos 65 dias, foi insipiente e não significativo, possivelmente pela inibição competitiva do B pelo OH^- da cal e devido ao SiO_3^- do silicato de potássio, que se comporta como ânion, corroborando Malavolta (2006). Concomitante a isto, o Zn, que possui inibição não competitiva com o B (Malavolta, 1993), teve seus teores reduzidos, à medida que os teores de B elevaram no período de 30 aos 65 dias após as aplicações.

TABELA 5. Teores foliares de B, Cu, Mn, Zn e Si aos 30 e 65 dias após a aplicação de diferentes caldas de micronutrientes.

Tratamento	Teores Foliareos (mg kg ⁻¹)											
	B			Zn			Mn ^{2/}			Cu		
	30 dias	65 dias	Diferença ^{1/} (%)	30 dias	65 dias	Diferença ^{1/} (%)	30 dias	65 dias	Diferença ^{1/} (%)	30 dias	65 dias	Diferença ^{1/} (%)
Testemunha	50,4 aA	49,6 bA	-2	8,8 bA	7,4 aA	-16	109,9 aB	150 aA	36	22,5 cA	18,5 aA	-18
Micronutrientes	50,1 aB	71,3 aA	42	22,4 aA	10,1 aB	-55	108,7 aB	138 bA	27	42,0 bA	19,5 aB	-54
Calda Viçosa	51,6 aA	57,4 bA	11	17,8 aA	7,8 aB	-56	123,2 aA	134 bA	9	45,3 bA	20,0 aB	-56
Micro+Sili-K	47,3 aA	54,1 bA	14	18,6 aA	9,0 aB	-52	108,7 aB	131 bA	21	61,0 aA	21,8 aB	-64
CV (%)	13			13			8			12		

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5%.

^{1/}Diferença % em relação à primeira avaliação; ^{2/} Significativo a 9% pelo teste de Scott-Knott.

As reduções nos teores de Zn em todos os tratamentos foram superiores a 50%, igualando aos teores da testemunha; somente o tratamento da calda com micronutrientes, manteve os teores dentro do considerado adequado de Zn que é de 10 mg kg⁻¹ (Guimarães et al., 1999).

As caldas não elevaram os teores de Mn aos 30 dias após a aplicação, assemelhando-se, estatisticamente, à testemunha, entretanto, aos 65 dias os teores aumentaram significativamente nas caldas de micronutrientes e micro + Sili-K curiosamente, na testemunha observou-se um aumento de 36%, em relação à primeira avaliação e superior às caldas utilizadas. Este aumento pode ser explicado, em parte, pelo aumento da disponibilidade do Mn no solo comum, em solos encharcados e com baixo potencial redox, em decorrência chuvas intensas ocorridas entre as avaliações. Nesta situação o Mn³⁺ passa para Mn²⁺, que é solúvel e absorvido pelas plantas (Furtini Neto et al., 2001). No entanto, esta situação foi comum a todos os tratamentos, indicando que as caldas com Mn não foram eficazes no fornecimento deste elemento aplicado via foliar.

O Cu foi o micronutriente em que a calda mais influenciou para a elevação dos teores foliares. A calda de micronutrientes + Sili-K elevou significativamente os teores de Cu foliar em relação à Calda Viçosa e a Calda com micronutrientes, que foram semelhantes entre si e superiores à testemunha. O maior teor propiciado pela calda de micronutrientes + Sili-K pode estar ligado à formação de espécies iônicas na forma de hidróxido de cobre (Matiello, 1997), pois o silicato de potássio (Sili-K) é uma fonte de hidroxilas facilmente dissociável, dada a sua solubilidade e alcalinidade herdada do KOH, que é sua matéria prima. Estas hidroxilas podem ter elevando a CTC da cutícula, facilitando a absorção de Cu, que possui preferência em relação ao Zn e Mn (Malavolta, 2006).

Aos 65 dias após a aplicação, observou-se uma queda significativa nos teores de Cu em todas as caldas que se igualaram à testemunha, que manteve o

mesmo teor nas duas avaliações, dentro da faixa de teores considerada adequada ao cafeeiro (Guimarães et al., 1999). Esta queda se deve provavelmente à demanda nutricional pelo Cu que é o micronutriente mais exigido pelo cafeeiro.

Os teores de silício não alteraram, demonstrando que a associação do silício líquido solúvel com micronutrientes não seja eficaz em fornecer o Si, pela formação de compostos com outros nutrientes ou mesmo inibição competitiva pelo B ou Cl presente na calda.

4 CONCLUSÕES

A associação de 2 L ha⁻¹ silício líquido solúvel (Sili-K) com a metade da dose recomendada de fungicida (750 mL ha⁻¹ do epoxiconazole + pyraclostrobin) na calda, controlou a ferrugem e a cercosporiose semelhante à dose recomendada do fungicida (1,5 L ha⁻¹ e 1,0 L ha⁻¹ na 1ª e 2ª aplicação respectivamente).

A ocorrência das doenças foliares não esteve relacionada com os teores foliares de K ou Si.

A mistura de micronutrientes com silício líquido solúvel na calda potencializou a absorção de Cu, aos 30 dias após a aplicação e foi semelhante à Calda Viçosa quanto ao fornecimento de B, Zn e Mn.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

- BELANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329–36, Apr. 1995.
- BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 906-912, Nov. 1992.
- BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6., p. 906-912, Nov. 1992.
- BRASIL. Decreto n. 5.351, de 21 de janeiro de 2005. Instrução normativa das n. 27, 05 de junho de 2006. Legislação-inspeção e fiscalização da produção, importação e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes no que se refere às concentrações de metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jun. 2006. Seção 1, n. 110, p. 15-16.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, Mar. 1994.
- CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, n. 6, p. 411-425, Dec. 1992.
- ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington. v. 39, n. 6, p. 1118-1119, June 1991.
- EPSTEIN, E. **Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon – mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopatology**. St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, May 1998.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FIGUEIREDO, F. C.; BOTREL, P. P.; REIS, T. H. P.; RODRIGUES, C. R.; GUIMARÃES, P. T. G. Efeito da adubação foliar com fontes e doses de silicato de potássio sobre compostos fenólicos e ferrugem do cafeeiro. In: SIMPOSIO DE PESQUISAS DOS CAFES DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos...** Águas de Lindóia: CBP&D-Café, 2007.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; REZENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; Sugestões de adubação par grandes culturas anuais e perenes – cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 43.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, Dodrecht, v. 126, n. 1, p. 115-119, 1990.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal: como tratar bem da lavoura de café: todas as práticas culturais, a nutrição e proteção das plantas até a colheita preparo, visando alta produtividade e qualidade**. Rio de janeiro: MAA/SDR/PROCAFÉ, 1997. 262 p.

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. 124 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 82).

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 485-492, June 1991.

SAN JUAN, R. C. C.; MATIELLO, J. B. Efeito do pH da calda fungicida na atividade de Sphere no controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas.
Anais... Poços de Caldas: [S.l.], 2006. p. 97-98.

UNAPROSIL. **Ficha técnica:** silicato de potássio. 2003. Disponível em
<<http://www.una-prosil.com.br/pedidos.htm>> Acesso em: 13 nov. 2007.

WINFIT BMS Ltda. **Compêndio eletrônico de defensivos agrícolas com
receituário agrônômico e controle de estoque.** 1997. Disponível em:
<http://www.winfite.com.br/winfite_web.htm>. Acesso em: 7 nov. 2007.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro.
In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A.;
CAMARGO, L. E. A. (Eds.). **Manual de fitopatologia:** doenças das plantas
cultivadas. 4. ed. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2, 663p.