

**PROGRESSO DA CERCOSPORIOSE E DA
FERRUGEM DO CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.)
EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO**

DEILA MAGNA DOS SANTOS BOTELHO

2006

DEILA MAGNA DOS SANTOS BOTELHO

**PROGRESSO DA CERCOSPORIOSE E DA FERRUGEM DO
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE
SILÍCIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof.Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2006

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

Botelho, Deila Magna dos Santos

Progresso da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função da aplicação de silício / Deila Magna dos Santos Botelho. -- Lavras : UFLA, 2006.

111 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Silício. 2. Café. 3. Cercosporiose. 4. Ferrugem. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.739425

DEILA MAGNA DOS SANTOS BOTELHO

**PROGRESSO DA CERCOSPORIOSE E DA FERRUGEM DO
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE
SILÍCIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 18 de dezembro de 2006

Dra. Sara Maria Chalfoun	EPAMIG
Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto	UFLA
Prof. Dr. Eduardo Alves	UFLA
Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza	UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

À Deus, por ser sempre tão bom para mim.....
Ao meu querido César, meu ponto de apoio, amor e carinho
e aos nossos filhos, Plínio e Áurea, fonte de
alegria e força,

DEDICO

Aos meus irmãos, Cristiane, Estelamares,
Marcos Augusto, Verônica e a minha afilhada Sophia,
pela nossa união e amor.
Aos meus pais, Geraldo e Geralda, que nunca
mediram esforços para fazer de seus filhos pessoas dignas.
À querida tia Joana (*in memoriam*) que deixou um
vazio enorme com sua precoce partida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, por meio do Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Edson Ampélio Pozza, pelos ensinamentos transmitidos nestes oito anos de convívio.

Aos demais professores do Departamento de Fitopatologia, em especial ao professor Mário Lúcio Vilela Resende, pela sensibilidade e generosidade quando cursei a disciplina Fisiologia do Parasitismo e meu primeiro filho (Plínio) era recém-nascido.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto (DCS), pela ajuda e valiosas sugestões.

Ao professor Eduardo Alves, pela realização de análises de raios-X em Piracicaba e apoio na interpretação dos resultados.

As colegas de curso: Letícia, Anderson, Juliana Barbosa, Fernando, Nilvanira, Daniel, Ângelo, Eloísa (Biotita), Luciana, Ricardo, Flávio Linhares, Simone, Alex, Foguinho, João de Cássia, Hermínio, Cleilson.

Ao Pedro Martins, pela ajuda ímpar na realização de análises de lignina e clorofila.

Ao amigo Jadir, verdadeiro irmão, sempre presente tanto nos momentos de alegria como nas dificuldades.

Às companheiras da Clínica Fitossanitária, Eliane e Rute, sempre atendendo com carinho a todos os pedidos de materiais para a condução do experimento.

Á Maria, um anjo da guarda que apareceu em nossa vida, cuidando com amor e carinho dos nossos filhos, o que possibilitou tranquilidade para condução dos trabalhos na faculdade.

À Pesquisadora da Epamig, Dra. Sara Chalfoun, exemplo de competência aliada à simplicidade, pela valiosa ajuda em minha qualificação e pela participação na banca.

Aos professores do Departamento de Biologia, Evaristo Mauro de Castro e Daniel de Castro e ao aluno de iniciação científica Valter Marchiori, pela ajuda nos cortes anatômicos e interpretação dos resultados.

A Eloísa das Graças Leite (Laboratório de Microscopia Eletrônica), pelo auxílio e amizade.

A Renata Kelly (Secretaria de Pós), sempre pronta para ajudar.

Aos alunos de graduação, Erton e Alex, e ao meu sobrinho Eder Sandy, essenciais na condução do experimento do campo.

Aos meus compadres, Cibele e Serjão, que sempre torceram por mim.

Aos amigos, José Geraldo e Valéria, pelas visitas e o companheirismo que tornavam os finais de semana mais gostosos.

Ao amigo Marcos (DCS) pela paciência e ajuda na parte de discussão da tese.

À Adélia Aziz Pozza, pela ajuda e amizade.

À professora Ângela Maria Soares (DBI) e ao estudante de doutorado João Paulo, pela ajuda nas análises de fotossíntese.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, desta conquista, o meu muito obrigada!!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1- Progresso da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) em função da aplicação de silício.....	01
1 Introdução geral.....	02
2 Referencial teórico.....	04
2.1 A cercosporiose no cafeeiro.....	04
2.2 A ferrugem do cafeeiro.....	05
2.3 O silício.....	06
2.4 O silício no controle de doenças em plantas.....	07
2.5 O silício no controle de doenças do cafeeiro.....	10
2.6 Hipóteses sobre o modo de ação do silício na supressão de doenças em plantas.....	12
3 Referências bibliográficas.....	14
CAPÍTULO 2: Fontes de silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro.....	20
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	23
1 INTRODUÇÃO.....	24
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1 Experimento 1- Influência de doses de ácido silícico na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro.....	26
2.1.1 Área experimental.....	26
2.1.2 Delineamento experimental.....	26
2.1.3 Preparo das mudas de cafeeiro.....	26
2.1.4 Inoculação das mudas de cafeeiro com <i>Cercospora coffeicola</i>	27
2.1.5 Avaliação da intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro	28

	Página
2.1.6 Área foliar total, área foliar específica e % desfolha.....	29
2.1.7 Matéria seca e análise nutricional das plantas.....	29
2.1.8 Análise dos dados.....	30
2.2 Experimento 2- Microanálise de raios X (Max) da superfície das folhas de cultivares de cafeeiro inoculadas com <i>C. coffeicola</i>	30
2.2.1 Caracterização do experimento.....	30
2.2.2 Preparo das mudas de cafeeiro.....	30
2.2.3 Preparo do inóculo e inoculação das mudas de cafeeiro.....	31
2.2.4 Preparo das amostras para microanálise de raios-X (MAX).....	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3.1 Efeito do ácido silícico na intensidade da cercosporiose e nutrição mineral de mudas de cafeeiro.....	32
3.2 Microanálise raios X (Max) da superfície das folhas de cultivares de cafeeiro inoculadas com <i>C. coffeicola</i>	45
4 CONCLUSÕES.....	50
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
CAPÍTULO 3: Silicatos no controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro no campo.....	55
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
1 INTRODUÇÃO.....	58
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
2.1 Área experimental.....	60
2.2 Delineamento experimental.....	60
2.3 Avaliação da intensidade da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro.....	61
2.4 Eletromicrografia de varredura de folhas pulverizadas com silicato B...	62
2.5 Variáveis ambientais.....	62
2.6 Análise dos dados.....	62

	Página
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
3.1 Efeito de silicatos na intensidade da cercosporiose do cafeeiro.....	63
3.2 Efeito de silicatos na intensidade da ferrugem do cafeeiro.....	69
4 CONCLUSÕES.....	77
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
CAPÍTULO 4: Efeito do ácido silícico em aspectos fisiológicos e anatômicos de mudas de cafeeiro inoculadas com <i>Cercospora</i> <i>coffeicola</i>	81
RESUMO.....	82
ABSTRACT.....	83
1 INTRODUÇÃO.....	84
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	86
2.1 Área experimental.....	86
2.2 Delineamento estatístico.....	86
2.3 Preparo das mudas de cafeeiro.....	86
2.4 Inoculação das mudas de cafeeiro com <i>Cercospora coffeicola</i>	88
2.5 Coleta e armazenagem de amostras para determinação de pigmentos e lignina.....	88
2.5.1 Extração e determinação de pigmentos.....	88
2.5.2 Determinação de lignina.....	88
2.6 Preparo das amostras para observação em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	89
2.7 Determinação da fotossíntese potencial.....	90
2.8 Anatomia do caule de mudas de cafeeiro cultivadas em diferentes doses de ácido silícico.....	91
2.9 Análise dos dados.....	91
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92

4 CONCLUSÕES.....	100
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS.....	105

RESUMO

BOTELHO, D.M.S.dos. **Progresso da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função da aplicação de silício.** 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O efeito da adição de silício na redução da intensidade da cercosporiose e da ferrugem em plantas de cafeeiro foi avaliado, no presente trabalho, em quatro experimentos. No experimento 1, realizado no campo, avaliou-se o efeito de dois silicatos (A e B) aplicados isoladamente e em combinação com os fungicidas: hidróxido de cobre, azoxystrobin e cyproconazole, no progresso da cercosporiose e da ferrugem em plantas de cafeeiro cultivar Acaiá Cerrado MG1474. No segundo experimento, conduzido em casa de vegetação, o objetivo foi verificar a influência do ácido silícico (doses 0; 0,5; 1; 2; 4 e 6 g kg⁻¹ de solo) na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. No terceiro experimento, estudou-se o efeito do ácido silícico, nas mesmas dosagens citadas anteriormente no acúmulo de lignina, quantidade de clorofila *a*, *b* e carotenóides, fotossíntese potencial, espessura da epiderme, do câmbio vascular, do floema, do xilema e do parênquima esponjoso do caule além da presença de cera epicuticular em mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 inoculadas com *Cercospora coffeicola*. O último experimento visou detectar a presença de silício nas cultivares Icatu Amarelo 3282 e Topázio MG1190, com o uso de microanálise de raios-X em mudas adubadas com silicato de cálcio (1 g kg⁻¹ de substrato) e inoculadas com *C. coffeicola*. A menor área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha (AACPNLF) da cercosporiose foi observada no tratamento silicato A + Azoxystrobin no experimento em campo. Os tratamentos silicato A + silicato B, silicato A, silicato A + hidróxido de cobre, testemunha e silicato B apresentaram a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem do cafeeiro significativamente maior que os demais tratamentos. A aplicação do silicato B aumentou significativamente tanto a AACPNLF quanto a área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem do cafeeiro. O aumento das doses de ácido silícico resultou em decréscimo linear na AACPNLF da cercosporiose em mudas conduzidas em casa de vegetação. Os teores de fósforo (P), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), zinco (Zn) e cobre (Cu) e os conteúdos de potássio (K), enxofre (S) e manganês (Mn), na matéria seca da parte aérea, foram influenciados significativamente pela adição de ácido silícico ao solo. Observou-se presença discreta de cera epicuticular na dose de ácido silícico 2 g kg⁻¹ de solo e mais evidente na dose 6 g kg⁻¹ de solo. O uso da maior dose de ácido silícico (6 g kg

⁻¹ de solo) resultou em menor fotossíntese potencial nas folhas de mudas sadias. Não foram observados picos de silício tanto na cultivar Icatu quanto na Topázio, com o uso da técnica de microanálise de raios-X, contudo, observou-se menores picos de potássio e cálcio nas folhas de mudas inoculadas com *C. coffeicola*, comparadas com as mudas sadias, em ambas as cultivares.

Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

ABSTRACT

BOTELHO, D. M. S. dos. **Progress of brown-eye spot and rust in coffee plants (*Coffea arabica* L.) treated with silicon.** 2006. 111 p. Thesis (Doctorate in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.*

The effect of adding silicon on the reduction of the brown-eye spot and rust intensities in coffee plants was evaluated in the present work in a set of four experiments. In the experiment 1, performed under field conditions, commercial silicon sources (A and B) were applied solely or in combination with fungicides: copper hydroxide, azoxystrobin and cyproconazole on the progress of brown-eye spot and rust in coffee plants from the cultivar Acaia Cerrado MG1474. The second experiment, carried out in greenhouse, aimed to verify the influence of silicic acid (doses 0; 0.5; 1; 2; 4 and 6 g kg⁻¹ of soil) on the intensity of brown-eye spot and the mineral nutrition of coffee seedlings from the cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. In the third experiment, the effect of silicic acid was studied in the same doses previously mentioned for the buildup of lignin, chlorophyll a and b, carotenoid quantities, photosynthetic potential, epidermal, cambium, phloem, xylem and spongy parenchyma widths and the presence of epicuticular wax in coffee seedlings from the cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 inoculated with *Cercospora coffeicola*. The last experiment aimed to detect the presence of silicon in the cultivars Icatu Amarelo 3282 and Topázio MG1190 through X-ray microanalysis in seedlings sprayed with calcium silicate (1 g kg⁻¹ of substrate) and inoculated with *C. coffeicola*. The lower area under the progress curve of the number of lesions/leaf (AUPNLL) for brown-eye spot was observed for the treatment silicate A + Azoxystrobin in the field experiment. Treatments silicate A + silicate B, silicate A, silicate A + copper hydroxide, control and silicate B showed the area under the incidence progress curve of rust significantly higher than the other treatments. The use of silicate B significantly increased the AUPNLL and area under the severity progress curve (AUSPC) for rust. By increasing the silicic acid doses, a linear reduction on the AUPNLL of brown-eye spot was observed. The concentrations of phosphorus (P), magnesium (Mg), sulphur (S), boron (B), zinc (Zn) and copper (Cu) and as well as the contents of potassium (K), sulphur (S) and manganese (Mn) of shot dry weight were significantly influenced by silicic acid amendments to the soil. A mild epicuticular wax deposit was observed for the 2g-silicic acid dose (kg⁻¹ of soil) and this was more evident at the dose 6 g kg⁻¹ of soil. The use of the higher silicic acid dose (6 g kg⁻¹ de soil) resulted in lower photosynthetic potential in the healthy seedlings. Peaks in silicon were not observed in any cultivar by the use of X-ray microanalysis however; lower potassium and calcium peaks were

present in leaves from *C. coffeicola*-inoculated plants, when compared to leaves from healthy seedlings, in both cultivars.

Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Major Professor), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

CAPÍTULO 1

PROGRESSO DA CERCOSPORIOSE E DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO

INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura tem importante papel na economia nacional, sendo responsável por cerca de 6,18% da receita das exportações. A produção nacional da safra 2006/2007 atingiu 42,5 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, e o Brasil ainda ocupa posição dominante no mercado mundial, como produtor e como exportador (Conab, 2006). O potencial competitivo do país, no entanto, poderá crescer ainda mais com a redução de custos de produção, por meio do aumento da produtividade.

Doenças e pragas constituem fatores restritivos para o alcance de uma produção ideal. Entre as principais doenças do cafeeiro, destacam-se a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke). Atualmente, a ferrugem ocorre em todas as regiões cafeeicultoras do Brasil e, se não for devidamente controlada, pode causar queda na produção de até 45% (Matiello, 1991). Já a cercosporiose, além dos danos ocasionados pela desfolha, afeta também os frutos do cafeeiro, comprometendo a qualidade da bebida.

Um dos maiores desafios para os pesquisadores tem sido o de determinar métodos eficientes de controle dessas doenças, porém, de baixo impacto ambiental. Apesar de geneticamente controlada, a resistência de plantas às doenças pode ser influenciada por fatores ambientais. A nutrição mineral é um fator ambiental que pode ser manipulado com relativa facilidade e utilizado como complemento ou método alternativo no controle de doenças em plantas (Marschner, 1995).

Entre os elementos estudados no controle de doenças, o silício (Si) tem proporcionado resultados promissores, como redução da intensidade de diversas doenças, como a brusone (Datnoff et al., 1991) e a queima-das-bainhas em arroz (Rodrigues, 2000), o oídio da videira (Bowen et al., 1992) e a ferrugem da soja

(Lima, 2006), entre outras. Mudanças de café cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 adubadas com silicato de cálcio (1 g kg^{-1} de substrato) e inoculadas com *C. coffeicola* apresentaram redução de 63,2% nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta, quando comparadas a testemunha (Pozza et al., 2004). De acordo com Nojosa (2003), mudas de café inoculadas com *H. vastatrix* e pulverizadas com acibenzolar S metil éster (ASM), ácido salicílico (AS), silicato de potássio (5 mL L^{-1} de água destilada) e fosfito de potássio apresentaram redução na área foliar doente de 75,6%, 77,2%, 41,6% e 38,96%, respectivamente, em relação à testemunha inoculada. A adição de silicato de cálcio e silicato de sódio (0, 0,5, 1 e 2 g kg^{-1} de substrato) resultou em decréscimo linear de 10,8% na área abaixo da curva de progresso do número de plantas doentes (AACPPD) de mudas de café inoculadas com *C. coffeicola* (Botelho et al., 2005).

Segundo Epstein (1999), plantas cultivadas em ambiente enriquecido com silício diferem das cultivadas em deficiência do elemento, não somente na menor intensidade de doenças e pragas, mas também na composição química, na resistência mecânica das células, nas características de superfície foliar e na maior tolerância ao estresse abiótico.

Com base nessas informações os objetivos do presente trabalho foram:

1. Verificar a influência de fontes de silício na intensidade da ferrugem e da cercosporiose do café em plantas adultas no campo;
2. Estudar o efeito de diferentes fontes e doses de silício na redução da cercosporiose em mudas cultivadas em casa de vegetação;
3. Verificar o efeito do ácido silícico na nutrição mineral de mudas de café e sua influência em características como formação de camada de cera, área foliar, acúmulo de lignina, teor de clorofila e na fotossíntese potencial;
4. Estudar o efeito de doses de ácido silícico aplicado no solo na anatomia do caule de mudas de café.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cercosporiose no cafeeiro

A cercosporiose é uma das doenças mais antigas do cafeeiro, nas Américas e no Brasil, tendo as primeiras referências ao seu aparecimento no Brasil ocorrido por volta de 1887 (Zambolim et al., 2005). Essa doença é conhecida por “cercosporiose”, “mancha-olho-de-pomba”, “mancha-parda” ou “mancha-de-olho-pardo” e “chasparria” (D’utra, 1902; Echandi, 1959). A cercosporiose tem como agente etiológico o fungo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke, capaz de esporular em toda a região abaxial do limbo foliar (principalmente das folhas mais velhas) e nos frutos de café, formando esporodóquios septados eretos e de cor parda. Os conidióforos produzem conídios largos, multiseptados e hialinos (Echandi, 1959).

Nas folhas, o primeiro sintoma da doença são manchas, em geral, de forma circular ou ligeiramente oval e de cor marrom-escura, com a zona central de cor acinzentada, sendo as manchas geralmente envolvidas por um halo amarelado (IBC, 1981). Contudo, nos últimos anos, têm sido observados sintomas diferentes nas folhas, caracterizados por manchas escuras sem halo amarelado e não formam o centro claro, sendo denominado, em algumas regiões, como cercospora-negra (Carvalho & Chalfoun, 2000; Matiello et al., 2002).

Nos frutos, as lesões aparecem geralmente nos mais maduros. Na maioria dos casos, iniciam-se nas regiões dos frutos expostas ao sol, com depressão de tamanho variável, sem necrose aparente. Posteriormente, adquire coloração café-escuro, resultando na necrose total dos tecidos da área lesionada (Echandi, 1959). No campo, o período de maior incidência da cercosporiose é de janeiro a maio (Carvalho & Chalfoun, 1998; Zambolim et al., 2005).

A ocorrência de *C. coffeicola* em plântulas em formação e mudas no viveiro provoca intensa desfolha e raquitismo das mudas (Fernandes-Borrero et

al., 1966). Segundo Fernandes (1988), a maior severidade da doença está relacionada com o estado nutricional das mudas de cafeeiro e a cercosporiose é mais intensa em plantas nutricionalmente deficientes. Diante disso, Pozza et al. (2001), em experimento com mudas de cafeeiro crescendo em solução nutritiva com diferentes doses de potássio (3, 5, 7 e 9 mmol L⁻¹) e de nitrogênio (3, 7, 11 e 15 mmol L⁻¹), observaram o aumento nas áreas abaixo da curva de progresso do total de lesões (AACPTL) e do número de lesões por folha (AACPLF) com acréscimo das doses de potássio. As altas doses de K induziram à deficiência de Ca e, como este elemento é constituinte essencial da lamela média, barreira para a entrada de patógenos pela ação de pectatos de cálcio, a intensidade da doença aumentou (Garcia Júnior et al., 2003). Por isso, a adubação equilibrada e a utilização de substrato de boa qualidade são práticas recomendadas para evitar maiores intensidades da doença.

Além da nutrição, a alta umidade relativa, a temperatura baixa, o excesso de insolação e o déficit hídrico são condições favoráveis à doença (Carvalho & Chalfoun, 1998). De acordo com Echandi (1959), os conídios de *C. coffeicola* requerem filme de água livre para germinar e temperaturas ótimas para crescimento e germinação, de 24^oC e 30^oC, respectivamente.

2.2 A ferrugem do cafeeiro

A ferrugem alaranjada do cafeeiro, cujo agente etiológico é o fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., é encontrada em todas as regiões cafeeicultoras do Brasil e, se não for devidamente controlada, pode ocasionar decréscimos na produção de 35% a 50% (Zambolim et al., 2002). Os primeiros sintomas são caracterizados por pequenas manchas circulares, de coloração amarelo-alaranjada, com diâmetro de 0,5 cm. Estas manchas aparecem na face inferior da folha, onde se forma uma massa pulverulenta (uredinosporos). Na face superior

da folha observam-se manchas cloróticas amareladas, correspondendo aos limites da pústula na face inferior (Carvalho & Chalfoun, 2000).

Os principais prejuízos ocasionados pela ferrugem consistem na redução da área foliar, pela formação de lesões, queda precoce das folhas e a seca dos ramos laterais, provocando gradualmente a deformação das plantas. A desfolha acarreta redução no florescimento e na frutificação, afetando a produtividade. O controle químico da ferrugem no Brasil é realizado com a utilização de fungicidas protetores cúpricos e ou de fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis (Matiello et al., 2002; Zambolim et al., 2002).

Entre as condições ideais para o progresso da doença destacam-se temperaturas de 21^oC a 23^oC, com a presença de água livre para a germinação dos esporos, chuvas frequentes e ausência de luz direta para a germinação e penetração dos uredinosporos nos estômatos da folha (Rayner, 1961), além de espaçamentos adensados, adubação e tratos culturais inadequados (Matiello, 1991).

A curva de progresso da ferrugem, nos anos agrícolas de alta produção, inicia-se em dezembro-janeiro e de março a abril aumenta em escala logarítmica até atingir o pico em junho, com posterior decréscimo devido à queda de temperatura e também à queda das folhas ocasionada pela colheita (Zambolim et al., 2005).

2.3 O silício

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (Epstein, 1999). O silício, na forma de H₄SiO₄, é prontamente absorvido pelas plantas, nas quais o seu conteúdo varia amplamente. Jones & Handreck (1967) distinguiram três grupos de plantas, com base no conteúdo de Si em seus tecidos: as dicotiledôneas, com concentrações na ordem de 0,1%; as gramíneas de terra seca, tais como aveia e arroz, que têm cerca de 1% e as gramíneas de

solo alagado, com níveis na ordem de 5% ou maiores. Posteriormente, Takahashi et al. (1996) delinearam amplamente as características da distribuição de Si no reino vegetal, com base em análises de 175 espécies cultivadas no mesmo solo. De nove elementos analisados (Si, Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, B e Al), o Si foi o mais variável. Plantas com mais de 1% de Si na matéria seca foram consideradas como acumuladoras e 34 espécies, ou cerca de 19%, foram enquadradas nesta categoria. O valor correspondente às não acumuladoras (81% das espécies) foi de 0,25% de Si na matéria seca.

O silício é depositado, principalmente, na forma de $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ amorfo ou opala. Uma vez depositado nessa forma, o Si fica imóvel e não é redistribuído (Raven, 1983). A deposição de Si é encontrada tanto na parte aérea das plantas quanto nas raízes (Sangster & Parry, 1976; Sangster, 1978; Hodson & Sangster, 1988).

2.4 Silício no controle de doenças em plantas

Os estudos de adubação com Si reduzindo doenças em plantas tiveram início com plantas monocotiledôneas, especialmente a cultura do arroz, por absorverem grande quantidade desse elemento. Segundo Rodrigues & Datnoff (2005), os primeiros trabalhos, sob condições controladas, demonstrando o efeito da adubação com Si em plantas de arroz, aumentando a resistência à brusone (*Pyricularia grisea* Sacc. Cavara [teleomorph: *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr], tiveram início na década de 1920.

Na Flórida, a aplicação de silicato de cálcio (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹) em solo orgânico resultou na redução linear da brusone e da mancha parda, em plantas de arroz, com aumento das doses de silicato. A severidade da brusone e da mancha parda diminuíram 30,5% e 15%, respectivamente, em relação à testemunha. Outro benefício observado foi a redução na severidade dessas

doenças nos cultivos posteriores, devido ao resíduo do silicato no solo (Datnoff et al., 1991).

Cultivares de arroz parcialmente resistentes (Jasmine, LSBR-5), moderadamente suscetíveis (Drew e Kaybonnet) e suscetíveis (Lemont e Labelle) à queima-das-bainhas em arroz (*Rhizoctonia solani* Kühn) apresentaram redução significativa da severidade da doença de 82%, 42%, 28%, 41%, 26% e 17% para as cultivares Jasmine, LSBR-5, Drew, Kaybonnet, Lemont e Labelle, respectivamente, com a adição de silicato de cálcio no solo, quando comparadas com a testemunha (Rodrigues et al., 2001).

Em plantas dicotiledôneas, é exemplo do efeito benéfico do Si o controle de doenças como oídio em pepino (Menzies et al., 1991), podridão-de-raiz em cucurbitáceas (Chérif & Bélanger, 1992), cancro-da-haste em soja (Lima, 1998), cercosporiose em cafeeiro (Pozza et al., 2004) e pinta-preta em roseira (Gillman et al., 2003), dentre outros.

A intensidade do oídio da videira (*Uncinula necator* (Schwein) Burrell) foi significativamente menor em plantas pulverizadas com silicato de potássio (17 mM) em relação à testemunha (Bowen et al., 1992). Com uso de microscopia eletrônica, foi possível verificar uma espessa camada de Si na superfície das folhas pulverizadas, impedindo o crescimento da hifa do patógeno. A redução da severidade do oídio da videira foi atribuída a essa barreira física encontrada na folha e os autores concluíram que a resistência envolve a translocação do Si e seu depósito nos sítios de penetração do fungo. Plantas de limão cravo cultivadas em solução nutritiva suplementada com 1,7 mM de SiO₂ na forma de silicato de sódio e inoculadas com *Phytophthora nicotianae* pv. *parasitica* (agente etiológico da gomose do citrus) apresentaram menor comprimento de lesões, maior peso fresco e altura da parte aérea, quando comparadas à testemunha (Faggiani, 2002).

Com uso de microscopia eletrônica de varredura e microanálise de raios X, Samuels et al. (1991) observaram que plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva suplementada com 100 ppm (1,7 mM) de silicato de potássio apresentavam rápida silificação nas folhas, principalmente na base dos tricomas. Além disso, as plantas suplementadas com silicato apresentaram maior resistência ao oídio (*Podosphaera xanthii* syn. *Sphaerotheca fuliginea*), sendo observado Si ao redor dos pontos de infecção do patógeno. Contudo, com a transferência de plantas suplementadas com Si para um meio deficiente no elemento, estas não apresentaram mais a resistência ao fungo ou a silificação do tecido hospedeiro ao redor da hifa, apesar da existência de Si residual na base dos tricomas (Samuels et al., 1991).

A interação entre fontes de silício e fungicidas foi estudada por diversos autores (Datnoff, et al., 1997; Brecht et al., 2004; Seebold et al., 2004). Plantas de arroz tratadas com 0 e 2 t de silicato de cálcio ha⁻¹, benomyl (0 e 1,68 kg ha⁻¹) e propiconazole (0 e 44 L ha⁻¹) apresentaram incidência de brusone de 73% na testemunha, 27% nos tratamentos com aplicação de benomyl e 36% nos tratamentos com adubação com silicato de cálcio. Para a mancha-parda, o número de lesões na folha e a área abaixo da curva de progresso da doença foram significativamente menores no tratamento silicato em combinação com propiconazole, em comparação aos tratamentos com aplicação de silicato ou propiconazole isoladamente (Datnoff et al., 1997). Duas doses de silicato de cálcio (0 e 1000 kg ha⁻¹) foram aplicadas ao solo em duas localidades no sudoeste da Colômbia e sua eficiência comparada na redução da brusone com aplicações dos fungicidas edifenphos (2) e tricyclazole (3), aplicados isoladamente ou em combinação com silicato. Em ambos os locais, a adubação com silicato isoladamente e silicato combinado com edifenphos reduziu a severidade da brusone de 22% para 75%, em comparação ao tratamento utilizado como testemunha (Seebold et al., 2004).

2.5 O silício no controle de doenças do cafeeiro

Mesmo não sendo considerada acumuladoras de silício, plantas de cafeeiro adubadas com silicatos podem apresentar redução no progresso de doenças, como a cercosporiose e a ferrugem do cafeeiro. Pozza et al. (2004), em estudo sobre o efeito da adição de silicato de cálcio ao substrato (1 g kg^{-1} de solo) na intensidade da cercosporiose em mudas de três cultivares de cafeeiro (Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo – IAC 379/19 e Icatu – IAC 2942), observaram que as plantas da cultivar Catuaí tratadas com silicato tiveram redução de 63,2% nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta, em relação à testemunha. Além disso, uma camada de cera bem desenvolvida na face abaxial das folhas tratadas com silicato de cálcio foi observada com uso de microscopia eletrônica de varredura. Os autores atribuíram a menor intensidade da doença nas plantas tratadas com silicato à cutícula mais espessa com a camada de cera epicuticular mais desenvolvida, principalmente na cultivar Catuaí. Realizando a microanálise de raios-X da superfície inferior de folhas das cultivares de cafeeiro estudadas, observou-se, além dos picos de Si nas plantas adubadas com silicato, presença de ferro, zinco e cobre, nutrientes que podem participar como co-fatores na síntese de enzimas ligadas à patogênese. Ou seja, além da barreira física pode ter ocorrido a ativação de outros mecanismos de resistência (Pozza et al., 2004).

Mudas de cafeeiro inoculadas com *H. vastatrix* e pulverizadas com acibenzolar S metil éster (ASM), ácido salicílico (AS), silicato de potássio (5 mL L^{-1} de água destilada) e fosfito de potássio apresentaram redução na área foliar doente de 75,6%, 77,2% , 41,6% e 38,96% respectivamente, em relação à testemunha inoculada (Nojosa, 2003).

A adição de silicato de cálcio e de silicato de sódio nas doses 0; 0,3; 0,6 e $1,26 \text{ g de SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de substrato proporcionou redução na área abaixo da curva de progresso de total de lesões (AACPTL) em mudas de cafeeiro inoculadas

com *C. coffeicola* (Botelho et al., 2005). Também foi observado aumento no teor de lignina até a dose de $0,52 \text{ g kg}^{-1}$ de SiO_2 , fato que pode ter favorecido a redução da intensidade da cercosporiose nas mudas de cafeeiro.

A aplicação via foliar de silicato de potássio (0,75; 1,50; 3,0 e 6,0 mL L⁻¹ de água) resultou em decréscimo da área abaixo da curva de progresso da cercosporiose (AACPD) em mudas de cafeeiro até a dose de 2,27 mL, dose ótima observada como ponto mínimo, seguida de aumento na AACPD nas doses maiores. Observou-se também maior acúmulo de lignina nas mudas pulverizadas com 1,5 mL e aumento da espessura de cutícula devido à maior quantidade de cera na face abaxial das folhas quando comparada à testemunha (Amaral, 2005).

O controle da ferrugem do cafeeiro com pulverizações de silicato de potássio, isoladamente ou em combinação com fungicidas, foi estudado por Zambolim et al. (2005a). Os autores avaliaram a incidência da ferrugem nos tratamentos: 1) controle, 2) “Viça café” + metassilicato, 3) “Viça café” + silicato de potássio, 4) “Viça café” + silicato de sódio, 5) silicato de potássio, 6) “Viça café” e 7) Epoxiconazole. Os tratamentos 2,3,4,6,7 foram estatisticamente superiores e semelhantes, porém diferiram dos tratamentos 1 e 5 e os autores concluíram que a aplicação do silicato de potássio via foliar não reduz a incidência da ferrugem do cafeeiro quando aplicado com intervalo de 30 dias. Resultados semelhantes foram observados na avaliação da incidência da cercosporiose em plantas de cafeeiro adultas pulverizadas com silicato de potássio e fungicidas (tiofanato metílico, “Viça café” e oxiclureto de cobre). A aplicação do silicato de potássio não reduziu a incidência da cercosporiose, entretanto, a mistura do silicato com fungicidas cúpricos melhorou o controle dessa doença em condições de campo (Zambolim et al., 2005b).

2.6 Hipóteses sobre o modo de ação do silício na supressão de doenças em plantas

O modo de ação do silício na resistência de plantas as doenças não está totalmente esclarecido (Bélanger & Menzies, 2002; Fauteux et al., 2005). Yoshida et al. (1962) citados por Rodrigues (2005) observaram em plantas de arroz suplementadas com silício uma lâmina de sílica de aproximadamente 2,5µm de espessura abaixo da cutícula das folhas, a qual poderia impedir a penetração de *M. grisea*, reduzindo, conseqüentemente, o número de lesões nas folhas. Em feijão-de-corda, Heath (1981) observou polimerização de Si em células da epiderme próximo ao sítio de infecção da ferrugem (*Uromyces vignae*), estendendo o conceito de barreira física para plantas não acumuladoras. Contudo, segundo Chérif et al.(1994), Fawe (1998) e Rodrigues et al. (2004) o efeito do Si na supressão de doenças em plantas, provavelmente deve-se à indução de sinais para reações de defesa da planta.

Fawe et al. (1998) observaram no patossistema pepino- *S. fuliginea*, a presença de rápida produção de fitoalexinas (compostos antimicrobianos), nas folhas de plantas cultivadas em solução nutritiva suplementada com silicato de potássio, quando comparado com plantas de tratamentos sem adição de silicato. A atividade da enzima peroxidase foi significativamente maior em plantas de pepino crescendo em solução nutritiva com silicato de potássio (+Si) e inoculadas com *Pythium ultimum*, aos dois dias após a inoculação, quando comparadas com plantas sem silicato (-Si). O pico máximo da enzima em plantas +Si ocorreu aos quatro dias após inoculação, ao passo que nas plantas – Si esse aumento ocorreu somente 10 dias após a inoculação (Chérif et al., 1994).

Samuels et al. (1994) observaram o acúmulo de silício em papilas, na parede celular do hospedeiro e ao redor do haustório de *P. xanthii* em plantas de pepino adubadas com silicato de potássio (1,7 mM). Essa deposição foi atribuída a algum mecanismo responsável por modificar a parede celular durante o

processo infectivo. Evidência citológica do efeito do silício como mediador da resistência de plantas de arroz a *M. grisea* (agente etiológico da brusone) foi constatada por Rodrigues et al. (2005). De acordo com os autores, altos níveis da fitoalexina momilactona foram encontrados em plantas inoculadas com o patógeno e suplementadas com silicato de cálcio aplicado ao solo (+Si), quando comparadas com extratos de folhas inoculadas, porém, sem adição de Si, não inoculadas e com adição de Si e a testemunha absoluta. Os autores sugerem o papel ativo do Si na resistência de plantas de arroz à brusone.

De acordo com Missio et al. (2005), o silicato de potássio aparentemente não é capaz de translocar em folhas de cafeeiro e, dessa forma, não induz proteção sistêmica a *H. vastatrix*, quando comparado a um fungicida sistêmico.

Bélanger & Menzies (2002) citam a necessidade de pesquisas concentradas nas mudanças bioquímicas e genéticas em plantas suplementadas com Si e sob a ação de um patógeno.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, D. R. **Indução de resistência em cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* por eliciadores abióticos e extratos vegetais.** 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- BÉLANGER, R. R.; MENZIES, J. G. How does silicon protect plants against disease? Dogma versus new hypothesis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2002. 1CD-ROOM.
- BOTELHO, D. M. S. dos; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G. de; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 582-588, nov./dez. 2005.
- 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.
- BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHARÉK, T. A.; NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 4, p. 338-344, Apr. 2004.
- CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.
- CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro:** diagnose e controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 58).
- 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.; BÉLANGER, R. R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1008-1013, Oct. 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2006.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, n. 7, p. 729-732, July 1991.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 525-531, Sept. 1997.

D'UTRA, G. As manchas das folhas dos cafeeiros. **Boletim da Agricultura**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-13, 1902.

ECHANDI, E. La Chasparria de los Cafetos causada por el hongo (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke). **Turrialba**, Turrialba, v. 9, n. 2, p. 54-67, abr./jun. 1959.

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

FAGGIANI, E. P. **O silício na defesa de limão rugoso (*Citrus jambhiri*) a *Phytophthora nicotianae* pv. *parasita***. 2002. 66 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.

FAUTEUX, F.; BOREL-RÉMUS, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 249, n. 1, p. 1-6, Aug. 2005.

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.

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inoculo sobre a Cercosporiose do cafeeiro**. 1988. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FERNADEZ-BORRERO, O.; MESTRE, A. M.; DUQUE, S. L. Efecto de la fertilizacion en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 17, n. 1, p. 5-16, ene./mar. 1966.

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; SOUZA, P. E.; CARVALHO, J. G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.

GILLMAN, J. H.; ZLESAK, D. C.; SMITH, J. A. Applications of potassium silicate decrease black spot infection in *Rosa hybrida* 'Meipelta' (Fuschia Meidiland). **Hort Science**, Alexandria, v. 38, n. 6, p. 1144-1147, Oct. 2003.

HEATH, M.C. Insoluble silicon in necrotic cowpea cells following infection with an incompatible isolate of the cowpea rust fungus. **Physiological Plant Pathology**, v.19, p.273-276.

HODSON, M. J.; SANGSTER, A. G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, London, v. 62, n. 5, p. 463-471, Nov. 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Doenças do cafeeiro. In: _____. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1981. p. 331-378.

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

LIMA, M. T. G. de. **Interação Cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 1998. 58 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.

LIMA, L. M. de. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 887 p.

MATIELLO, J. B. **O Café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Editora Globo, 1991. cap. 24, p. 345-363. (Coleção do Agricultor – Grãos).

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNÁNDEZ, D. R. **Cultura de café no Brasil - Novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/ PROCAFÉ, 2002. 387 p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, 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.; ZAMBOLIM, L. Can foliar spray of potassium silicate induces systemic protection against coffee rust? In: KORNDORFER, G. H.; COELHO, L.; NOLLA, A. RODRIGUES, F. A. **III Silicon in Agriculture Conference**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 120.

NOJOSA, G. B. A. **Efeito de indutores na resistência de Coffea arabica L. a Hemileia vastatrix Berk & Br. e Phoma costarricensis Echandi**. 2003. 102 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

POZZA, A. A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; CAIXETA, S. L.; CARDOSO, A. A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, mar./abr. 2004.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Review**, Cambridge, v. 58, n. 2, p. 179-207, 1983.

RAYNER, R. W. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). **Annual of Applied Biology**, Warnick, v.49, n.3, p.497-505, 1961.

RODRIGUES, F. A. **Fertilização silicatada na severidade da queima-das-bainhas (*Rhizoctonia solani* Kühn) do arroz.** 2000. 100 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon and Rice Disease Management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 457-469, set./out. 2005.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 85, n. 8, p. 827-831, Aug. 2001.

RODRIGUES, F. A.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopatology**, St. Paul, v. 94, n. 2, p. 177-183, Feb. 2004.

SANGSTER, A. G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 65, n. 9, p. 929-935, Sept. 1978.

SANGSTER, A. G.; PARRY, D. M. Endodermal silification in mature, nodal roots of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Annals of Botany**, London, v. 40, n. 166, p. 373-379, 1976.

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.

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.

SEEBOLD, K. W. Jr.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHARÉK; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 3, p. 253-258, Mar. 2004.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: Science of Rice Plant: **Physiology Food and Agriculture Policy Research Center**, v. 2, p. 420-433, 1996.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A. F.; PINTO, C. D. O.; RODRIGUES, F. A. Effects of potassium silicate and “calda viçosa” mixed or not with silicate on the control of coffee leaf rust. In: KORNDORFER, G. H.; COELHO, L.; NOLLA, A. RODRIGUES, F. A. **III Silicon in Agriculture Conference**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005a. p. 113.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A. F.; NETO, P. N. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of foliar application of potassium silicate and fungicides on the control of brown eye spot on coffee. In: KORNDORFER, G. H.; COELHO, L.; NOLLA, A. RODRIGUES, F. A. **III Silicon in Agriculture Conference**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005b. p. 121.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; COSTA, H.; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem do cafeeiro. In:

ZAMBOLIM L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG, 2002. p. 369-433.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 165-180.

CAPÍTULO 2

FONTES DE SILÍCIO NA INTENSIDADE DA CERCOSPORIOSE E NA NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE CAFEIEIRO

RESUMO

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Fontes de silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Foram instalados dois experimentos com o objetivo de verificar o efeito de fontes de silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro. No experimento 1, foram adicionadas seis doses de ácido silícico ao solo (0, 0,5; 1; 2; 4 e 6 g kg⁻¹ de solo), utilizando como delineamento experimental blocos casualizados com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por seis mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Com três pares de folhas definitivos, as mudas foram inoculadas com o fungo *Cercospora coffeicola* e a intensidade da doença foi quantificada em cinco avaliações mensais e os dados transformados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha (AACPNLF). Ao final das avaliações da doença, foram mensurados: área foliar, área foliar específica, % desfolha, peso da matéria seca da parte aérea, peso da matéria seca da raiz e as amostras foram encaminhadas para a realização de análise nutricional de silício, macronutrientes e micronutrientes. A AACPI, AACPS e AACPNLF da cercosporiose não diferiram com os tratamentos aplicados. Observou-se decréscimo linear da AACPNLF com aumento das doses de ácido silícico. A adição de doses crescentes de ácido silícico no solo não influenciou significativamente a área foliar, a área foliar específica, a % desfolha e o peso da matéria seca da parte aérea e da raiz. Com relação aos nutrientes, os teores de silício (Si), nitrogênio (N), cálcio (Ca), potássio (K), ferro (Fe) e manganês (Mn) não apresentaram diferença estatística. Contudo, enxofre (S), fósforo (P), zinco (Zn), cobre (Cu), magnésio (Mg) e boro (B) foram influenciados pelas doses de ácido silícico aplicadas no solo. Na análise do conteúdo do nutriente na matéria seca da parte aérea, somente o conteúdo de enxofre (S), manganês (Mn) e potássio (K) diferiram estatisticamente com os tratamentos utilizados. No experimento 2, foram realizadas microanálises de raios-X em duas cultivares de cafeeiro (Topázio MG1190 e Icatu Amarelo 3282), inoculadas e não inoculadas com *C. coffeicola* e tratadas e não tratadas com silicato de cálcio (1g kg⁻¹ de solo). Não foram observados picos de silício tanto na cultivar Icatu quanto na Topázio, contudo, observaram-se menores picos de potássio e cálcio nas folhas de mudas

inoculadas com *C. coffeicola*, quando comparadas com as mudas sadias, em ambas as cultivares.

Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

ABSTRACT

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Sources of silicon on the intensity of brown eye spot and mineral nutrition of coffee seedlings**. 2006. 111 p. Thesis (Doctorate in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil*.

Two experiments were carried out to verify the effect of silicon sources on the intensity of brown eye spot and on the mineral nutrition of coffee seedlings. In the experiment 1, six doses of silicic acid were amended to the soil (0, 0.5, 1, 2, 4 and 6 g kg⁻¹ soil) using a complete randomized block design with four replicates with six coffee seedlings cultivar Catuai Vermelho IAC 99 as experimental unit. At the three fully-expanded leaf pair stage, seedlings were inoculated with the fungus *Cercospora coffeicola* and the disease was quantified in five weekly evaluations and data transformed to area under the incidence progress curve (AUIPC), area under the progress of the number of diseased leaves/plant (AUPDLP), area under the progress of the number of lesions/leaf (AUPNLL) and area under the severity progress curve (AUSPC). At the end of the disease evaluations the variables: leaf area, specific leaf area, percent defoliation, shoot dry weight and root dry weight were evaluated as well as nutrient levels for silicon, macro and micronutrients. The AUIPC, AUSPC and AUPDLP of brown eye spot did not differ among the used treatments. It was observed a linear decrease in AUPNLL within the amount of amended silicon. The addition of increasing doses of silicic acid to the soil did not significantly affect leaf area, specific leaf area, percent defoliation, shoot and root dry weight. In regard to nutrient contents, silicon (Si), nitrogen (N), calcium (Ca), potassium (K), iron (Fe) and manganese (Mn) were not significantly affected. However, sulfur (S), phosphorus (P), zinc (Zn), copper (Cu), magnesium (Mg) and boron (B) contents were influenced by the silicic acid amendment. For the analysis of shoot dry weight nutrient content, only sulfur (S), manganese (Mn) and potassium (K) contents was statistically differed among treatments. In the experiment 2, it was performed X-ray microanalysis of two coffee cultivars (Topazio MG1190 e Icatu Amarelo 3282), inoculated and non-inoculated with *C. coffeicola*, treated and untreated with calcium silicate (1g kg⁻¹ of soil). Peaks in silicon were not observed in any cultivar however, lower potassium and calcium peaks were present in leaves from *C. coffeicola*-inoculated plants, when compared to leaves from healthy seedlings, in both cultivars.

*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Major Professor), Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA

1 INTRODUÇÃO

Minas Gerais é o maior produtor de café do Brasil (15,9 milhões de sacas- safra 2000/2001) e responsável por mais de 50% da produção nacional. O parque cafeeiro mineiro superou 2,8 bilhões de pés plantados e 1 milhão de hectares, abrangendo cerca de 90 mil propriedades distribuídas em 510 municípios (60% dos municípios mineiros). Significativa também foi a produção de mudas de café no estado; nos anos de 1996 a 2000, de acordo com DIFV/IMA, foram produzidas 1,64 bilhão de mudas (Floriani, 2001). A propagação do cafeeiro passa pela formação de mudas, as quais devem ser de linhagens produtivas, bem adaptadas, vigorosas, livres de pragas e doenças e plantadas em períodos adequados para o sucesso do empreendimento.

O controle de doenças no viveiro é importante para produzir mudas de qualidade. Dentre as doenças responsáveis por perdas de mudas, encontra-se a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke), responsável por intensa desfolha, atraso no crescimento e raquitismo das plantas (Fernandes-Borrero et al., 1966). De acordo com Carvalho e Chalfoun (1998), a cercosporiose é a doença do cafeeiro com maior possibilidade de ser controlada com práticas culturais, podendo-se, em alguns casos, evitar o uso do controle químico. Dentre as práticas culturais recomendadas para o manejo da doença estão evitar umidade excessiva do substrato, excesso de insolação e, principalmente, adubação equilibrada do substrato, pois a cercosporiose é muito influenciada pelas condições nutricionais da planta (Fernandes, 1988; Carvalho & Chalfoun, 1998).

A relação entre nutrientes, como nitrogênio, cálcio, potássio e fósforo, e o progresso da cercosporiose já foi verificada por Fernandes-Borrero et al. (1966), Fernandes (1988), Pozza et al. (2001) e Garcia Júnior et al. (2003).

Apesar de não ser considerado nutriente, o silício proporcionou, nas condições estudadas, redução de doenças do cafeeiro. A adição de silicato de cálcio ao substrato (1 g kg^{-1} de substrato) de mudas de cafeeiro proporcionou a redução de 63,2% nas folhas lesionadas com *C. coffeicola* e de 43% no total de lesões por planta em comparação à testemunha sem adição de silicato (Pozza et al., 2004). Amaral (2005) observou que a aplicação de silicato de potássio, via foliar, em mudas de cafeeiro resultou em decréscimo da área abaixo da curva de progresso da cercosporiose até a dose de $2,27 \text{ mL L}^{-1}$. Além do efeito da redução da doença, Botelho et al. (2005) verificaram alteração na nutrição de mudas de cafeeiro quando adubadas, via solo, com silicato de cálcio e silicato de sódio. Os teores de nitrogênio, cálcio e manganês foram influenciados significativamente pela suplementação de silicato ao substrato.

Contudo, os estudos realizados com silício no controle de doenças do cafeeiro utilizaram como fonte deste nutriente silicatos que têm, em sua composição, cálcio e potássio, nutrientes com influência no progresso de doenças (Marschner, 1995). O ácido silícico (H_4SiO_4) é uma fonte pura de silício e possibilita o estudo do seu efeito isoladamente no controle da cercosporiose do cafeeiro.

Com base nestas informações, este trabalho teve por objetivos:

1. Verificar o efeito de doses de ácido silícico na intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99;
2. Avaliar o efeito da adição de doses de ácido silícico no solo na nutrição mineral das mudas de cafeeiro;
3. Verificar, com microanálise de raios X, a presença de nutrientes em plantas adubadas e não adubadas com silicato de cálcio, nas cultivares de cafeeiro Icatu Amarelo 3282 e Topázio MG1190.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento 1- Influência de doses de ácido silícico na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro

2.1.1 Área experimental

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia (DFP), na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de setembro de 2005 a maio de 2006.

2.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 4 repetições. Foram aplicadas no solo seis doses de ácido silícico (Sigma®): 0; 0,5; 1; 2; 4 e 6 g kg⁻¹ de solo. A parcela experimental foi constituída por seis plantas.

2.1.3 Preparo das mudas de cafeeiro

Sementes de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram semeadas em bandejas de plástico com areia autoclavada e diariamente irrigadas até atingirem o estágio orelha-de-onça. Posteriormente foram repicadas para sacos de polietileno (15 x 20cm) contendo Latossolo Vermelho Típico com 13,6 mg dm⁻³ de Si. Foram adicionadas ao solo as seguintes doses de ácido silícico: 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 g do produto por quilo de solo. O solo foi irrigado com água destilada até atingir a capacidade de campo e permaneceu reagindo por 20 dias. Após o período de incubação, os teores de Si no solo foram novamente quantificados. O solo apresentou os teores de: 14,7; 17,1; 19,1; 33,0 e 68 mg dm⁻³ de Si, para as doses de 0,5; 1; 2; 4 e 6 g de ácido silícico, por quilo de solo, respectivamente.

Foi realizada adubação com: 300 mg.dm⁻³ de nitrogênio (N), 300 mg.dm⁻³ de potássio (K), 200 mg.dm⁻³ de fósforo (P), 30 mg.dm⁻³ de magnésio (Mg), 50 mg.dm⁻³ de enxofre (S), 0,5 mg.dm⁻³ de boro (B), 1,5 mg.dm⁻³ de cobre (Cu), 3,0 mg.dm⁻³ de manganês (Mn), 0,1 mg.dm⁻³ de molibdênio (Mo) e 5,0 mg.dm⁻³ de zinco (Zn). Quando as mudas estavam com 4 pares de folhas definitivas, foi observada deficiência do nutriente zinco que foi corrigida com a aplicação foliar de sulfato de zinco na concentração de 0,3%. O cálculo da necessidade de calagem (NC) baseou-se na análise química prévia do solo (Tabela 1), visando atingir uma saturação por bases de 50% conforme Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

Durante todo o período de condução do experimento, a irrigação das mudas foi realizada somente com água destilada, visando evitar adição de silício na testemunha.

2.1.4 Inoculação das mudas de cafeeiro com *Cercospora coffeicola*

Ao atingirem três pares de folhas definitivas, as mudas de cafeeiro foram inoculadas com a suspensão de $1,4 \times 10^4$ conídios/mL, segundo metodologia utilizada por Pozza (1999). A inoculação foi realizada no final da tarde, sendo as mudas, após a inoculação, colocadas em câmara úmida por 12 horas (Fernandes, 1988). Os sintomas da doença apareceram, aproximadamente, 20 dias após a inoculação, quando iniciaram-se as avaliações da intensidade da cercosporiose nas mudas de cafeeiro.

TABELA 1. Atributos químicos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos. Laboratório de Análise de solos. DCS/UFLA,2005.

Atributos	
pH	5,6
Al (cmolc md ⁻³)	0,0
H + Al (cmolc md ⁻³)	1,5
SB (cmolc md ⁻³)	1,1
T (cmolc md ⁻³)	2,6
t (cmolc md ⁻³)	1,1
V (%)	41,6
P (mg dm ⁻³)	0,6
K (mg dm ⁻³)	28
Ca ⁺² (cmolc md ⁻³)	0,8
Mg ⁺² (cmolc md ⁻³)	0,2
Si (mg dm ⁻³)	13,6

pH em água, 1:2,5; P e K- extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al- extrator KCl 1 mol L⁻¹; N; H + Al: extrator SMP; Si- extrator ácido acético; SB=soma de bases trocáveis; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T)= capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= índice de saturação por bases.

2.1.5 Avaliação da intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro

A avaliação da incidência e da severidade da cercosporiose nas mudas de cafeeiro foi realizada semanalmente, em todas as seis plantas da parcela, totalizando cinco avaliações.

A incidência foi determinada pela porcentagem do número de plantas com sintomas na parcela e pelo número de folhas com lesão/planta. A severidade da cercosporiose foi quantificada pelo número de lesões/folha e pela escala diagramática proposta por Fernandes (1988).

Os índices médios de incidência e severidade observados foram transformados em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), de acordo com Shaner & Finney (1977).

2.1.6 Área foliar total, área foliar específica e % desfolha

A área foliar total de cada parcela foi determinada ao final do experimento, com o medidor laser de área foliar (Laser Área Meter CI 203- CID Incorp.). A área foliar específica foi quantificada pela razão área foliar/ peso foliar seco. Já a % desfolha foi quantificada pela contagem do número de folhas caídas (NFC)*100/ número total de folhas (NTF).

2.1.7 Matéria seca e análise química nutricional das plantas

Após o término das avaliações de intensidade da doença, área foliar e % de desfolha, a parte aérea e as raízes foram lavadas em água destilada e acondicionadas, separadamente, em sacos de papel e colocados em estufa, a 60⁰C, até atingirem peso constante. Realizou-se a pesagem do material para a determinação do peso seco da parte aérea e de raiz dos tratamentos. Em seguida, o material foi moído para a realização das análises nutricionais foliares de macronutrientes, micronutrientes e silício. A determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram realizadas no Laboratório de Análise foliar do Departamento de Química da UFLA, de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al.(1997). Já a quantificação de silício nas folhas foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Elliot (1991).

2.1.8 Análise dos dados

A análise estatística do experimento foi realizada com a utilização do programa Sisvar, versão 4.6 (Build 6.1), do qual foram obtidos a análise de variância e a análise de regressão e os ajustes de modelos, cujos resultados foram significativos no teste F, considerando uma significância de 5%.

2.2 Experimento 2- Microanálise de raios X (Max) da superfície de folhas de cultivares de cafeeiro inoculadas com *C. coffeicola*

2.2.1 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados e a análise de variância em esquema fatorial 2 x 2 x 2, sendo adição de silicato de cálcio ao substrato de plantio (com e sem Si), doença (inoculada e não inoculada) e cultivares de cafeeiro (Icatu Amarelo 3282 e Topázio MG1190) com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro plantas. Nas parcelas do tratamento com silicato de cálcio (23% CaO e 63% de SiO₂) foi misturado 1 g de CaSiO₂ por quilo de substrato antes do plantio das mudas. A dose 1 g foi escolhida por ter proporcionado redução na intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em trabalhos conduzidos por Pozza et al. (2004) e também por Botelho et al. (2005).

2.2.2 Preparo das mudas de cafeeiro

Sementes de cafeeiro das cultivares Icatu e Topázio foram colocadas em bandejas de plástico com areia autoclavada, sendo diariamente irrigadas. Ao atingirem o estágio orelha-de-onça, foram transplantadas para saquinhos de polietileno (11 x 20 cm), os quais continham o seguinte substrato: 70% de

esterco bovino curtido, 30% de terra de subsolo, 5 kg de superfosfato simples/m³ de substrato e 0,5 kg de cloreto de potássio/ m³ (CFSEMG, 1999).

2.2.3 Preparo do inóculo e inoculação das mudas de cafeeiro

Ao atingirem três pares de folhas definitivas, as mudas de cafeeiro foram inoculadas com a suspensão de $1,4 \times 10^4$ conídios/mL, segundo metodologia utilizada por Pozza (1999). Os sintomas apareceram, aproximadamente, 18 dias após a inoculação, quando foram coletadas as folhas para a realização da microanálise de raios X (MAX).

2.2.4 Preparo das amostras para microanálise de raios-X (MAX)

Como amostras para microanálise de raios-X (MAX), foram retiradas folhas do terceiro par do ramo ortotrópico, contadas partindo do ápice para a base, das plantas da parcela. De cada folha amostrada, foram retirados dois fragmentos do limbo foliar (9 mm² cada). Posteriormente, os espécimes foram montados em suportes de alumínio "stubs", tendo metade destes sido montado com a face superior voltada para cima e a outra metade com a face inferior voltada para cima. Esses espécimes foram levados para o dessecador contendo sílica gel, onde permaneceram por 24 horas. Em seguida, foram levados ao aparelho 'sputtering' (MED 010, Balzer) e cobertos com uma fina camada de carbono. Em seguida as amostras foram observadas em MEV (DSM940-Zeiss, acoplado ao sistema de MAX: EDS-OXFORD INSTRUMENT Link ISIS) no Núcleo de Apoio a Pesquisa/ Microscopia Eletrônica Aplicada a Agricultura na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (NAP/MEPA ESALQ- USP), onde foram avaliados os elementos presentes na superfície das folhas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do ácido silícico na intensidade da cercosporiose e nutrição mineral de mudas de cafeeiro

A área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e a área abaixo da curva de progresso do número de folhas lesionadas por planta (AACPNFL) não apresentaram diferença significativa com as doses crescentes de ácido silícico adicionadas ao solo (Tabela 1A, Figura 1).

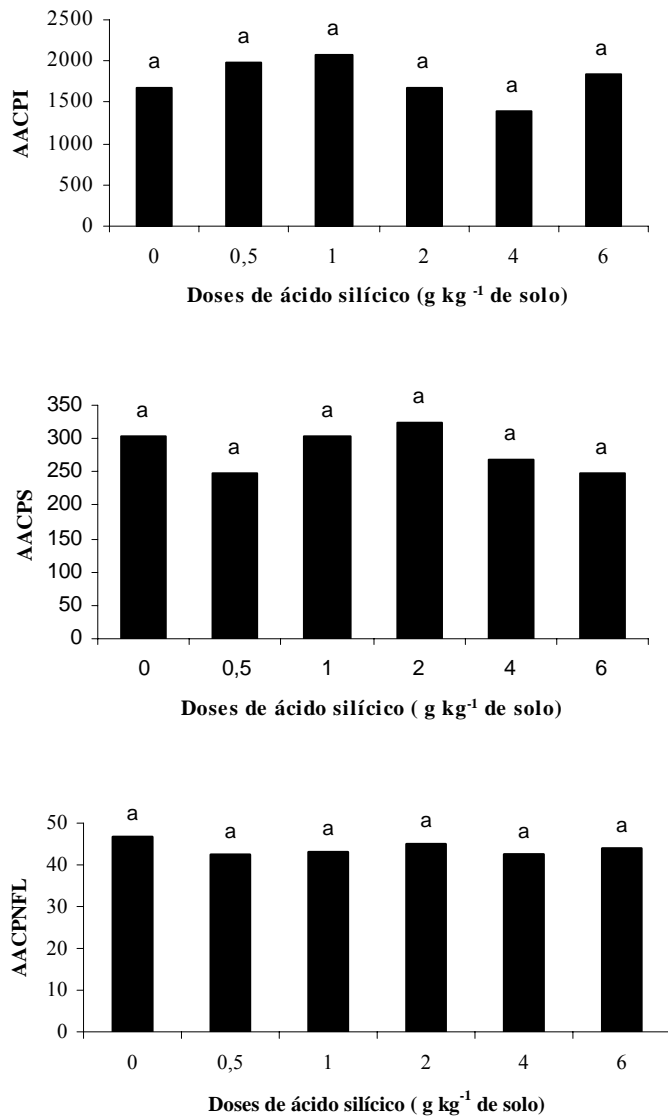


FIGURA 1. Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e área abaixo da curva de progresso do número de folhas lesionadas por planta (AACPNFL) em função das doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

A área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha (AACPNLF) apresentou diferença estatística com as crescentes doses de ácido silícico adicionadas ao solo (Tabela 1A). Observou-se decréscimo linear na AACPNLF com o aumento das doses de Si ao solo, com redução de 29,5% da menor (0 g kg⁻¹) para a maior (6 g kg⁻¹) dose de ácido silícico aplicada ao solo (Figura 2).

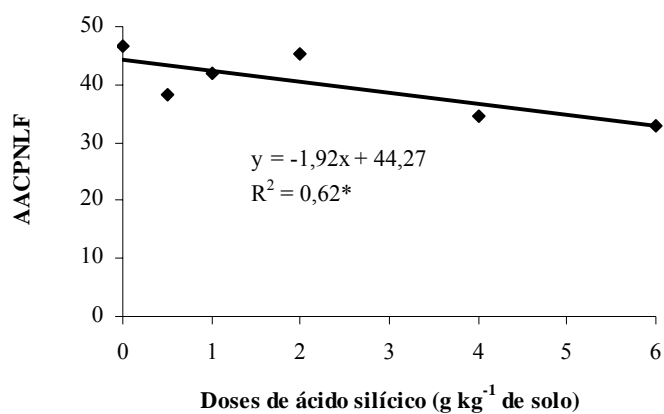


FIGURA 2. Área abaixo da curva de progresso do número de lesões de cercosporiose por folha (AACPNLF) em função das doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Amaral (2005), também estudando o patossistema cafeeiro-*C. coffeicola*, observou decréscimo de 47% na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) com aplicação de silicato de potássio via foliar. Resultados semelhantes foram observados por Pozza et al. (2004) em que mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 adubadas com silicato de cálcio no solo (1 g kg⁻¹ de substrato) e inoculadas com *C. coffeicola* apresentaram redução de 63,2%

nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta, quando comparadas à testemunha. Foi observada, com uso de microscopia eletrônica de varredura, presença de cutícula mais espessa com a camada de cera epicuticular mais desenvolvida nos tratamentos com adição de silicato. De acordo com os autores, a presença desta camada de cera pode explicar, em grande parte, a redução no número de lesões de *C. coffeicola*.

O modo de ação do silício na resistência de plantas a doenças não está totalmente esclarecido (Bélanger & Menzies, 2002; Fauteux et al., 2005). Primeiramente, acreditava-se que a ação do silício na supressão de doenças era devido à barreira física formada pela polimerização do Si na parede celular (Bélanger & Menzies, 2002). Contudo, trabalhos recentes (Chérif et al., 1994; Fawe, 1998; Rodrigues, 2004) citam a possibilidade de o efeito do Si na supressão de doenças em plantas, ser ativo, provavelmente, indução de sinais para reações de defesa da planta. Bélanger & Menzies (2002) citam a necessidade de pesquisas concentradas nas mudanças bioquímicas e genéticas em plantas suplementadas com Si sob ação de um patógeno.

O tratamento com 6 g de ácido silícico apresentou maior incidência de plantas doentes, em torno de 80% e 90%, na primeira e segunda avaliação, respectivamente (Figura 3). Contudo, ocorreu decréscimo na incidência da doença nas avaliações posteriores, tendo sido o tratamento com menor incidência na última avaliação (em torno de 20%).

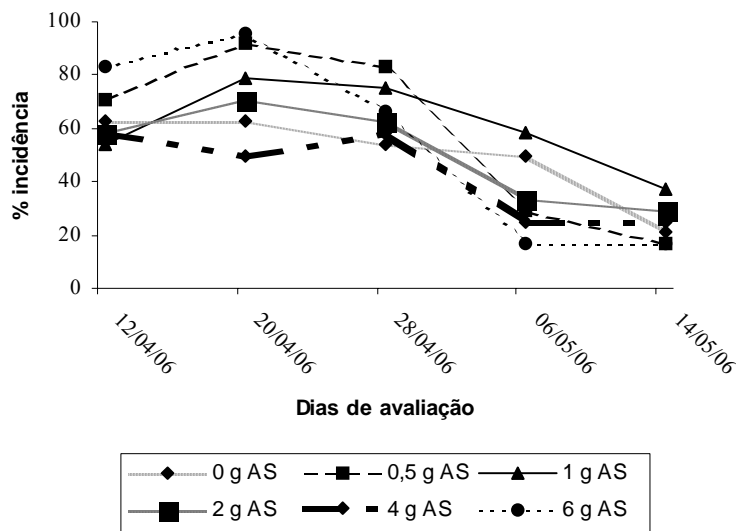


FIGURA 3. Curva de progresso da incidência da cercosporiose em mudas de cafeeiro. AS= ácido silícico kg^{-1} de solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Nas curvas de progresso da porcentagem de lesões de cercosporiose/folha e porcentagem de folhas doentes/planta, observa-se que os tratamentos foram similares para ambas as características avaliadas. Os valores variaram de 20% a 40%, tanto para a porcentagem de lesões/folha como para a porcentagem de folhas doentes.

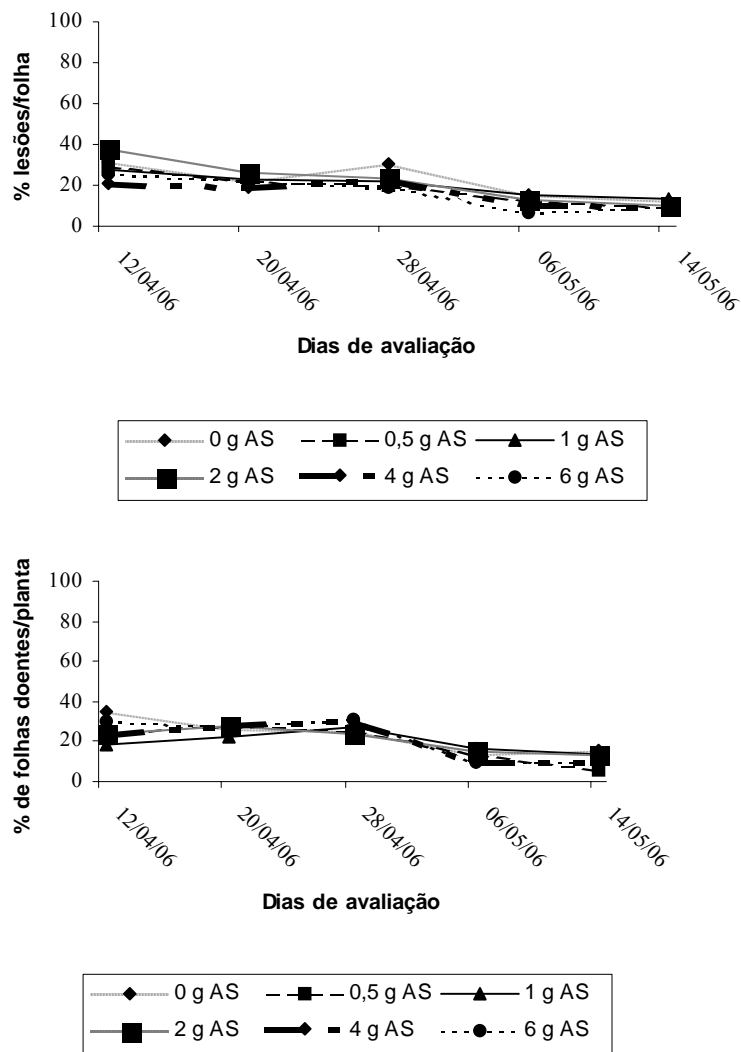


FIGURA 4. Curva de progresso da porcentagem de lesões de cercosporiose/folha e da porcentagem de folhas doentes em mudas de cafeeiro. AS= ácido silícico kg^{-1} de solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

As doses crescentes de ácido silícico não influenciaram a área foliar, a área foliar específica, a porcentagem de desfolha e o peso da matéria seca da parte aérea e da raiz das mudas de cafeeiro (Tabela 6A).

Não foi observada diferença estatística na concentração de silício nos tratamentos estudados (Tabela 7A). Bezerra (2000), estudando efeito do silicato de cálcio em cafeeiros adultos na redução da intensidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br), não encontrou diferenças nos teores de Si nas folhas adubadas com silicato, quando comparadas com as da testemunha. Posteriormente, Botelho et al. (2005), em trabalho com diferentes doses de silicato de cálcio e silicato de sódio em mudas de cafeeiro para controle da cercosporiose, também não observaram diferença na concentração de Si nos tecidos foliares, mas somente no caule. Uma possível explicação para esse resultado é que o cafeeiro não é considerado como planta acumuladora de Si e, dessa forma, a absorção deste nutriente é reduzida (Ma et al., 2001). Porém Pozza et al. (2004) encontraram picos de Si em mudas de cafeeiro tratadas com silicato de cálcio aplicado via solo, utilizando a técnica de microanálise de raios X.

Com relação às análises foliares de macronutrientes, os teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca) e potássio (K) não foram influenciados pela adição de ácido silícico ao solo (Tabela 2A). Os teores de nitrogênio, cálcio e potássio encontrados na matéria seca da parte aérea das mudas de cafeeiro foram 53,8 a 34,8; 9,0 a 6,7 e 25,2 a 17,4 g kg⁻¹, respectivamente. Contudo, os teores de fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) apresentaram diferenças significativas com as doses crescentes de ácido silícico aplicadas no solo (Figura 5).

O maior teor de fósforo nos tecidos foliares foi observado na dose 0,18 g de ácido silícico, com posterior decréscimo. Os valores variaram de 0,9 a 2,0 g kg⁻¹ e estão abaixo da faixa crítica do teor de fósforo em mudas de cafeeiro encontrada por Gontijo (2004), de 3,3 a 3,8 g kg⁻¹. Botelho et al. (2005) não

observaram variação no teor de fósforo em mudas de cafeeiro com adição de silicato de cálcio e silicato de sódio ao substrato de plantio. O decréscimo no teor de fósforo com aumento das doses de ácido silícico é contraditório ao trabalho de Tisdale (1985) o qual relatam a competição do fosfato e silicato pelos mesmos sítios de absorção, podendo o silicato deslocar o fosfato previamente adsorvido, melhorando desta forma a disponibilidade de fósforo para a planta. Embora tenha ocorrido diferença estatística, as variações observadas foram pequenas, em torno de 0,5%, o que poderia ser atribuída a variações decorrentes de procedimentos analíticos de laboratório.

Na análise do teor do enxofre, observou-se decréscimo linear com aumento das doses de ácido silícico (Figura 5). Botelho et al. (2005) não observaram alteração significativa no teor de enxofre em mudas de cafeeiro com a adição das doses 0, 0,5, 1 e 2 g de silicato de cálcio e silicato de sódio. Os teores de enxofre variaram de 1,0 a 1,4 g kg⁻¹ e também estão abaixo da faixa crítica, de 2,2 a 2,6 g kg⁻¹ (Gontijo, 2004).

O teor de magnésio, assim com o de enxofre, decresceu linearmente com aumento das doses de ácido silícico adicionadas ao solo de plantio de mudas de cafeeiro. Os teores foliares quantificados, variando entre 1,2 a 2,5 g kg⁻¹, estão acima da faixa crítica deste nutriente em mudas de cafeeiro, que é de 1,1 a 1,2 g kg⁻¹, proposta por Gontijo (2004).

Com exceção do magnésio, os teores influenciados significativamente pela adição de ácido silícico ao solo, fósforo e enxofre apresentaram valores baixos, indicando que a adubação utilizada no experimento pode ter sido insuficiente para o bom desenvolvimento das mudas de cafeeiro.

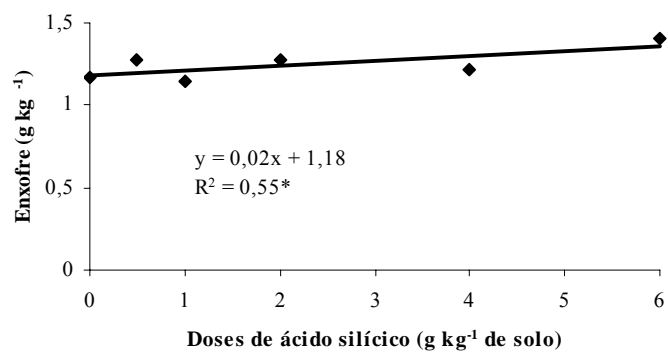
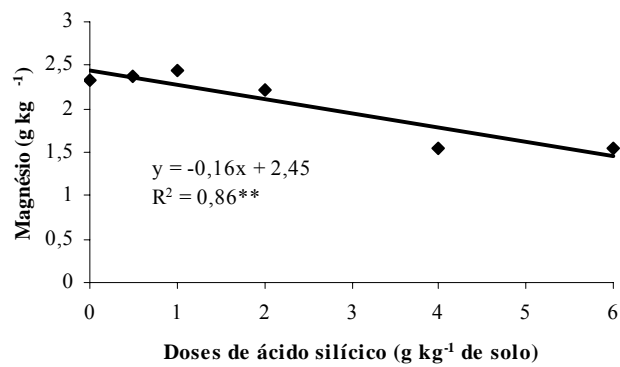
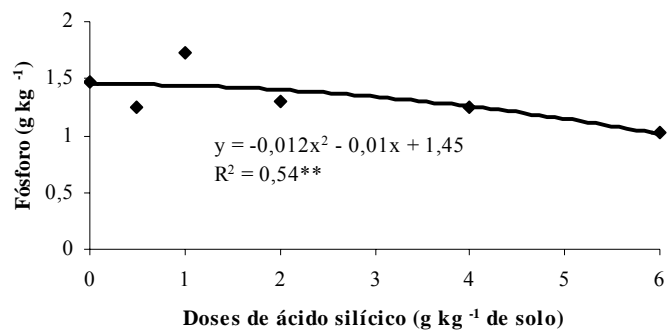


FIGURA 5. Teores foliares de fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) em função das doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Os teores dos micronutrientes manganês (Mn) e ferro (Fe) não diferiram estatisticamente com o aumento das doses de ácido silícico no solo (Tabela 3A). Porém, boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) apresentaram teores estatisticamente diferentes com a adição de Si ao solo (Figura 6).

O teor de boro nos tecidos foliares apresentou decréscimo com aumento das doses de ácido silícico no solo até a dose de 4 g, com aumento após esta dose. Os teores variaram de 21,5 a 52,1 mg kg⁻¹, estando o limite inferior abaixo da faixa crítica para este nutriente, de 39,74 a 39,94 mg kg⁻¹. Botelho et al. (2005), não observaram alteração no teor foliar de boro em mudas de cafeeiro adubadas com diferentes doses de silicato de cálcio e silicato de sódio.

Na avaliação do teor de cobre, observou-se aumento crescente do nutriente com o acréscimo das doses de ácido silícico aplicado no solo. Os teores variaram de 3,5 a 7,5 mg kg⁻¹. De acordo com Gontijo (2004), a faixa crítica para o cobre em mudas de cafeeiro, no estágio de 4 pares de folhas verdadeiras, é de 6,94 a 9,29 mg kg⁻¹.

O teor de zinco decresceu com as crescentes doses de ácido silícico adicionadas ao solo. Os valores 110,7 a 216,4 mg kg⁻¹ estão bem acima da faixa crítica deste nutriente, que é de 3,68 a 4,08 mg kg⁻¹. Esse resultado pode ser explicado pelo resíduo existente nas folhas da aplicação foliar de sulfato de zinco, pois, mesmo tendo sido realizada aproximadamente 40 dias antes da análise foliar, ainda existiam resíduos na folha.

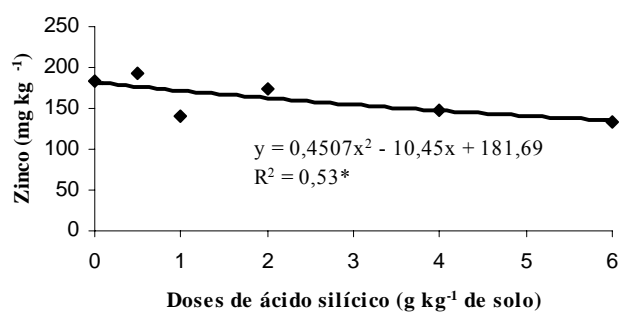
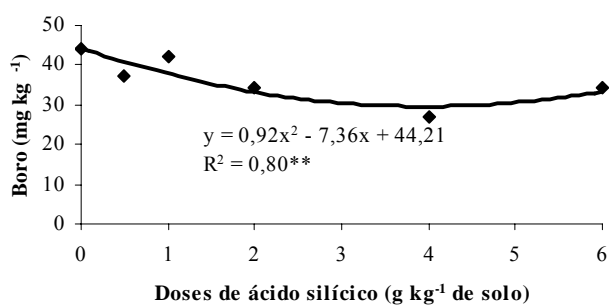
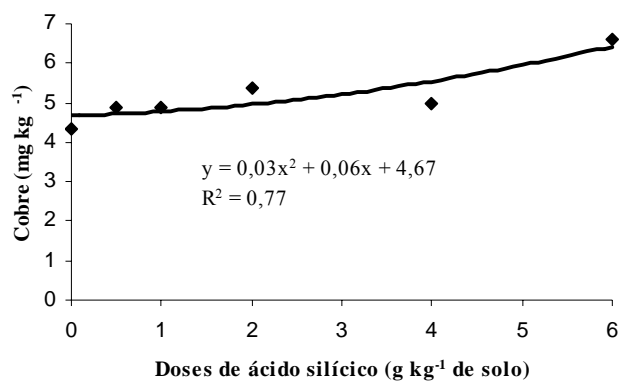


FIGURA 6. Teores foliares de boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn), em função das doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Na quantificação do conteúdo dos nutrientes na matéria seca da parte aérea, apenas enxofre (S), potássio (K) e manganês (Mn) diferenciaram-se significativamente com os tratamentos utilizados (Tabelas 4A e 5A). Observou-se aumento linear nos três nutrientes com o aumento das doses de ácido silícico (Figura 7).

Embora tenha ocorrido aumento do conteúdo do enxofre na matéria seca da parte aérea, as variações foram baixas, em torno de $0,2 \text{ g vaso}^{-1}$ de diferença entre o maior e o menor conteúdo desse nutriente. Resultado semelhante foi verificado para o potássio e o manganês. De acordo com Ma et al. (2001), dentre os diversos benefícios do silício no desenvolvimento de culturas, estão a redução da transpiração, prevenção de tombamento, redução da toxidez de manganês. Desta forma, o aumento do conteúdo do enxofre, potássio e manganês, também pode ser classificado como benefício do silício para mudas de cafeeiro.

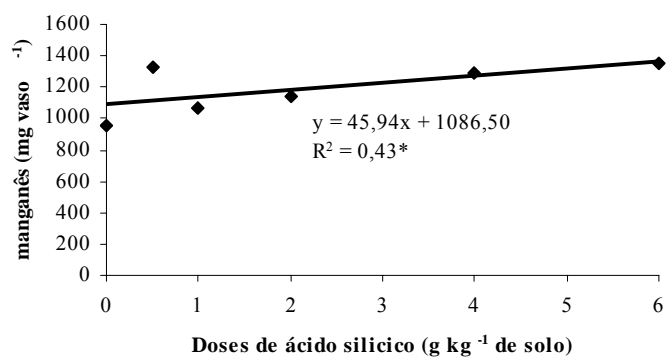
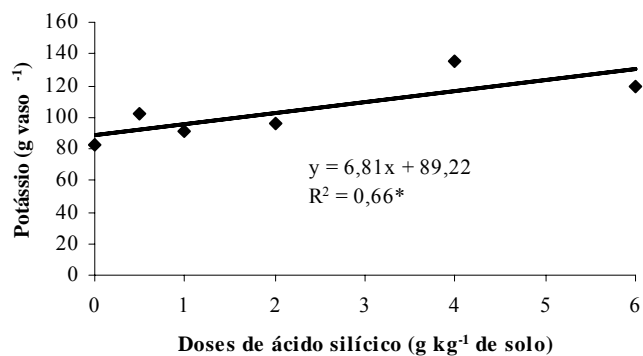
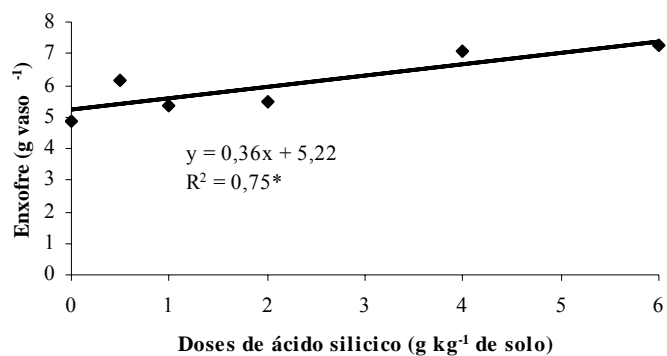
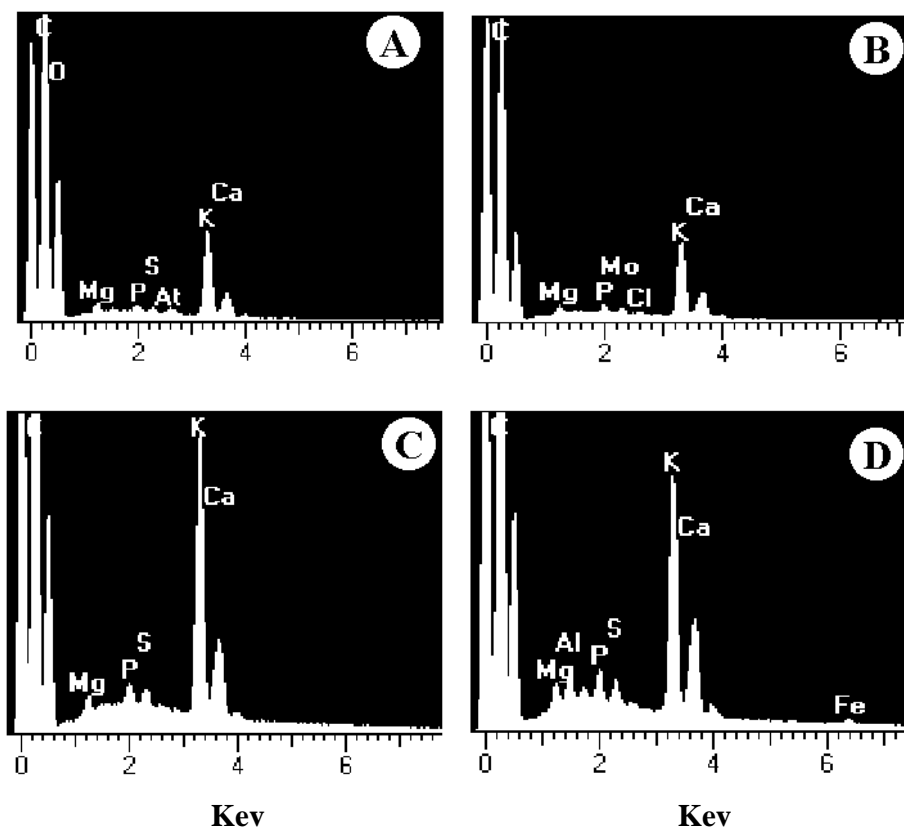


FIGURA 7. Conteúdo de enxofre (S), potássio (K) e manganês (Mn) na matéria seca da parte aérea, em função das doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

3.2 Microanálise de raios X (Max) da superfície de folhas de cultivares de cafeeiro inoculadas com *C. coffeicola*

Para a cultivar Icatu, não foram observados picos de silício nas folhas de plantas suplementadas com silicato de cálcio (Figura 1 A e B), porém, Pozza et al. (2004), trabalhando com as cultivares de cafeeiro Catuaí, Mundo Novo e Icatu, constataram picos de Si nas plantas adubadas com 1 g de silicato de cálcio aplicado no solo nas três cultivares estudadas. O tempo de condução de experimento pode ter influenciado o resultado, pois, no presente trabalho, as mudas estavam com, aproximadamente, quatro meses quando foi realizada a microanálise de raios X, enquanto Pozza et al. (2004) realizaram a microanálise de raios X com mudas de sete meses de idade. Foi possível observar em folhas de plantas saudáveis, altos picos de potássio e de cálcio (Figura 1 C e D) quando comparadas às folhas com sintomas da doença (Figura 1 A e B) independente da adição de silicato de cálcio ao substrato. Baixos picos de cálcio e potássio também foram verificados por Pozza et al. (2004) nas mudas inoculadas nas três cultivares de cafeeiro estudadas, independente da adição de silicato de cálcio ao substrato.

A interferência da nutrição com cálcio e potássio na incidência e na severidade da cercosporiose do cafeeiro foi estudada por Garcia Júnior et al. (2003). De acordo com os autores, a interação entre os nutrientes reduziu significativamente a área abaixo da curva de progresso do total de lesões (AACPTL) e a área foliar lesionada (AFL).



Escala dos gráficos: Total na vertical 5 cps (Capturas por Segundo)

FIGURA 1. Gráficos mostrando o resultado da microanálise de raios X de folhas da cultivar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Icatu tratadas com CaSiO_3 (A e C) e sem adição de CaSiO_3 (B e D). Microanálise de folhas inoculadas com *C. coffeicola* (A e B) e folhas saudáveis (C e D).

Assim como na cultivar Icatu, a cultivar Topázio também não apresentou picos de Si, mesmo com a suplementação de 1 g de silicato de cálcio no substrato (Figura 2 A e C). As folhas com sintomas da cercosporiose

apresentaram picos mais altos de potássio e cálcio quando comparadas com as folhas da cultivar Icatu (Figura 2 A, B).

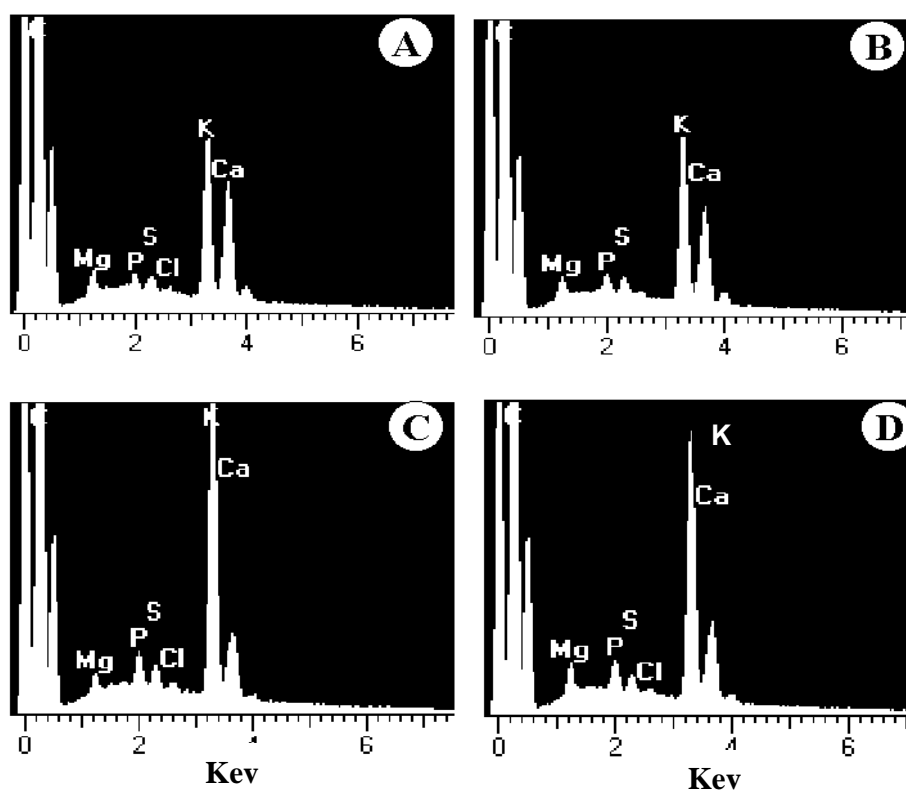


FIGURA 2. Gráficos mostrando o resultado da microanálise de raios X de folhas da cultivar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Topázio tratadas com CaSiO_3 (A e C) e sem adição de CaSiO_3 (B e D). Microanálise de folhas inoculadas com *C. coffeicola* (A e B) e folhas saudáveis (C e D).

Alguns trabalhos relataram alterações, tanto em macro como em micronutrientes, observadas em tecidos de plantas doentes. Cinco cultivares de feijoeiro (IAC Carioca Aruã, IAC Carioca Tyatã, IAC Carioca Akytã, Pérola e IAC Carioca) inoculadas com *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* apresentaram redução nos teores de macronutrientes, principalmente de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sendo mais acentuada nas cultivares suscetíveis (Pérola e IAC Carioca) quando comparadas às cultivares resistentes (IAC Carioca Aruã, IAC Carioca Tyatã, IAC Carioca Akytã) à murcha-de-curtobacterium (Maringoni, 2003). Folhas de plantas de laranjeira com sintomas de queda prematura de frutos (*Colletotrichum acutatum*) apresentaram maiores teores de nitrogênio e menores de cálcio, magnésio e zinco, quando comparadas a folhas de plantas saudáveis (Goes & Creste, 2000). De acordo com Tanaka et al. (2002), a inoculação de plantas de morango com *Colletotrichum fragariae* (agente etiológico da antracnose do rizoma do morangueiro) afetou negativamente as plantas, que apresentaram menores teores de nitrogênio, potássio, fósforo, cobre e zinco.

Apesar de os trabalhos existentes verificarem alterações nutricionais em plantas doentes, nenhum deles esclareceu o motivo dessas alterações. Possivelmente, no princípio do processo de infecção, ocorra mobilização de nutrientes para reações de defesa da planta, pois, de acordo com Marschner (1995), os nutrientes, além das funções no metabolismo da planta, podem influenciá-la de maneira secundária, aumentando ou reduzindo a resistência das plantas aos patógenos. Esta resistência pode ser aumentada de diversas maneiras, como síntese de fitoalexinas e aumento da lignificação, dentre outras. O cálcio, por exemplo, é considerado mensageiro secundário importante na transdução de sinais para respostas de defesa da planta contra patógenos. Já foi demonstrada sua participação na deposição de calose, na regulação de fitoalexinas e em outras respostas de defesa (Leite et al., 1997). O cálcio também é constituinte da lamela

média da parede celular, presente, principalmente, na forma de pectatos de cálcio, conferindo resistência à colonização do patógeno (Agrios, 2005).

Vale ressaltar que as alterações nutricionais observadas em plantas doentes, quando comparada com plantas saudáveis, provavelmente são dependentes da planta hospedeira e do patógeno envolvido (Maringoni, 2003).

4 CONCLUSÕES

A adição de ácido silícico ao solo reduziu a área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha da cercosporiose.

Os teores foliares de enxofre e cobre aumentaram e os de fósforo, magnésio, boro e zinco reduziram com o aumento das doses de ácido silícico no solo.

O conteúdo de enxofre, potássio e manganês na matéria seca da parte aérea aumentou linearmente com a adição de ácido silícico ao solo.

Folhas das cultivares Icatu e Topázio com sintomas da cercosporiose apresentaram baixos picos de cálcio e de potássio, quando comparadas com folhas saudáveis.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5. ed. San Diego: Academic Press, 2005. 922 p.

AMARAL, D. R. **Indução de resistência em cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* por eliciadores abióticos e extratos vegetais**. 2005. 96p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BÉLANGER, R. R.; MENZIES, J. G. How does silicon protect plants against disease? Dogma versus new hypothesis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42. , 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2002. 1CD-ROOM.

BEZERRA, H. R. **Estudo do silício no controle da ferrugem e na produtividade do cafeeiro**. 2000. (Monografia em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2000.

BOTELHO, D. M. S. dos; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G. de; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 582-588, nov./dez. 2005.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

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.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 6, p. 118-119, June 1991.

FAUTEUX, F.; BOREL-RÉMUS, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 249, n. 1, p. 1-6, Aug. 2005.

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.

FERNADEZ-BORRERO, O.; MESTRE, A. M.; DUQUE, S. L. Efecto de la fertilizacion en la incidência de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 17, n. 1, p. 5-16, ene./mar. 1966.

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inoculo sobre a Cercosporiose do cafeeiro**. 1988 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FLORIANI, C. G. **Cafés de Minas: pioneirismo em certificação e marketing**. Belo Horizonte: IMA, 2001. 36 p. (Agro Tec - Caderno técnico, n. 4).

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; SOUZA, P. E.; CARVALHO, J. G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.

GOES, A. de.; CRESTE, J. E. Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação de folhas de plantas cítricas com sintomas de queda prematura de frutos. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 237-240, abr./jun. 2000.

GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; VENEGAS, V. H. A.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. S.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a aproximação**. Viçosa, 1999. p. 289-302.

LEITE, B.; RONCATO, L. D. B.; PASCHOLATI, S. F.; LAMBAIS, M. R. Reconhecimento e transdução de sinais moleculares em interações planta-fungos fitopatogênicos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 5, p. 235-280, 1997.

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. (Ed). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVERIA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa do Fósforo, 1997. 238 p.

MARINGONI, A. C. Alterações nos teores de macronutrientes em plantas de feijoeiro infectadas por *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 217-222, jan./fev. 2003.

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

POZZA, A. A. A. **Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) em mudas de cafeeiro**. 1999. 70 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

POZZA, A. A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; CAIXETA, S. L.; CARDOSO, A. A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p.185-188, mar./abr. 2004.

RODRIGUES, F. A.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, St. Paul, v. 94, n. 2, p. 177-183, Feb. 2004.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology** St. Paul, v. 70, n. 8, p. 1183-1186, Aug. 1977.

TANAKA, M. A. S.; PASSOS, F. A.; FEITOSA, C. T.; TANAKA, R. T. Efeito da adubação mineral e orgânica do morangueiro sobre a antracnose do rizoma, causada por *Colletotrichum fragariae*. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 236-241, jul./set. 2002.

CAPÍTULO 3

SILICATOS NO CONTROLE DA CERCOSPORIOSE E DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO NO CAMPO

RESUMO

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Silicatos no controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro no campo**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de dois silicatos comerciais (A e B) isoladamente e em combinação com fungicidas no controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro no campo. O experimento foi instalado no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e 12 tratamentos os quais foram: 1. Silicato A; 2. Silicato B; 3. Silicato A + Silicato B; 4. Silicato A + Hidróxido de cobre; 5. Silicato B + Hidróxido de cobre; 6. Silicato A + Silicato B + Hidróxido de cobre; 7. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicato B; 8. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicato A; 9. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicato A + Silicato B; 10. Hidróxido de cobre; 11. Azoxystrobin + Cyproconazole e 12. Testemunha. A parcela experimental era composta por 6 plantas de cafeeiro cultivar Acaia Cerrado MG1474, sendo consideradas como úteis as quatro plantas centrais. Foram realizadas cinco avaliações mensais, nas quais foram mensuradas incidência, severidade com escala diagramática e número de lesões/folha. Os percentuais foram transformados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha (AACPNLF). A AACPI e a AACPS da cercosporiose não diferenciaram significativamente com os tratamentos utilizados. Já a AACPNLF da cercosporiose foi influenciada significativamente pelos tratamentos estudados com menor valor observado no tratamento Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicato A e maior AACPNLF na testemunha. Os tratamentos Silicato A + Silicato B, Silicato A, Silicato A + Hidróxido de cobre, Testemunha e Silicato B apresentaram AACPI da ferrugem do cafeeiro significativamente maior que os demais tratamentos. A aplicação do Silicato B aumentou significativamente tanto a AACPNLF quanto a AACPS da ferrugem do cafeeiro.

Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

ABSTRACT

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Silicates in the control of brown eye spot and rust of coffee in the field.** 2006. 111 p. Thesis (Doctorate in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil*.

The objective of this work was to study the effect of commercial sources of silicon (Silicate A e Silicate B) solely or in combination with fungicides to control brown eye spot and rust in coffee under field conditions. The experiment was carried out at the Coffee Station of Universidade Federal de Lavras in a randomized block design with four replicates and 12 treatments, encompassed by: 1. Silicate A; 2. Silicate B; 3. Silicate A + Silicate B; 4. Silicate A + Copper hydroxide; 5. Silicate B + Copper Hydroxide; 6. Silicate A + Silicate B + Copper hydroxide; 7. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicate B; 8. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicate A; 9. Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicate A + Silicate B; 10. Copper Hydroxide; 11. Azoxystrobin + Cyproconazole; 12. Control. The experimental unit was represented by 6 plants from the Acaia Cerrado MG1474 cultivar, considering the four central plants as useful plot. A total of five monthly evaluations were performed, evaluating the incidence, severity according to a diagrammatic scale and the number of lesions per leaf and the obtained data was respectively transformed to area under the incidence progress curve (AUIPC), area under the severity progress curve (AUSPC) and area under the progress of the number of lesions/leaf (AUPNLL). The AUIPC, AUSPC of brown eye spot was statistically not different among treatments. Nevertheless AUPNLL was significantly influenced by the studied treatments, where its amount was lower for plants treated with Azoxystrobin + Cyproconazole + Silicate A and than the control. On the other hand, for coffee rust, treatments silicate A + silicate B, silicate A, silicate A + Copper hydroxide, silicate B and the control displayed higher AUIPC than the other treatments and the use of silicate B significantly increased both AUPNLL and AUSPC.

*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Major Professor),
Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

1 INTRODUÇÃO

A produtividade do cafeeiro é influenciada por diversos fatores, os quais podem favorecer-la ou reduzi-la, ocasionando perdas para o produtor. As doenças estão entre os fatores que afetam negativamente a produtividade do cafeeiro, destacando-se a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke).

A ferrugem é considerada a principal doença da cultura, ocasionando a desfolha e a seca dos ramos, havendo correlação negativa entre a intensidade da doença e a produção no ano seguinte (Zambolim et al., 2002). A ocorrência da ferrugem na lavoura pode causar decréscimo de 35% a 50% na produção, dependendo da suscetibilidade da cultivar, da altitude, da temperatura, do regime de chuvas, da carga pendente de frutos na planta e do estado nutricional.

A cercosporiose é outra doença de importância econômica para a cultura do cafeeiro, pois infecta tanto as folhas como frutos, resultando em desfolha, maturação precoce e queda prematura dos frutos além de dificultar o despulpamento devido à aderência da polpa ao pergaminho, resultando em reflexos negativos, tanto na produtividade da cultura como na qualidade final do produto (Chalfoun, 1997; Zambolim et al., 2005).

O controle químico da ferrugem é realizado com a utilização de fungicidas protetores cúpricos e ou sistêmicos do grupo dos triazóis (Zambolim et al., 2002; Matiello et al., 2002). Já para o controle químico da cercosporiose, é recomendado o uso de fungicidas cúpricos, tiofanatos e, os ditiocarbamatos (Carvalho & Chalfoun, 1995; Matiello et al., 2006). Contudo, novas abordagens para o controle de doenças com menor impacto tanto ambiental como humano, estão sendo estudadas e o uso da nutrição mineral para a redução da intensidade de doenças é uma opção viável (Marschner, 1995).

O silício, segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, apesar de não ser considerado como essencial para as plantas, está sendo cada vez mais

utilizado na agricultura, devido a estudos comprovando efeito na redução de doenças (Datnoff et al., 1991; Chérif et al. 1992; Pozza et al., 2004). As escórias de siderurgia são exemplo de fontes de silício acessíveis, sendo uma opção viável no manejo de doenças, pois apresentam, em sua composição, além do silício, nutrientes como cálcio, magnésio, zinco, boro, ferro e manganês (Piau, 1995), os quais podem favorecer a redução da intensidade tanto da ferrugem quanto da cercosporiose.

Ao comparar a adubação com silicato de cálcio e a aplicação de fungicidas no controle da brusone e da mancha parda em plantas de arroz, Datnoff et al. (1997) constataram que a ação do silicato foi tão efetiva quanto os fungicidas testados. As plantas de arroz tratadas com 0 e 2 t de silicato de cálcio ha^{-1} , benomyl (0 e 1,68 kg ha^{-1}) e propiconazole (0 e 44 L ha^{-1}) apresentaram incidência de brusone de 73% na testemunha, 27% nos tratamentos com aplicação de benomyl e 36% nos tratamentos com adubação silicatada. O controle da ferrugem do cafeeiro com pulverizações de silicato de potássio isoladamente ou em combinação com fungicidas foi estudado por Zambolim et al. (2005a). Os autores avaliaram a incidência da ferrugem nos tratamentos: 1. controle, 2. “Viça café” + metassilicato, 3. “Viça café” + silicato de potássio, 4. “Viça café” + silicato de sódio, 5. silicato de potássio, 6. “Viça café”, 7. Epoxiconazole. Os tratamentos 2, 3, 4, 6, 7 foram estatisticamente semelhantes, porém, diferiram dos tratamentos 1 e 5 e os autores concluíram que a aplicação do silicato de potássio via foliar não reduz a incidência da ferrugem do cafeeiro quando aplicado com intervalo de 30 dias.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de dois silicatos, usados isoladamente ou em conjunto com fungicidas convencionais, na área abaixo da curva de progresso da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro no campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O estudo foi conduzido em lavoura cultivada em sistema convencional, sem irrigação, localizada no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, no ano agrícola 2005/2006. Foram utilizados cafeeiros da cultivar Acaia Cerrado MG 1474 com dez anos, plantados em espaçamento 2,0 x 0,70 m.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 12 tratamentos e quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por seis plantas, sendo consideradas como úteis as quatro plantas centrais.

Tratamentos:

1) Silicato A ($\text{SiO}_2=23\%$; $\text{CaO}=36\%$ e $\text{MgO}=6\%$; $\text{P}_2\text{O}_5=0,42$; $\text{K}_2\text{O}=0,19\%$; $\text{S}=0,37$; $\text{Mn}=1,8\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=11\%$; $\text{Mo}=0,40 \text{ g.g}^{-1}$; $\text{Zn}=0,1333 \text{ g.g}^{-1}$)

2) Silicato B ($\text{Al}_2\text{O}_3=20,56\%$; $\text{SiO}_2=17,43\%$; $\text{S}=9,82\%$; $\text{CaO}=1,31\%$; $\text{TiO}_2=0,34\%$; $\text{MgO}=0,18\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,16\%$; $\text{P}_2\text{O}_5=0,10\%$)

3) Silicato A + Silicato B

4) Silicato A + Hidróxido de cobre

5) Silicato B + Hidróxido de cobre

6) Silicato A + Silicato B + Hidróxido de cobre

7) Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato B

8) Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A

9) Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A + Silicato B

10) Hidróxido de cobre

11) Cyproconazole + Azoxystrobin

12) Testemunha

O silicato A foi aplicado no solo aproximadamente 50 dias antes dos demais tratamentos (Tabela 1) para propiciar a reação do produto.

TABELA 1. Época de aplicação e dosagem dos produtos utilizados no experimento. Lavras, MG, 2005.

Produto	Época de aplicação	Dosagem
Silicato A	2 ^a quinzena de outubro (2005)	300 kg ha ⁻¹
Hidróxido de cobre	Dezembro, janeiro, fevereiro (2006)	1,7 kg ha ⁻¹
Silicato B	Dezembro, janeiro, fevereiro (2006)	3 kg/400L de calda
Azoxystrobin	Dezembro e fevereiro (2006)	0,1 kg ha ⁻¹
Cyproconazole	Dezembro e fevereiro (2006)	0,75 L ha ⁻¹

Durante a condução do experimento, a lavoura recebeu os tratamentos culturais necessários e a adubação foi recomendada com base na análise do solo e critérios de interpretação dos níveis de fertilidade propostos pela 5^a aproximação das recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas gerais (CFSCMG, 1999).

2.3 Avaliação da intensidade da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro

A avaliação das doenças foi realizada mensalmente, em 18 folhas por planta, folhas do 3^o e 4^o pares em ramos plagiotrópicos no terço médio da planta, aleatoriamente, em amostragem destrutiva.

A incidência, tanto da ferrugem quanto da cercosporiose do cafeeiro, foi determinada pela porcentagem do número de folhas com sintomas das doenças.

A severidade da cercosporiose foi quantificada pelo número de lesões/folha e pela escala diagramática proposta por Fernandes (1988). Já a severidade da ferrugem foi avaliada pela escala diagramática proposta por Kushalappa & Chaves (1978) e pela contagem do número de lesões/folha.

Os índices médios de incidência e de severidade observados foram transformados em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), de acordo com Shaner & Finney (1977).

2.4 Eletromicrografia de varredura de folhas pulverizadas com silicato B

Foi realizada pulverização nas plantas de cafeeiro utilizadas como testemunha no experimento com o silicato B e com água e as folhas foram coletadas para estudo da integridade da folha com uso de microscopia eletrônica de varredura.

2.5 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais (temperatura máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa do ar) foram coletadas pela estação meteorológica da UFLA, no período de outubro de 2005 a maio de 2006.

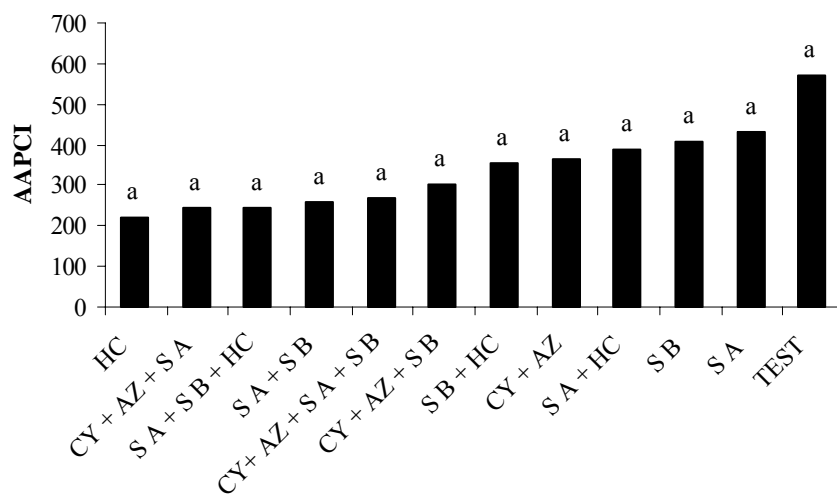
2.6 Análise dos dados

Para a análise de variância, os percentuais de incidência, número de lesões por folha e de severidade foram transformados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade avaliada por escala diagramática (AACPS). Os valores obtidos foram submetidos à análise de variância e as variáveis significativas no teste F foram submetidas ao teste de médias. Os dados foram analisados pelo programa estatístico Sisvar, versão 4.6 (Build 6.1).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito de silicatos na intensidade da cercosporiose do cafeeiro

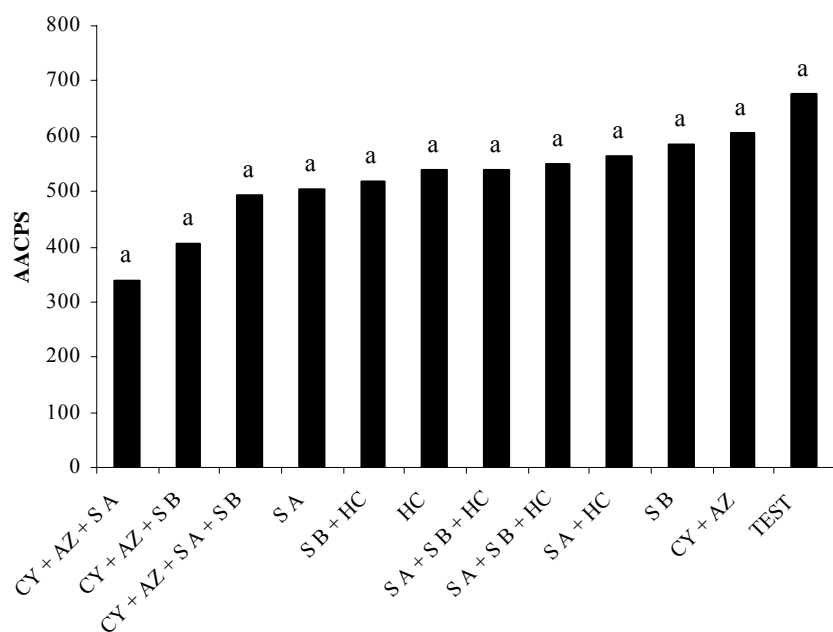
A área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da cercosporiose não diferiu com os tratamentos aplicados (Tabela 9A, Figura 1).



S A = Silicato A	TEST = Testemunha
S B = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 1. Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da cercosporiose do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

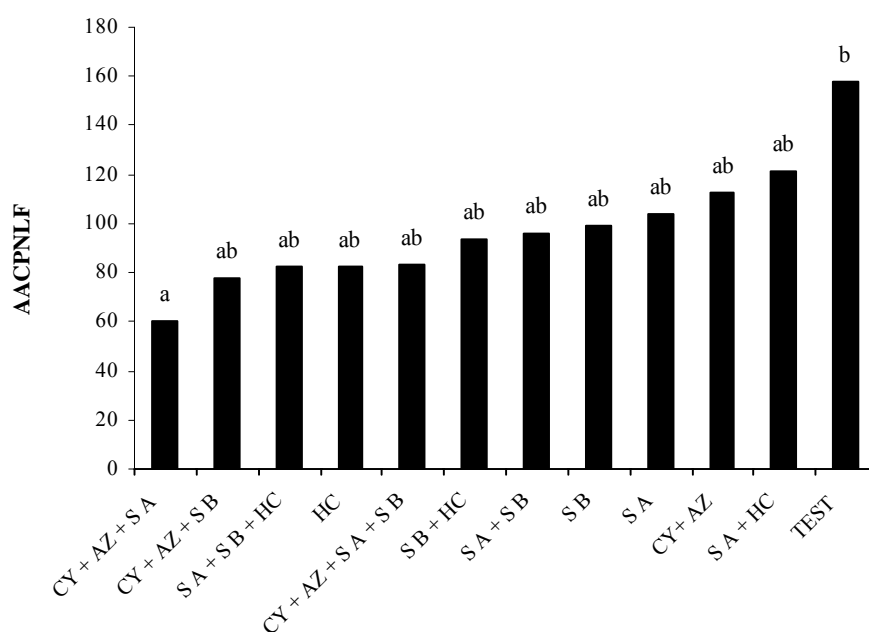
A área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) também não foi influenciada significativamente pelos tratamentos aplicados (Tabela 9A, Figura 2).



S A = Silicato A	TEST = Testemunha
S B = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 2. Área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da cercosporiose do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

A área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) no tratamento Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A foi significativamente menor ($P < 0,0287$) que a testemunha. Os demais tratamentos foram semelhantes ao primeiro e a testemunha e não diferiram entre si (Figura 3).



S A = Silicato A	TEST = Testemunha
S B = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 3. Área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) da cercosporiose do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Azoxystrobin é um fungicida registrado para o controle da cercosporiose do cafeeiro e diversos trabalhos demonstram sua eficiência no controle da doença. Altmann et al (1999) avaliaram a eficiência do azoxystrobin nas doses de 25; 50 e 100 g ingrediente ativo (ia)/ha e verificaram que, em todas as doses testadas, o fungicida foi eficiente na redução da incidência da doença. Mesmo resultado foi observado por Silva et al. (1999), os quais relataram o eficiente controle da cercosporiose do cafeeiro utilizando tanto 25 como 50 g ia/ha de azoxystrobin. A associação do fungicida com silicato A proporcionou menor AACPNLF, pois, de acordo com o fabricante, o silicato A possui em sua composição 23% de SiO₂, 36% de cálcio e 9% de magnésio. Como a cercosporiose é uma doença muito influenciada pelas condições nutricionais da lavoura (Carvalho & Chalfoun, 1989; Zambolin et al., 2005), a junção da ação fungicida do azoxystrobin com silicato A pode ter resultado na redução da AACPNLF.

A combinação de fontes de silício e fungicidas para controle de doenças foi estudada, tanto na cultura do arroz quanto em grama, com resultados promissores (Datnoff et al., 1997; Brecht et al., 2004; Seebold et al., 2004). Contudo, a aplicação de silicato de potássio via foliar isoladamente e em combinação com fungicidas não reduziu significativamente a área abaixo da curva de progresso da cercosporiose (AACPD) do cafeeiro (Zambolim et al., 2005b). De acordo com os autores, o silicato de potássio parece não ter efeito na redução da AACPD da cercosporiose, quando aplicado em intervalo de 30 dias.

No progresso da cercosporiose, observou-se aumento crescente da incidência a partir do mês de janeiro, com queda no mês de maio (Figura 4). Na quarta avaliação (abril), observou-se maior diferença no progresso da doença nos tratamentos estudados, com incidência destacadamente maior (7,64%) na testemunha, quando comparado com os demais tratamentos. O tratamento Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A apresentou a menor incidência

(0,69%) nesta avaliação. Segundo Carvalho & Chalfoun (1998) e Zambolim et al. (2005), em lavouras adultas, a cercosporiose causa maiores prejuízos no período de janeiro a maio, quando a ocorrência da doença pode ser observada tanto em folhas, resultando em desfolha, como em frutos.

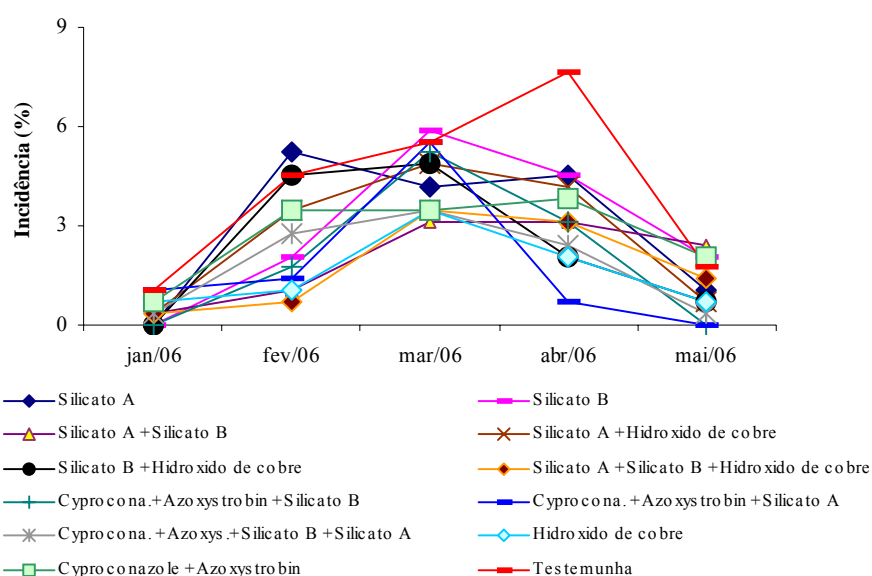


FIGURA 4. Progresso da cercosporiose em cafeeiro em função dos tratamentos aplicados. UFLA, Lavras, MG.2006.

A incidência da cercosporiose no período estudado foi baixa (Figura 4), tendo o maior pico sido observado em abril (7,64%). Cunha (2003), avaliando o efeito de diferentes fungicidas no controle de *C. coffeicola* em plantas de cafeeiro, nos anos de 2001 e 2002, registrou incidência máxima de 14% no mês de maio de 2001 e 6,0% nos meses de fevereiro, abril e maio de 2002.

As condições ambientais foram favoráveis ao progresso da cercosporiose no campo (Figura 5). Observou-se temperaturas médias de $T_{\max} = 28,23^{\circ}\text{C}$ e $T_{\min} 16,73^{\circ}$ e precipitação média de 164,9 mm. Os esporos de *C. coffeicola* requerem filme de água livre para germinar e a temperatura ótima para crescimento e germinação em torno de 24°C e 30°C , respectivamente (Echandi, 1959).

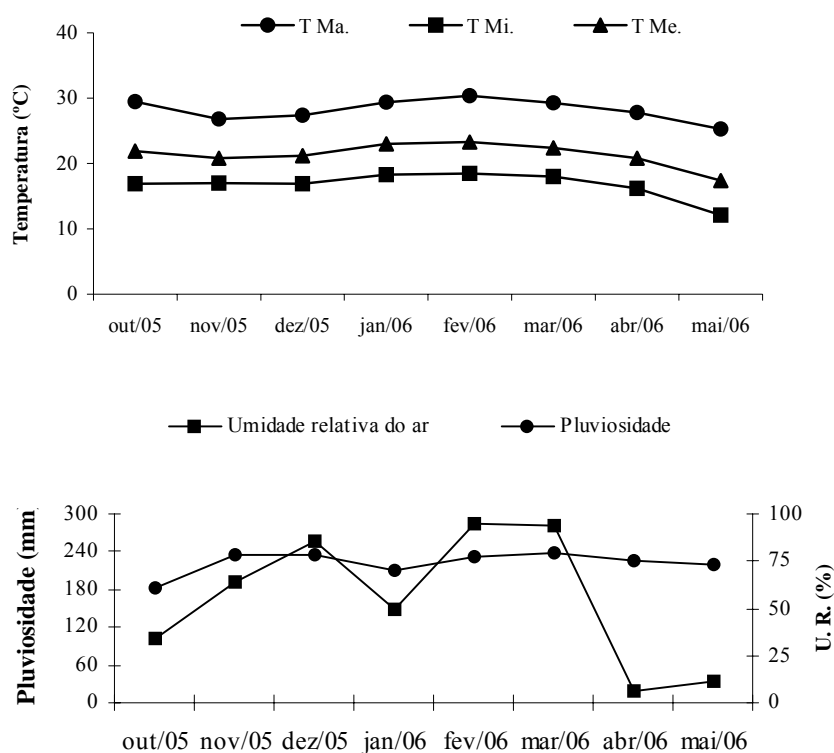
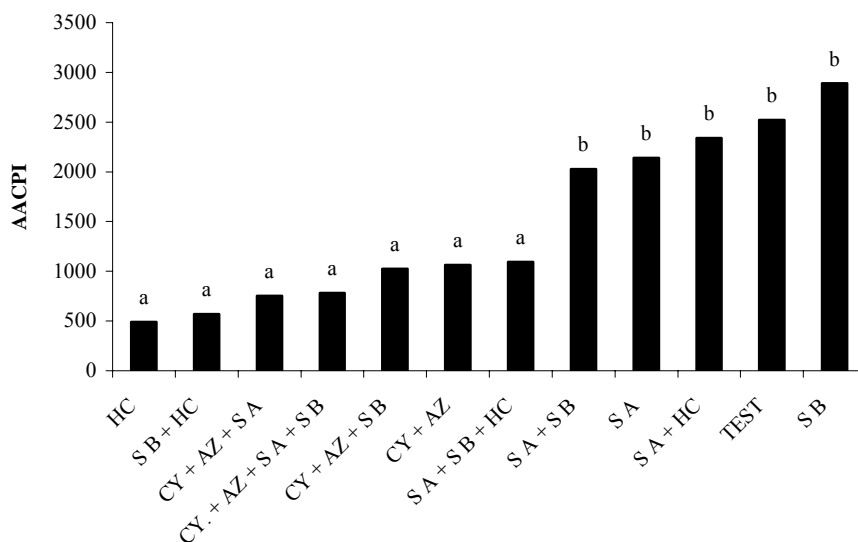


FIGURA 5. Temperatura máxima, média e mínima, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar no período de outubro de 2005 a maio de 2006. UFLA, Lavras, MG.2006.

3.2 Efeito de silicatos na intensidade da ferrugem do cafeeiro

A área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) diferenciou-se significativamente com os tratamentos utilizados (Tabela 10A). Os tratamentos Silicato A + Silicato B, Silicato A, Silicato A + Hidróxido de cobre, Testemunha e Silicato B apresentaram AACPI significativamente maior ($P < 0,000$) que os demais tratamentos (Figura 6).

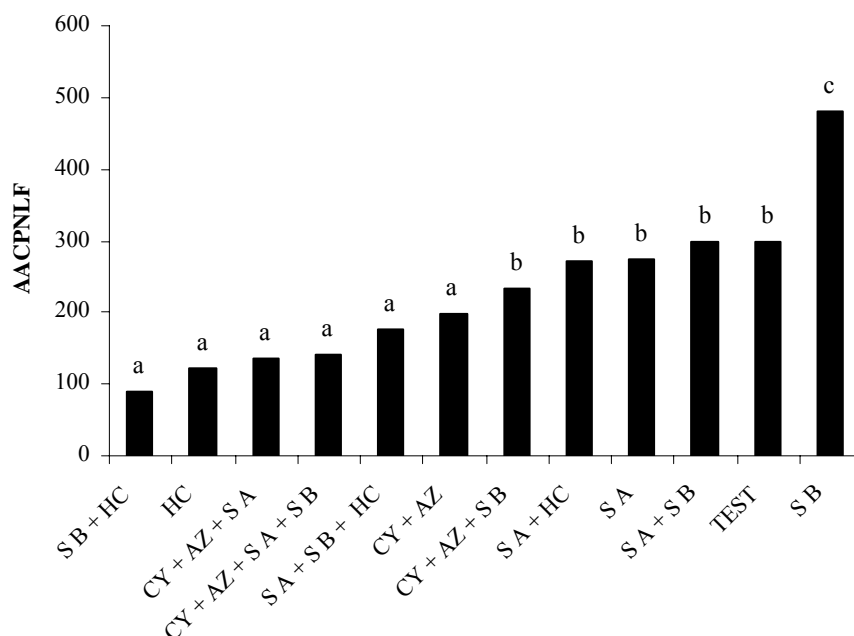
Zambolim et al. (2005a) estudaram o efeito da pulverização com silicato de potássio no controle da ferrugem do cafeeiro. A área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPD) dos tratamentos testemunha e silicato de potássio foram estatisticamente semelhantes e os autores concluíram que a aplicação do silicato com intervalo de 30 dias não teve nenhum efeito no controle da cercosporiose.



SA = Silicato A	TEST = Testemunha
SB = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 6. Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

A AACPNLF foi significativamente maior ($P < 0,00$) no tratamento que recebeu a aplicação do silicato B, quando comparado com os outros tratamentos (Figura 7). Os tratamentos Silicato B + hidróxido de cobre, Hidróxido de cobre, Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A, Cyproconazole + Azoxystrobin + Silicato A, Silicato A + Silicato B + Hidróxido de cobre e Cyproconazole + Azoxystrobin foram semelhantes estatisticamente, apresentando os menores valores de AACPNLF, diferindo dos demais tratamentos.

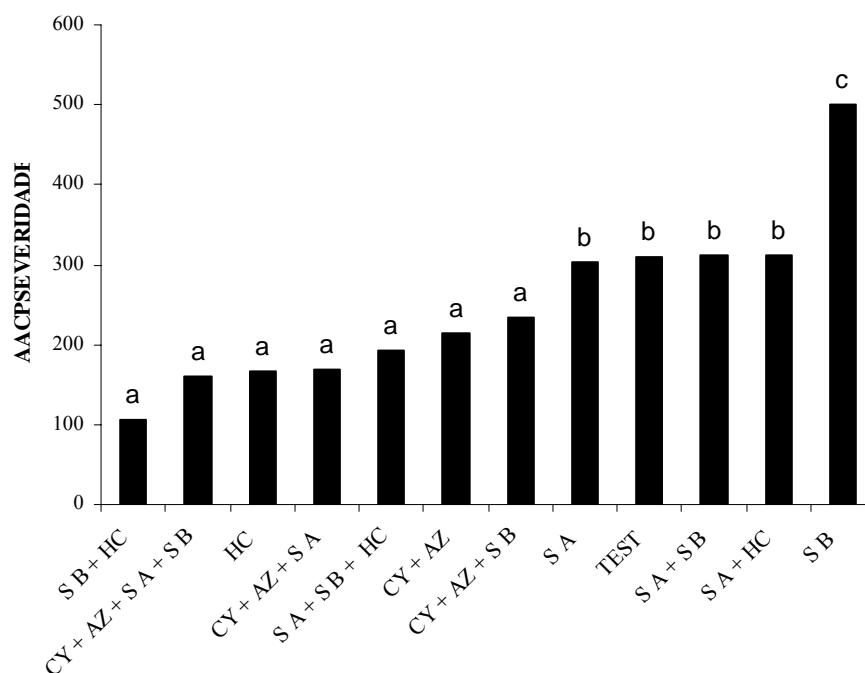


S A = Silicato A	TEST = Testemunha
S B = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 7. Área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) da ferrugem do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Assim como na AACPNLF, o tratamento com o Silicato B apresentou área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) significativamente maior ($P < 0,00$) que os demais tratamentos (Figura 8). A aplicação do Silicato A, Silicato A + Silicato B, Silicato A + Hidróxido de cobre e a testemunha

proporcionou menor AACPS, quando comparado com a aplicação do Silicato B, contudo, foi maior que os outros tratamentos testados.



S A = Silicato A	TEST = Testemunha
S B = Silicato B	CY + AZ = Cyproconazole + Azoxystrobin
HC = Hidróxido de cobre	

FIGURA 8. Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Para averiguar a possibilidade do silicato B ter causado microinjúrias nas folhas foi realizada microscopia eletrônica de varredura em folhas pulverizadas com silicato B e na testemunha.

Observou-se que a aplicação do silicato B não afetou a integridade das folhas de cafeeiro (Figura 9B). A eletromicrografia de varredura das folhas pulverizadas com água foi similar à das pulverizadas com o silicato B (Figura 9A). Assim, constata-se que o aumento da AACPNLF e da AACPS influenciado pela aplicação do silicato B, ainda não foi esclarecido.

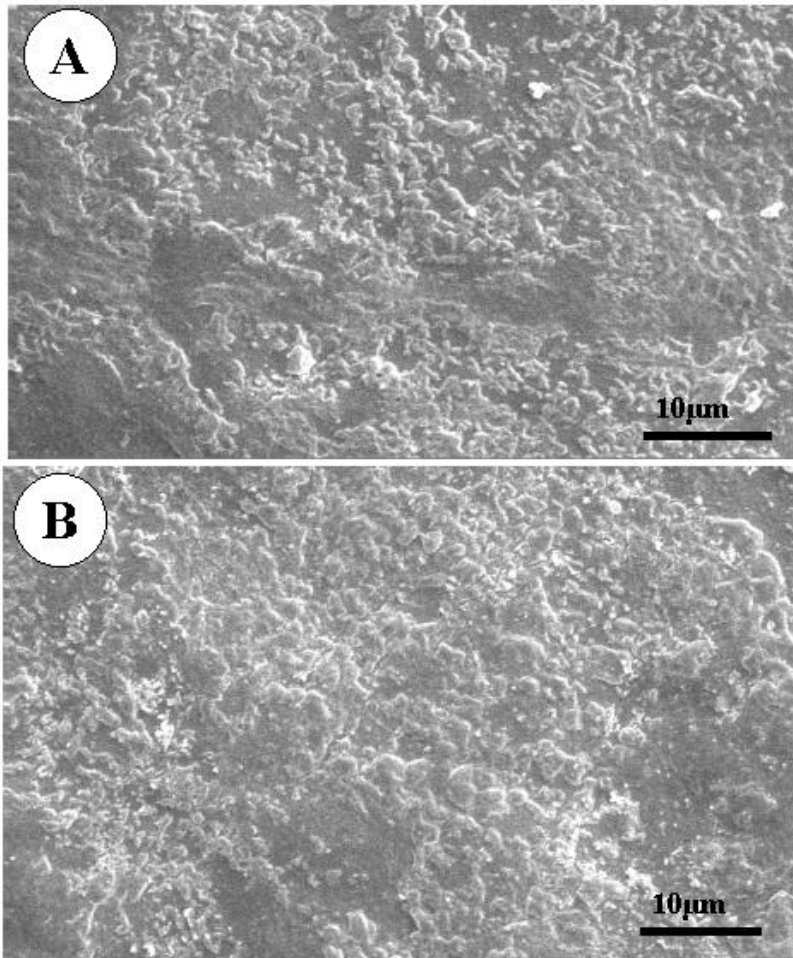


FIGURA 9. Eletromicrografias de varredura da parte adaxial de folhas de caféiro pulverizadas com água (A) e com o silicato B (B). UFLA, Lavras, MG, 2006.

Nas três primeiras avaliações (janeiro, fevereiro e março), o progresso da ferrugem nos diferentes tratamentos foi muito similar, com destaque para o tratamento com o silicato B, que apresentou a maior incidência de ferrugem (6,25%, 12,50% e 12,50%), respectivamente, quando comparado com demais tratamentos (Figura 10).

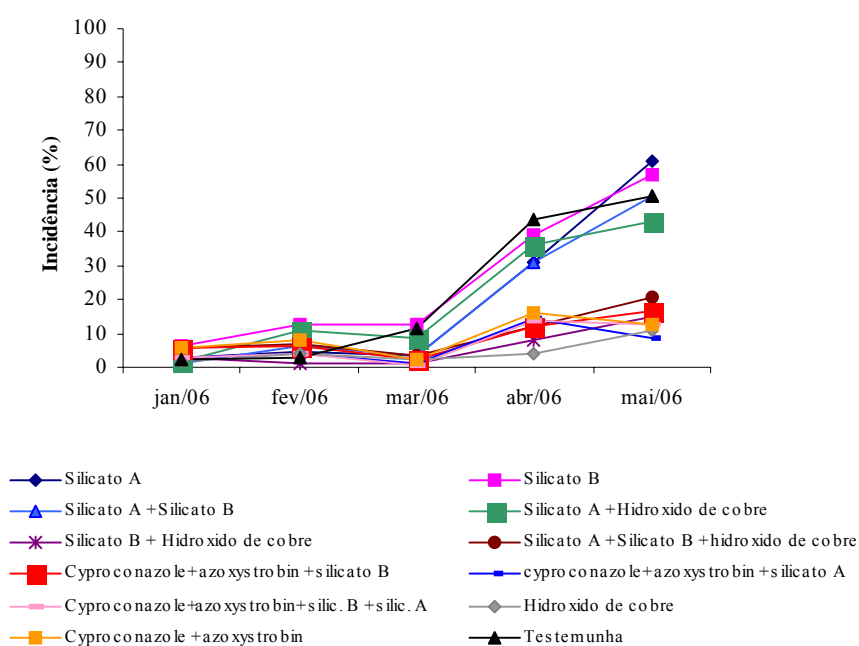


FIGURA 10. Progresso da ferrugem em café em função dos tratamentos aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Em abril, observou-se aumento no progresso da doença, com maior incidência nos tratamentos silicato A, silicato B, silicato A + silicato B, silicato A + hidróxido de cobre e na testemunha, comportamento que se manteve na avaliação seguinte (maio).

As condições climáticas durante a condução do experimento foram propícias para o progresso da ferrugem em condições de campo. Observou-se temperatura média de $T_{\max} = 28,23^{\circ}\text{C}$ e $T_{\min} = 16,73^{\circ}$ e precipitação média de 164,9 mm, dentro dos limites para ocorrer alta germinação de *H. vastatrix*, entre $12,5^{\circ}\text{C}$ e $32,5^{\circ}\text{C}$ (Akutsu, 1981).

4 CONCLUSÕES

Os silicatos A e B não reduziram a área abaixo da curva de progresso da incidência e da área abaixo da curva de progresso da severidade da cercosporiose do cafeeiro.

A associação do fungicida azoxystrobin com silicato A resultou em menor área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha (AACPNLF) da cercosporiose do cafeeiro, embora a intensidade da doença durante o período estudado, não foi elevada.

A aplicação dos silicatos A e B isoladamente não reduziu o progresso da ferrugem do cafeeiro no campo durante o período de avaliação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M. **Relações de funções climáticas e bióticas com a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*)**. 1981. 67p.

Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALTMANN, T.; SERAPHIM, R. C.; BASTOS, H. B.; PAIVA, S. B. Eficiência do fungicida azoxystrobin no controle da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 331, 1999. (Suplemento).

BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHARÉK, T. A.; NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 4, p. 338-344, Apr. 2004.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Cercospora**: doença do cafeeiro também chamada de “olho pardo” ou “olho de pomba”. Belo Horizonte: EPAMIG, 1995. (EPAMIG. Circular técnica, 47).

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 96 p.

CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1008-1013, Oct. 1992.

CUNHA, R. L. da. **Controle químico de doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L) como parte do programa APPCC**. 2003 90 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, n. 7, p. 729-732, July 1991.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 525-531, Sept. 1997.

ECHANDI, E. La Chasparria de los Cafetos causada por el hongo (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke). **Turrialba**, Turrialba, v. 9, n. 2, p. 54-67, abr./jun. 1959.

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inoculo sobre a Cercosporiose do cafeeiro**. 1988 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; VENEGAS, V. H. A.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. S.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 289-302.

KUSHALAPPA, A. C.; CHAVES, G. M. Escala para avaliar a porcentagem de área foliar com ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasileira, v. 3, n. 1, p. 119, fev. 1978.

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

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. 2002. 387 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubos, corretivos e defensivos para a lavoura cafeeira**: indicações de uso. Publicado em colaboração entre o Ministério da Agricultura; Fundação PROCAFÉ e a Embrapa café, 2006. 89 p.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124 p. Dissertação (Mestrado) -.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p185-188, mar./abr. 2004.

SEEBOLD, K. W. Jr.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHAREK; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 3, p. 253-258, Mar. 2004.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v. 70, n. 8, p. 1183-1186, Aug. 1977.

SILVA, S. A.; JULIATTI, F. C.; SANTINATO, R. Controle de cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro através do uso do fungicida azoxystrobin (Amistar). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 331, ago. 1999. Suplemento.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A. F.; PINTO, C. D. O.; RODRIGUES, F. A. Effects of potassium silicate and “calda viçosa” mixed or not with silicate on the control of coffee leaf rust. In: KORNDORFER, G. H.; COELHO, L.; NOLLA, A. RODRIGUES, F. A. **III Silicon in Agriculture Conference**, Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005a. p. 113.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A. F.; NETO, P. N. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of foliar application of potassium silicate and fungicides on the control of brown eye spot on coffee. In: KORNDORFER, G. H.; COELHO, L.; NOLLA, A. RODRIGUES, F. A. **III Silicon in Agriculture Conference**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005b. p. 121.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; COSTA, H.; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG, 2002. p. 369-433.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 165-180.

CAPÍTULO 4

EFEITO DO ÁCIDO SILÍCICO EM ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ANATÔMICOS DE MUDAS DE CAFEIEIRO INOCULADAS COM *CERCOSPORA COFFEICOLA*

RESUMO

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Efeito do ácido silícico em aspectos fisiológicos e anatômicos de mudas de cafeeiro inoculadas com *Cercospora coffeicola***. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adição de ácido silícico ao solo em características fisiológicas e anatômicas de mudas de cafeeiro inoculadas com *Cercospora coffeicola*. Foram aplicadas 6 doses de ácido silícico no solo (0, 0,5; 1; 2; 4 e 6 g kg⁻¹), utilizando como delineamento experimental blocos casualizados com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por 12 mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Com três pares de folhas definitivas, as mudas foram inoculadas com o fungo *C. coffeicola*. Foram quantificados os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenóides, além do acúmulo de lignina em cada dose de ácido silícico. Foram realizados cortes transversais no caule das mudas de cafeeiro cultivadas nas diferentes doses de ácido silícico e mensurada a espessura da epiderme, do câmbio vascular, do xilema, do floema e do parênquima esponjoso. Na maior dose de ácido silícico (6,0 g kg⁻¹ de solo) e na menor (0 g kg⁻¹ de solo), foi avaliada a fotossíntese potencial das mudas de cafeeiro, em folhas sadias e com sintomas da cercosporiose (16% de severidade). Também foi observada a presença de cera epicuticular nas folhas com o uso de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O conteúdo da clorofila *a*, *b*, carotenóides e lignina não foi influenciados pelas doses crescentes de ácido silícico aplicadas no solo. Observou-se presença discreta de cera epicuticular nas folhas de mudas cultivadas no tratamento 2,0 g de ácido silícico e mais evidente na dose 6,0 g de ácido silícico por quilo de solo. A maior dose de ácido silícico (6 g kg⁻¹ de solo) em folhas sadias apresentou a menor fotossíntese potencial. A adição de doses de ácido silícico ao solo de cultivo de mudas de cafeeiro não alterou as características anatômicas do caule das mudas.

Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza-UFLA (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

ABSTRACT

BOTELHO, Deila Magna dos Santos. **Effect of silicic acid on the physiological and anatomical characteristics of coffee seedlings inoculated with *Cercospora coffeicola***. 2006. 111 p. Thesis (Doctorate in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.*

The work aimed to evaluate the effect of silicic acid dose soil amendments on physiological and anatomical characteristics of coffee seedlings inoculated with *Cercospora coffeicola*. Six silicic acid doses were amended to the soil (0, 0.5, 1, 2, 4 and 6 g kg⁻¹ of soil) using a complete randomized block experimental design with four replicates. The experimental unit was composed by 12 coffee seedlings from the cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. At the three fully expanded leaf-pair stage, seedlings were inoculated with the fungus *C. coffeicola*. The chlorophyll a, b, carotenoids, lignin buildups were quantified for each silicic acid dose. Transversal stem cuts from coffee plants cultivated in the different silicic acid doses were obtained and assessed for epidermal, cambium, xylem, phloem and spongy parenchyma widths. For the higher (6,0 g kg⁻¹ of soil) and lower (0 g kg⁻¹ of soil) silicic acid dose, the potential photosynthesis was assessed, in healthy and brown-eye spot symptomatic (16% de severity) leaves. The presence of epicuticular wax was observed in leaves through Scanning Electronic Microscopy (SEM). Chlorophyll a, b, carotenoid and lignin were not influenced by the increasing silicic acid amendment to the soil. A mild presence of epicuticular wax was observed for plants grown in the 2.0g- silicic acid amended soil and this phenomenon was evident at the higher dose (6,0 g silicic acid kg⁻¹ of soil). The higher silicic acid dose (6 g kg⁻¹ of soil) in healthy leaves displayed the lower potential photosynthesis. By silicic acid amendments to the soil, none affected anatomical characteristics stem of coffee seedlings.

*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza-UFLA (Major Professor),
Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma importante atividade para nosso país, sendo o café o segundo produto na pauta das exportações agrícolas, constituindo-se em uma das mais importantes fontes de renda para a economia brasileira (Guimarães et al., 2006). Opções de manejo acessíveis que possam reduzir a intensidade de pragas e doenças e também melhorar características agronômicas da cultura são importantes para a redução no custo de produção e do aumento de produtividade.

O silício é um elemento classificado como benéfico ou útil para plantas (Marschner, 1995) e, de acordo com Epstein (1999), plantas em ambiente enriquecido com silício diferem das cultivadas na deficiência do elemento, principalmente quanto à composição química, à resistência mecânica das células, às características de superfície foliar, à tolerância ao estresse abiótico e à ocorrência de pragas e doenças.

Adatia & Besford (1986) observaram que a adição de silicato de potássio em solução nutritiva proporcionou aumento de aproximadamente 50% na clorofila total (clorofila $a+b$), além de maior matéria seca em plantas de pepino. Mudanças de café cultivadas em substrato com 1 g de silicato de cálcio apresentaram camada de cera epicuticular bem desenvolvida, observada com uso de microscopia eletrônica de varredura (Pozza et al., 2004). Posteriormente Amaral (2005) também observou formação de cutícula mais espessa em folhas de mudas de café pulverizadas com 1,5 mL L⁻¹ de silicato de potássio quando comparadas àquelas pulverizadas com 0,75 mL L⁻¹. De acordo com o autor, os estômatos, nas mudas não pulverizadas com silicato de potássio foram mais visíveis quando comparadas às mudas pulverizadas com 1,5 mL L⁻¹.

Além dos benefícios descritos, alguns autores atribuem a adição de fontes de silício ao substrato de plantio ao maior conteúdo de lignina encontrado

tanto em mudas de cafeeiro (Amaral, 2005; Botelho, 2005) como em plantas de soja (Lima, 2006). De acordo com Raven (1983), a adubação com fontes de silício tem, como benefício para as plantas, a melhoria na interceptação da luz solar, aumentando, dessa forma, a fotossíntese, devido à melhor arquitetura das plantas adubadas com silício. No entanto, Korndörfer & Pereira (2006) citam a possibilidade dos sintomas do declínio do citrus ser resultado da acumulação e polimerização de Si ao longo dos anos, tendo como consequência a obstrução do sistema vascular de plantas de citrus.

Com base nessas informações, esse trabalho teve por objetivos:

- 1) Verificar o efeito de doses de ácido silícico e conteúdo de clorofila *a* e *b* e carotenóides, lignina, em mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 inoculadas com *C. coffeicola*;
- 2) Avaliar o efeito da adição de doses de ácido silícico no solo no aumento de cera epicuticular nas folhas das mudas de cafeeiro;
- 3) Comparar a fotossíntese potencial de mudas de cafeeiro cultivadas na maior dose de ácido silícico (6 g kg^{-1}) e na menor (0 g kg^{-1}), em folhas sadias e com sintomas da cercosporiose.
- 4) Realizar cortes transversais em caules de mudas de cafeeiro cultivadas em diferentes doses de ácido silícico e fazer medições da espessura da epiderme, câmbio vascular, xilema, floema e parênquima esponjoso.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia (DFP), na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de setembro de 2005 a maio de 2006.

2.2 Delineamento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. Foram aplicadas ao solo seis doses de ácido silícico (Carlo Erba®): 0; 0,5; 1; 2; 4 e 6 g kg⁻¹ de solo. A parcela experimental foi constituída por 12 plantas.

2.3 Preparo das mudas de cafeeiro

Sementes de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram semeadas em bandejas de plástico com areia autoclavada e diariamente irrigadas até atingirem o estágio orelha-de-onça. Posteriormente, foram repicadas para sacos de polietileno (15 x 20cm) contendo Latossolo Vermelho Típico com 13,6 mg dm⁻³ de Si. Então, foram adicionadas ao solo doses de ácido silícico: 0; 0,5; 1, 2, 4 e 6 g do produto por quilo de solo. O solo foi irrigado com água destilada até atingir a capacidade de campo e permaneceu reagindo por 20 dias. Após o período de incubação, os teores de Si no solo foram novamente quantificados. O solo apresentou os teores de 32,9; 38,1; 70,7; 94,9 e 117,8 mg dm⁻³ de Si para as doses de 0,5; 1, 2, 4 e 6 g de ácido silícico por quilo de solo, respectivamente.

Foi realizada adubação com: 300 mg.dm⁻³ de nitrogênio (N), 300 mg.dm⁻³ de potássio (K), 200 mg.dm⁻³ de fósforo (P), 30 mg.dm⁻³ de magnésio (Mg), 50 mg.dm⁻³ de enxofre (S), 0,5 mg.dm⁻³ de boro (B), 1,5 mg.dm⁻³ de cobre

(Cu), 3,0 mg.dm⁻³ de manganês (Mn), 0,1 mg.dm⁻³ de molibdênio (Mo) e 5,0 mg.dm⁻³ de zinco (Zn).

O calculo da necessidade de calagem (NC) baseou-se na análise química prévia (Tabela 1), visando atingir saturação por base de 50%, conforme Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

Durante todo período de condução do experimento, a irrigação das mudas foi realizada somente com água destilada, visando evitar adição de silício à testemunha.

TABELA 1. Atributos químicos do solo utilizado no experimento antes da aplicação dos tratamentos. Laboratório de Análise de solos. DCS/UFLA 2005.

Atributos	
pH	5,6
Al (cmolc md ⁻³)	0,0
H + Al (cmolc md ⁻³)	1,5
SB (cmolc md ⁻³)	1,1
T (cmolc md ⁻³)	2,6
t (cmolc md ⁻³)	1,1
V (%)	41,6
P (mg dm ⁻³)	0,6
K (mg dm ⁻³)	28
Ca ⁺² (cmolc md ⁻³)	0,8
Mg ⁺² (cmolc md ⁻³)	0,2
Si (mg dm ⁻³)	13,6

pH em água, 1:2,5; P e K- extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al- extrator KCl 1 mol L⁻¹; N; H + Al: extrator SMP; Si – extrator ácido acético; SB=soma de bases trocáveis; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T)= capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= índice de saturação por bases.

2.4 Inoculação das mudas de cafeeiro com *Cercospora coffeicola*

Ao atingirem três pares de folhas definitivas, as mudas de cafeeiro foram inoculadas com suspensão de $1,4 \times 10^4$ conídios mL⁻¹, segundo metodologia utilizada por Pozza (1999).

2.5 Coleta e armazenagem de amostras para determinação de pigmentos e lignina

Quando as plantas estavam com cinco pares de folhas, aproximadamente 40 dias após a inoculação, foram coletadas oito folhas de cada tratamento e estas foram armazenadas em freezer a -20°C até a realização das análises de determinação dos teores de clorofila *a*, *b* e carotenóides e o teor de lignina.

2.5.1 Extração e determinação de pigmentos

A partir do material vegetal armazenado, foram pesados 0,2g de tecido foliar de cada tratamento, com quatro repetições. Os tecidos foliares foram macerados em nitrogênio líquido e colocados em acetona 85%, por 24 horas. Em seguida, o material foi centrifugado a 8.000 x g, por 15 minutos. O sobrenadante foi coletado para a determinação em espectrofotômetro dos conteúdos de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Clorofila } a = (13,7 \times \text{Abs}_{664\text{nm}}) - (5,76 \times \text{Abs}_{647\text{nm}})$$

$$\text{Clorofila } b = (25,80 \times \text{Abs}_{647\text{nm}}) - (7,60 \times \text{Abs}_{664\text{nm}})$$

$$\text{Carotenóides} = (4,75 \times \text{Abs}_{455\text{nm}}) - (\text{Chl } a + \text{Chl } b) \times 0,226$$

2.5.2 Determinação de lignina

A concentração de lignina foi determinada pela metodologia descrita por Monties (1989), com modificações. Foram pesados 0,2 gramas de tecidos foliares frescos, os quais foram macerados em almofariz com nitrogênio líquido e incubados em solução acetona 85%, por 24 horas. O material, posteriormente,

foi centrifugado, a 8.000 x g, por 15 minutos e o precipitado formado foi seco à temperatura ambiente. Uma mistura de ácido tioglicólico (5 mL) e ácido clorídrico 2N (1:10 v/v) foi adicionada ao precipitado seco, sendo o material colocado em banho-maria (100^oC) por 4 horas. Posteriormente, realizou-se a lavagem do material com água destilada e 5mL de hidróxido de sódio (NaOH 0,5N) foram adicionados ao precipitado, permanecendo nesta solução por 18 horas. Após este período as amostras foram centrifugadas (8.000 x g por 15 minutos) e o sobrenadante transferido para novos tubos, nos quais receberam 200µL de ácido clorídrico (HCl) e foram incubadas em gelo por um período de 4 horas. O material foi novamente centrifugado (8.000 x g por 30 minutos), o sobrenadante foi descartado e o precipitado obtido foi homogeneizado em 5mL de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 N) e realizada a leitura de absorvância no espectrofotômetro no comprimento de onda de 280nm. O teor de lignina foi determinado de acordo com a fórmula:

$$\text{Lignina} = \text{Abs}_{280\text{nm}} * 144,93 * \text{diluição (5mL)} / 200\text{mg de tecido foliar}$$

Os valores obtidos foram convertidos e expressos em µg.mg⁻¹ de matéria fresca (MF).

2.6 Preparo das amostras para a observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV)

A coleta das amostras foliares para a observação em MEV foi realizada quando as mudas estavam com cinco pares de folhas definitivas, aproximadamente 40 dias após a inoculação. O preparo e a observação das amostras em microscópio eletrônico de varredura foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra-Estrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia da UFLA. Para observação com o microscópio eletrônico de varredura (MEV), fragmentos do limbo foliar de cada tratamento foram imersos em solução fixativa, pH 7,2, e armazenados em geladeira por 24

horas no mínimo. Em seguida, oito amostras foram lavadas com tampão cacodilato (0,05 M) por três vezes durante 10 min. As amostras foram transferidas para uma solução de tetróxido de ósmio 1% em água por 2 h e subseqüentemente desidratadas em uma série de acetona (30, 50, 70, 90 e 100% por três vezes) e depois levadas ao aparelho de ponto crítico. Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio "stubs" com fita de carbono, revestidos por uma película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO Evo 40. Diversas imagens das amostras foram registradas digitalmente, em aumentos variáveis e, processadas no Software Photopaint do pacote Corel Draw 9 (Alves, 2004).

2.7 Determinação da fotossíntese potencial

A fotossíntese potencial foi determinada pelo método de evolução do oxigênio utilizando uma câmara de Clark de fase gasosa (Hansatech) e um eletrodo de oxigênio acoplado a uma caixa de controle de fluxo elétrico CB1 (Hansatech) que amplifica as correntes vindas do eletrodo seguindo a metodologia utilizada por Delieu & Walker (1983) com as seguintes alterações: solução de KCl saturada e NaHCO_3 (1 mol L^{-1}). As determinações foram realizadas à temperatura de 22°C . A determinação do volume da câmara foi realizada com método de injeção (Delieu & Walker, 1981). A iluminação da câmara foi determinada usando um retroprojetor que fornecia aproximadamente $1.200 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), medida por um quantômetro acoplado a um porometro (modelo 1600M; LI-COR, Lincoln.Neb). A determinação da fotossíntese potencial foi realizada em folhas sadias e em folhas com sintomas da cercosporiose tanto na maior dose de ácido silícico (6 g kg^{-1} de solo) quanto na menor (0 g kg^{-1} de solo). Na coleta das folhas doentes, foram padronizadas folhas com a mesma

porcentagem de severidade (16%), de acordo com escala determinada por Fernandes (1988).

2.8 Anatomia do caule de mudas de cafeeiro cultivadas em diferentes doses de ácido silícico

Ao término das avaliações de pigmentos, lignina, fotossíntese potencial e microscopia, os caules das mudas de cafeeiro do experimento foram coletados e colocados em vidros contendo álcool etílico 70%, para fixação. Foram escolhidos três caules por tratamento, nos quais foram realizados cortes transversais utilizando micrótomo de mesa. Os cortes foram realizados na inserção do primeiro nó. As seções transversais foram clarificadas em hipoclorito de sódio 1%, durante 1 minuto e enxaguadas em água destilada por 5 minutos. Posteriormente, as seções foram coradas com azul de astra e safranina, seguindo metodologia descrita por Kraus & Ardiun (1997). As lâminas com duas seções coradas foram montadas em água glicerinada; foi montada uma lâmina por caule, totalizando 6 seções transversais para medição por tratamento. Foram mensurados a epiderme, o parênquima esponjoso, o floema, o câmbio vascular e o xilema em Microscópio Leica DME.

2.9 Análise dos dados

A análise estatística do experimento foi realizada no programa Sisvar, versão 4.6 (Build 6.1), do qual foram obtidos análise de variância e ajuste de modelos, cujos resultados foram significativos pelo teste F, considerando significância fixada em 5%. As variáveis quantitativas significativas no teste F foram submetidas à análise de regressão e as qualitativas ao teste de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo das doses crescentes de ácido silícico no solo para os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides (Tabela 7A). Resultados semelhantes foram encontrados por Amaral (2005) em mudas de cafeeiro inoculadas com *C. coffeicola* e pulverizadas com silicato de potássio, em que a clorofila *a*, a clorofila *b* e os carotenóides não foram influenciados significativamente pela pulverização com silicato. As clorofilas *a* e *b* e os carotenóides são pigmentos importantes no processo fotossintético das plantas. Eles participam dos processos de absorção de energia luminosa para posterior transformação desta energia em ATP e poder redutor, os quais serão usados na produção de fotoassimilados (Malkin & Nuyogi, 2000)

O teor de lignina não se diferenciou significativamente com os tratamentos avaliados (Tabela 7A). Este resultado está de acordo com o encontrado por Nojosa (2003), que quantificou o teor de lignina em mudas de cafeeiro pulverizadas com silicato de potássio, acibenzolar S metil ester e ácido salicílico e também verificou que os tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha para a característica avaliada. O autor relata a possibilidade de esses indutores não favorecerem o acúmulo de lignina em cafeeiros. Contudo Botelho et al. (2005) observaram que a adição de silicato de cálcio e de silicato de sódio (0; 0,5; 1 e 2 g kg⁻¹ de substrato) proporcionou aumento do teor de lignina em mudas de cafeeiro inoculadas com *C. coffeicola*, até a dose de 0,52g SiO₂ kg⁻¹ de substrato. Estudando o mesmo patossistema (cafeeiro-*C. coffeicola*), Amaral (2005) verificou maior teor de lignina nos tratamentos pulverizados com 1,5 mL L⁻¹ de silicato de potássio, tanto nas mudas sadias como nas mudas de cafeeiro com sintomas da cercosporiose. A fonte de silício utilizada e a forma de aplicação podem estar influenciando a resposta ao acúmulo de lignina em mudas de cafeeiro.

A lignina pode ser definida como um material polifenólico, amorfo, originário da polimerização enzimática de monômeros de coniferil, sinapil e ρ cumaril (Dence & Lin, 1992). A lignina, geralmente, é encontrada nos tecidos vegetais entre a parede celular e as células adjacentes. Estruturas lignificadas podem interromper o desenvolvimento fúngico em tecidos vegetais, atuando como barreira à penetração (Agrios, 2005; Pascholati & Leite, 1995).

Observou-se presença discreta de cera epicuticular no tratamento com 2 g de ácido silícico/kg de solo (Figura 1D) e mais evidente no tratamento com 6 g de ácido silícico (Figura 1F). A influência do silicato de cálcio no espessamento de cutícula em mudas de cafeeiro foi verificada, por Pozza et al. (2004), em três cultivares de cafeeiro (Catuaí, Mundo Novo e Icatu) com uso de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Observou-se a presença de uma cutícula mais espessa na superfície inferior da folha das plantas tratadas com 1 g de silicato de cálcio, principalmente devido à camada de cera epicuticular mais desenvolvida. Dentre as cultivares estudadas, a ‘Catuaí’ apresentou camada de cera epicuticular mais espessa, quando comparada às cultivares Icatu e Mundo Novo. O aumento de doses de silicato de potássio influenciando o espessamento de cutícula de folhas de cafeeiro foi também estudado por Amaral (2005). Verificou-se formação de cutícula mais espessa em folhas pulverizadas com 1,5 mL L⁻¹ de silicato de potássio, quando comparadas àquelas pulverizadas com 0,75 mL L⁻¹. De acordo com o autor, os estômatos em plantas não pulverizadas com Si foram mais visíveis que os das plantas tratadas com 1,5 mL L⁻¹ de silicato de potássio. Plantas de soja suplementadas com silicato de potássio via solução nutritiva também apresentaram camada de cera epicuticular mais desenvolvida, comparadas com plantas que não receberam silicato na solução (Lima, 2006).

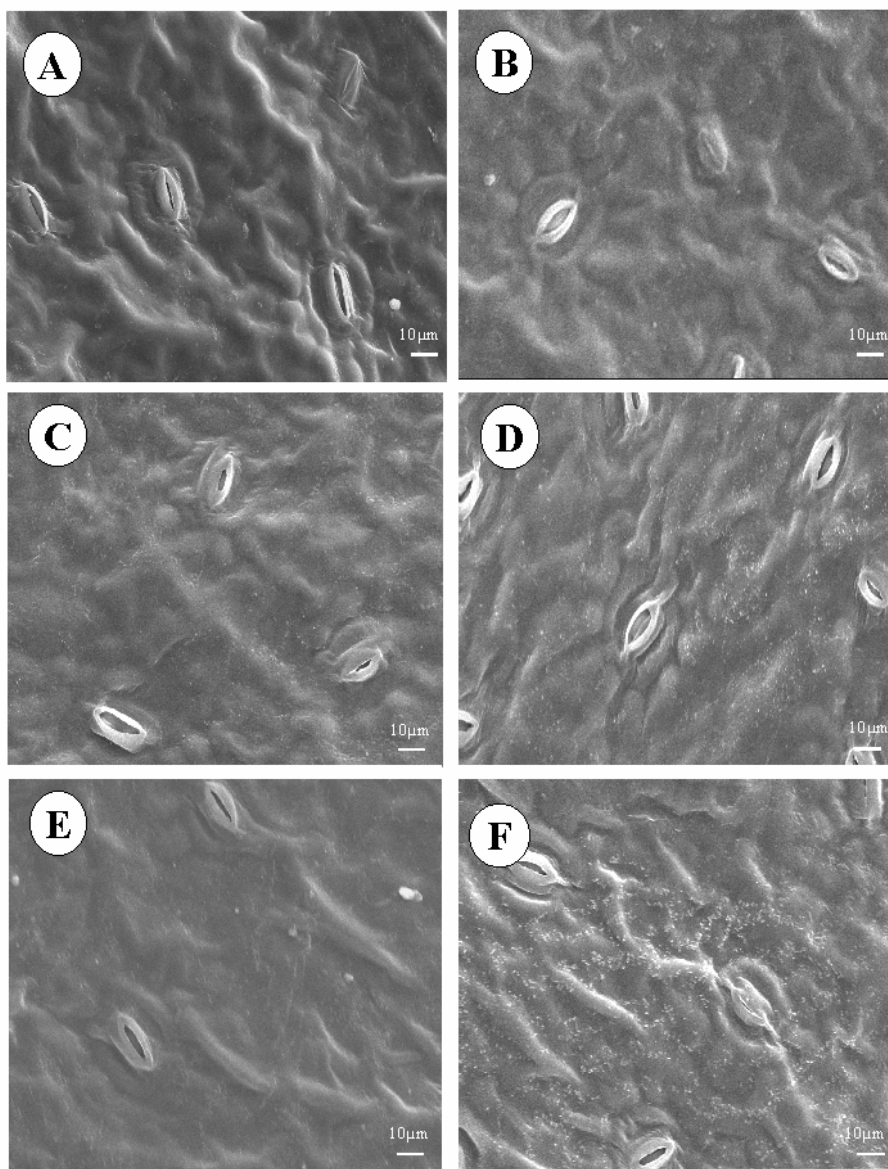


FIGURA 1. Eletromicrografias de varredura de folhas de cafeiro com as doses de ácido silícico 0 (A); 0,5 (B); 1,0 (C); 2,0 (D); 4,0 (E) e 6,0 (F) g kg⁻¹ de solo.

A espessura da cutícula pode influenciar o processo de doença em plantas de diversas formas. Maçãs inoculadas com *Venturia inaequalis*, agente etiológico da sarna da macieira, apresentaram maior severidade nos tecidos vermelhos quando comparados aos verdes, os quais praticamente não apresentaram sintomas da doença. Essa diferença foi atribuída a maior quantidade de cera epicuticular nos frutos verdes, o que resultou em maior dificuldade de retenção de gotículas de suspensão de esporos do fungo (Pascholati & Leite, 1995). A camada de cera pode tornar a superfície da planta hidrofóbica, impedindo a formação de filme de água, importante para os processos vitais de patogênese, como a germinação dos esporos. Além disso, o espessamento de cutícula pode contribuir para a resistência de plantas contra patógenos que penetram diretamente pela cutícula, servindo como barreira física (Pascholati & Leite, 1995).

A taxa fotossintética potencial diferenciou-se significativamente ($P < 0,00$) nos tratamentos avaliados (Tabela 8A). Folhas de plantas tratadas com 6g de Si sem sintomas da cercosporiose apresentaram menor taxa fotossintética potencial (Figura 2).

Nojosa (2003) também observou redução na taxa fotossintética em plantas de cafeeiro pulverizadas com silicato de potássio. A fotossíntese potencial foi significativamente maior nas folhas de plantas pulverizadas com silicato de potássio e inoculadas com *Hemileia vastatrix* Berk & Br. quando comparadas com folhas somente com pulverização de silicato de potássio. O autor relata a possibilidade desse indutor ter efeito danoso sobre a fotossíntese de cafeeiros.

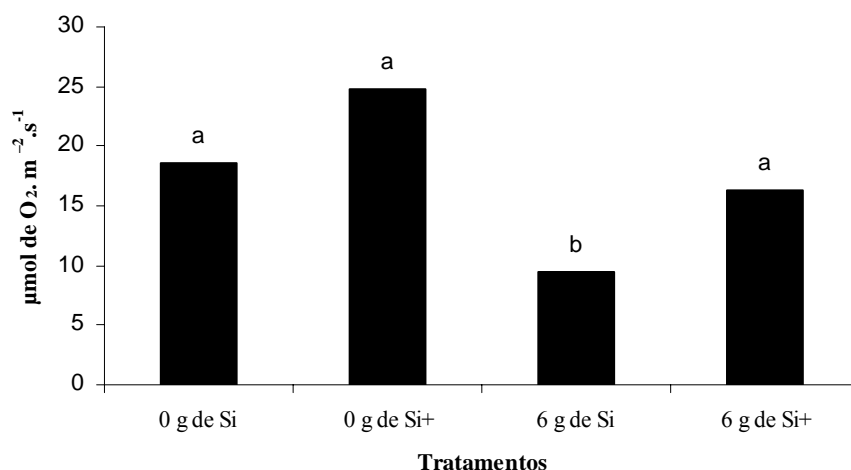


FIGURA 2. Fotossíntese potencial em tecidos foliares de folhas de cafeeiro cv. Catuaí. 0g de Si = 0 g de ácido silícico por quilo de solo, 6 g de Si = 6 g de ácido silícico por quilo de solo. + = folhas com sintomas de *C. coffeicola*. Tratamentos com as mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott & Knott, a 5%.

Uma possível explicação para a menor fotossíntese potencial observada nas mudas de cafeeiro adubadas com a maior dose de ácido silícico (6 g kg⁻¹ de solo) é o espessamento da camada de cera que, cobrindo os estômatos, influenciou negativamente a fotossíntese potencial. Essa camada de cera mais espessa em mudas de cafeeiro tratadas com silicato foi observada tanto na aplicação de silicato via solo (Pozza et al., 2004) quanto via foliar (Amaral, 2005). Em ambos os trabalhos, cita-se a cobertura parcial dos estômatos pela camada de cera epicuticular. Embora o aumento da camada de cera em plantas adubadas com silicato de cálcio tenha resultado em menor número de lesões de *C. coffeicola* em mudas de cafeeiro cultivares Catuaí e Mundo Novo (Pozza et al., 2004), o efeito benéfico na redução da doença parece ser antagônico à

fotossíntese potencial. Provavelmente, a menor densidade estomática devido ao espessamento da camada de cera resultou em menor assimilação de CO₂, interferindo negativamente na taxa fotossintética potencial.

A maior taxa fotossintética observada em plantas inoculadas pode ser explicada pelo estímulo inicial que a doença causa na planta. Esse estímulo foi de, aproximadamente, 5 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, nas plantas com sintomas da cercosporiose, independente da adição de ácido silícico ao solo de plantio das mudas (Figura 2). A severidade das folhas escolhidas para a avaliação (16%), que apresentavam áreas necrosadas de extensão reduzida e as áreas cloróticas, nas quais ocorreu a destruição de moléculas de clorofila, não eram extensas. Possivelmente, com a evolução do processo da doença, esse resultado inverteria, pois, de acordo com Pascholati & Leite (1995), pode-se verificar um aumento da atividade fotossintética no início do processo da doença, por um período reduzido, seguido, invariavelmente, pela redução da taxa de fotossíntese, devido ao aumento do surgimento de áreas cloróticas e necrosadas.

A espessura da epiderme, do câmbio vascular, do parênquima esponjoso, do floema e do xilema (μm) não foi significativamente influenciada pelas doses de ácido silícico adicionadas ao solo (Tabela 11A, Figura 3, Tabela 2). Possivelmente, as obstruções dos vasos condutores de plantas de citrus ocasionadas pela polimerização de Si observada por Korndorfer & Pereira (2006) ocorreram após um longo tempo de adubação com silicatos e, provavelmente, a ocorrência dessas obstruções varia entre espécies de plantas.

TABELA 2. Espessura da epiderme, do câmbio vascular, do parênquima esponjoso, do floema e do xilema (μm) do caule de mudas de cafeeiro adubadas com diferentes doses de ácido silícico (g kg^{-1}) de solo.

	Doses					
	0	0,5	1	2	4	6
Epiderme	26,54	24,33	26,54	25,72	26,13	24,50
Câmbio vascular	24,90	30,62	28,99	36,34	28,58	35,52
Parênquima esponjoso	455,00	475,00	428,33	476,66	451,66	408,33
Floema	106,98	125,32	106,57	114,33	102,90	102,49
Xilema	185,79	199,31	180,07	184,97	174,76	186,60

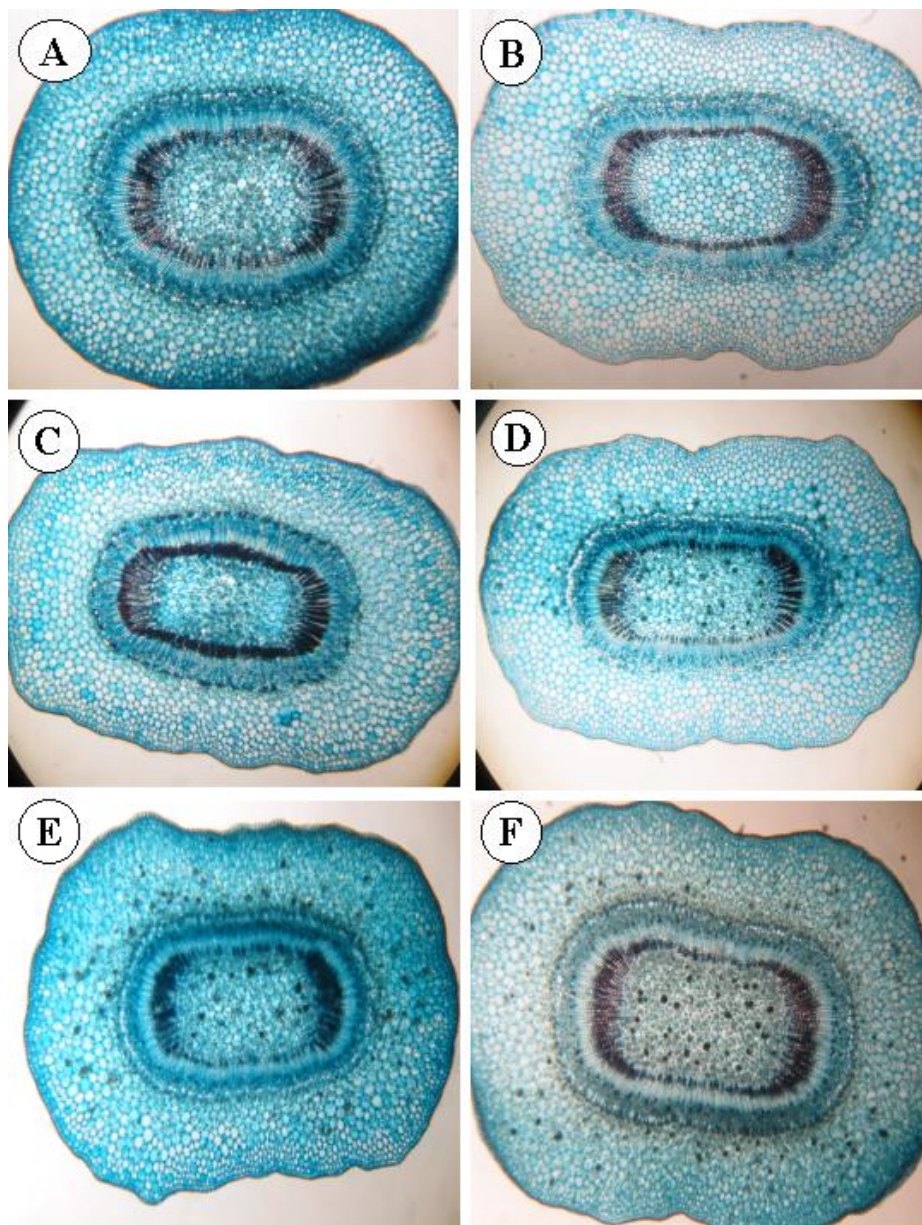


FIGURA 3. Fotomicrografias de secções transversais do caule de mudas de cafeeiro cultivadas em diferentes doses de ácido silícico (g kg^{-1} de solo)- 0 (A); 0,5 (B); 1,0 (C); 2,0 (D); 4,0 (E) e 6,0 (F).

4 CONCLUSÕES

A adição de ácido silícico ao solo de plantio das mudas de cafeeiro proporcionou aumento na cera epicuticular das folhas nas doses 2g e 6 g de ácido silícico por quilo de solo.

A dose de 6 g de ácido silícico por quilo de solo apresentou efeito negativo na fotossíntese potencial de mudas de cafeeiro.

Não ocorreu alteração na anatomia do caule de mudas de cafeeiro adubadas com ácido silícico.

A concentração de lignina, clorofila *a*, *b* e carotenóides nas mudas de cafeeiro não foram influenciadas pela adição de ácido silícico ao solo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre o efeito do silício na redução de doenças em plantas de cafeeiro são recentes, com isso, ajuste nas metodologias são necessários para obtenção de melhores resultados. No capítulo do experimento realizado em condições de campo, os resultados devem ser analisados com certa ressalva devido aos altos coeficientes de variação. Tamanho de amostra maior ou aumentar o número de repetições pode ser alternativas visando reduzir o coeficiente de variação. Outro ponto a ser salientado é a análise de pigmentos, onde é importante a padronização da posição da folha a ser analisada, a fim de obter resultados mais precisos do teor de clorofila *a*, *b* e carotenóides.

Como cafeeiro é uma cultura não acumuladora de silício, o tempo de condução do experimento pode influenciar nos resultados. Em trabalhos futuros, a condução de experimento com aplicação de silicatos por duas safras ou mais podem dar respostas mais precisas do real efeito do silício na redução de doenças do cafeeiro. Além disto, a possível detecção de fitoalexinas nos sítios de infecção em plantas de cafeeiro adubadas com silício, com auxílio da microscopia eletrônica de transmissão, poderá esclarecer o papel do silício na redução da intensidade de doenças do cafeeiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon in cucumber plants grown in recirculation nutrient solution. **Annals Botany**, London, v. 58, n. 3, p. 343-357, Sept. 1986.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5. ed. Amsterdam : Elsevier, 2005. 922 p.

ALVES, E. **Curso introdutório de microscopia eletrônica de varredura**. Lavras: Editora UFLA/FAEPE, 2004. 43 p. (Texto Acadêmico).

AMARAL, D. R. **Indução de resistência em cafeeiro contra Cercospora coffeicola por eliciadores abióticos e extratos vegetais**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G. de.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 582-588, nov./dez. 2005.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 525-531, Sept. 1997.

DELIEU, T.; WALKER, D. A. Polarographic measurement of photosynthesis oxygen evolution by leaf discs. **New Phytologist**, Cambridge, v. 89, n. 2, p. 165-178, 1981.

DELIEU, T.; WALKER, D. A. Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. **Plant Physiology**, Rockville, v. 73, n. 3, p. 534-541, 1983.

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

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inoculo sobre a Cercosporiose do cafeeiro**. 1988 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; VENEGAS, V. H. A.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. S.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, P. T. G.; POZZA, A. A. A.; FERREIRA, G.; LEITE, E. **Transmissão de tecnologia para diferentes zonas produtoras**. Disponível em: <<http://www.coffeebreak.com.br/ocafezal.asp?SE=8&ID=470>>. Acesso em: 12 jun. 2006.

KRAUS, J. E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Seropédica. 1997. 198 p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. **Possíveis interações entre o silício e o Declínio**. Disponível em: <[http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Arquivos%20Papers/Rev.Citric.Atual%202002%20-%20Interacoes%20Si%20x%20Declinio%204\(27\)12-13.pdf](http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Arquivos%20Papers/Rev.Citric.Atual%202002%20-%20Interacoes%20Si%20x%20Declinio%204(27)12-13.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2006.

LIMA, L. M. de. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. .

MALKIN, R.; NUYOGI, K. Photosynthesis. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. (Ed.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 568-628.

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

MONTIES, B. Lignins. In: DEY, P. M.; HARBONE, J. B. (Ed.). **Methods in Plant Biochemistry**. New York: Academic Press, 1989. p. 113-158.

NOJOSA, G. B. A. **Efeito de indutores na resistência de *Coffea arabica* L. a *Hemileia vastatrix* Berk & Br. e *Phoma costarricensis* Echandi**. 2003. 102p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro:mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**: princípios e Conceitos. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 417-453.

POZZA, A. A. A. **Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) em mudas de cafeeiro.** 1999. 70 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p185-188, mar./abr. 2004.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 58, n. 2, p. 179-207, 1983.

ANEXOS

		Página
TABELA 1A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), em função de doses de ácido silícico. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	107
TABELA 2A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), g kg ⁻¹ , de matéria seca da parte aérea, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	107
TABELA 3A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), mg kg ⁻¹ , de matéria seca da parte aérea, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	108
TABELA 4A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca da parte aérea, g/ vaso, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	108
TABELA 5A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) na matéria seca da parte aérea, mg/ vaso, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	109
TABELA 6A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) da área foliar, área foliar específica, % desfolha, do peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso da matéria seca das raízes (MSR), em função de doses de Si aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	109

TABELA 7A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de clorofila a, clorofila b, carotenóides, lignina e silício em função de doses de ácido silícico adicionado ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	110
TABELA 8A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) da taxa fotossintética potencial ($\mu\text{mol O}_2, \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) nos tratamentos estudados. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	110
TABELA 9A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da cercosporiose em folha de cafeeiro, em função de diferentes tratamentos de controle. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	110
TABELA 10A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem em folha de cafeeiro, em função de diferentes tratamentos de controle. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	111
TABELA 11A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de medição (espessura) da epiderme, do parênquima esponjoso, do floema, do câmbio vascular e do xilema do caule (em μm) de mudas de cafeeiro em função de doses de ácido silícico adicionado ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	111

TABELA 1A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), da área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF), da área abaixo da curva de progresso do número de folhas lesionadas/planta (AACPNFL) e da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), em função de doses de ácido silícico aplicado no solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	AACPI	AACPNLF	AACPNFL	AACPS
Bloco	3	633333,77 ^{ns}	49,57 ^{ns}	126,78 ^{ns}	332,02 ^{ns}
Doses	5	234075,45 ^{ns}	128,31*	10,93 ^{ns}	4168,08 ^{ns}
CV(%)		18,30	15,48	17,70	15,44

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

TABELA 2A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), g kg⁻¹, de matéria seca da parte aérea, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	0,07 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Doses	5	0,05 ^{ns}	0,00**	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00**	0,00*
CV(%)		9,53	15,46	9,73	5,97	9,63	7,64

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

** Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo,

TABELA 3A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), mg kg⁻¹, de matéria seca da parte aérea, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	B	Cu	Zn	Mn	Fe
Bloco	3	3,39 ^{ns}	1,83 ^{ns}	796,03 ^{ns}	1648,90 ^{ns}	1956,16 ^{ns}
Doses	5	147,62 ^{**}	2,43 [*]	2440,60 [*]	2289,42 ^{ns}	3534,38 ^{ns}
CV(%)		14,36	16,17	16,54	18,84	16,04

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

** Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo,

TABELA 4A Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca da parte aérea, g/ vaso, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	13,37 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Doses	5	36,41 ^{ns}	0,04 ^{ns}	15,00 [*]	0,69 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,03 [*]
CV(%)		27,06	34,17	21,47	18,57	20,67 ^{ns}	18,23

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

** Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo,

TABELA 5A Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) na matéria seca da parte aérea, mg/ vaso, em função de doses de ácido silícico adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	B	Cu	Zn	Mn	Fe
Bloco	3	856,66 ^{ns}	41,26 ^{ns}	28935,22 ^{ns}	98742,17 ^{ns}	171602,55*
Doses	5	1293,23 ^{ns}	126,93 ^{ns}	41799,06 ^{ns}	103298,89*	112130,70 ^{ns}
CV(%)		15,89	28,76	19,36	14,62	13,10

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo,

TABELA 6A Resumo da análise de variância (quadrados médios) da área foliar, área foliar específica, % desfolha, do peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso da matéria seca das raízes (MSR), em função de doses de ácido silícico aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 2006,

FV	GL	MSPA	MSR	Área foliar	Área foliar específica	% Desfolha
Bloco	3	0,278 ^{ns}	1277,26 ^{ns}	9459,23 ^{ns}	461,11 ^{ns}	226,25 ^{ns}
Doses	5	1,41 ^{ns}	1812,74 ^{ns}	6156,79 ^{ns}	146,05 ^{ns}	134,42 ^{ns}
CV(%)		19,72	5,39	35,68	18,17	35,00

^{ns} não significativo.

TABELA 7A Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenóides, lignina e silício em função de doses de ácido silícico adicionado ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	carotenóides	silício	Lignina
Bloco	3	23,59 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Doses	5	18,94 ^{ns}	5,30 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,66 ^{ns}
CV(%)		28,21	38,14	22,27	23,29	18,44

^{ns} não significativo

TABELA 8A Resumo da análise de variância (quadrados médios) da taxa fotossintética potencial ($\mu\text{mol O}_2, \text{m}^{-2}, \text{s}^{-1}$) nos tratamentos estudados. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Fotossíntese potencial
Bloco	3	8,10 ^{ns}
Trat	3	157,95 ^{**}
CV(%)		26,25

^{**} Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo

TABELA 9A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da cercosporiose em folha de cafeeiro, em função de diferentes tratamentos de controle. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	AACPI	AACPNLF	AACPS
Bloco	3	20448,39 ^{ns}	2705,82 ^{ns}	29217,18 ^{ns}
Trat	11	42140,33 ^{ns}	2505,43 ^{*s}	31433,09 ^{ns}
CV(%)		46,54	33,55	26,35

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

TABELA 10A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPNLF) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem em folha de café, em função de diferentes tratamentos de controle. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	AACPI	AACPNLF	AACPS
Bloco	3	161707,05 ^{ns}	3010,681 ^{ns}	3884,29 ^{ns}
Trat	11	2873034,268**	46307,959**	44889,51**
CV(%)		42,79	42,75	35,38

** Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo

TABELA 11A Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores de medição (espessura) da epiderme, do parênquima esponjoso, do floema, do xilema e do câmbio vascular do caule de mudas de café, em função de doses de ácido silícico aplicadas no solo. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	Epiderme	Parênquima esponjoso	Floema	Xilema	Câmbio vascular
Doses	5	3,74 ^{ns}	4278,33 ^{ns}	457,11 ^{ns}	404,11 ^{ns}	115,14 ^{ns}
Erro	30	3,99	3849,44	260,48	527,14	54,58
CV(%)		9,49	13,81	14,70	12,39	23,97

^{ns} não significativo