

**CONTROLE DE NEMATÓIDES DE GALHAS
(*Meloidogyne* spp) COM SILICATOS, EM
FEIJOEIRO (*Phaseolus Vulgaris* L.),
TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill) E
CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.)**

MARCOS ROBERTO DUTRA

2004

MARCOS ROBERTO DUTRA

CONTROLE DE NEMATÓIDES DE GALHAS (*Meloidogyne* spp.)
COM SILICATOS, EM FEIJOEIRO (*Phaseolus Vulgaris* L.),
TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill) E CAFEIEIRO (*Coffea*
arabica L.)

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. Vicente Paulo Camnos

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

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

Dutra, Marcos Roberto.

Controle de nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Lavras: UFLA, 2004.

110 p.

Orientador: Vicente Paulo Campos.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. *Meloidogyne*. 2. Manejo. 3. Silício.

I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-595.182
- 595.767

MARCOS ROBERTO DUTRA

**CONTROLE DE NEMATÓIDES DE GALHAS (*Meloidogyne* spp)
COM SILICATOS, EM FEIJOEIRO (*Phaseolus Vulgaris* L.),
TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill) E CAFEEIRO (*Coffea
arabica* L.)**

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 28 de outubro de 2004

Prof. Dr. Paulo Estevão Souza

UFLA

Prof. Dr. Eduardo Alvez

UFLA

Prof. Dr. Marco Antônio Resende Alvarenga

UFLA

Prof. Dr. Hercules Diniz Campos

FESURV


Prof. Dr. Vicente Paulo Campos

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

DEDICO

A toda minha família, que sempre foi o meu apoio nas horas difíceis.

OFEREÇO

Ao futuro dos meus filhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas dificuldades colocadas na minha vida, e o dom que me deu para superá-las.

A Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade.

A CAPES, pelo patrocínio com a bolsa.

Ao Prof. Dr. Vicente Paulo Campos, por todo o incentivo e ter sido um ótimo Mestre, de exemplos e determinação.

Aos docentes e funcionários, pelos ensinamentos.

Ao funcionário Tarlei, por toda ajuda nos trabalhos.

Aos companheiros de trabalho, que vivenciaram minha luta.

Aos alunos de graduação, Bernardo, Maria Clara, Eduardo, André e muitos outros que me auxiliaram no dia-a-dia, na realização das tarefas.

Ao funcionário "Sr. Geraldinho", pelo exemplo de trabalho e dedicação.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a superação desta fase da minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1: Produtos silicatados no controle dos nematóides de galhas (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	1
1 Introdução geral	2
2 Referencial teórico	6
2.1 Silício no solo.....	6
2.2 Fontes de silício.....	8
2.3 Silício nas plantas.....	9
2.4 Silício no controle de doenças de plantas.....	16
3 Objetivos.....	27
4 Referências bibliográficas.....	28
CAPÍTULO 2: Silício no controle de nematóides em feijoeiro.....	63
1 Resumo	64
2 Abstract	65
3 Introdução	66
4 Material e métodos	67
4.1 Efeito do silicato de cálcio na penetração e estabelecimento do sítio de infecção de nematóides no feijoeiro.....	67
4.2 Efeito do silício no desenvolvimento e produção de feijoeiros infestados pelos nematóides de galhas.....	68
5 Resultados e discussão.....	69

5.1 Efeito do silicato de cálcio na penetração e no estabelecimento do sítio de infecção dos nematóides de galhas em feijoeiro.	69
5.2 Efeito do silício no desenvolvimento e produção do feijoeiro infestados pelos nematóides de galhas.....	71
6 Referências bibliográficas	74
CAPÍTULO 3: Silício no controle de nematóides em tomateiro.....	75
1 Resumo	76
2 Abstract	77
3 Introdução	78
4 Material e métodos	79
4.1 Controle de <i>Meloidogyne javanica</i> do tomateiro com silicato de cálcio	79
4.2 Controle de <i>Meloidogyne javanica</i> do tomateiro com silicato de cálcio e de potássio.....	80
5 Resultados e discussão.....	81
5.1 Controle de <i>Meloidogyne javanica</i> do tomateiro com silicato de cálcio	81
5.2 Controle de <i>Meloidogyne javanica</i> do tomateiro com silicato de cálcio e de potássio.....	86
6 Referências bibliográficas	88
CAPÍTULO 4: Efeito do silício na interação <i>Meloidogyne exigua</i> e cafeeiro.....	90
1 Resumo	91
2 Abstract	92
3 Introdução	93
4 Material e métodos	95
4.1 Efeito do silício no número de galhas e na reprodução de <i>Meloidogyne exigua</i> em mudas.....	95

4.2 Avaliação da população de <i>Meloidogyne exigua</i> em cafeeiros plantados no campo e tratados com silício, nematicida e torta de mamona em aplicações simultâneas ou não.....	97
5 Resultados e discussão.....	98
5.1 Efeito do silício no número de galhas e na reprodução de <i>Meloidogyne exigua</i> em mudas.....	98
5.2 Avaliação da população de <i>Meloidogyne exigua</i> em cafeeiros plantados no campo e tratados com silício, nematicida e torta de mamona em aplicações simultâneas ou não.....	102
6 Referências bibliográficas	108

RESUMO

DUTRA, Marcos Roberto. Controle de nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

O efeito do silício foi estudado em feijoeiro, tomateiro e cafeeiro, tanto em casa de vegetação como no campo, sobre diversas espécies de *Meloidogyne*. Em feijoeiro, o número de juvenis do segundo estágio (J_2) de *M. javanica* ou *M. incognita* que penetraram em raízes em substrato misturado com silicato de cálcio (CaSiO_3) foi semelhante ao da testemunha. Entretanto, o CaSiO_3 reduziu ($P \leq 0,05$) o número de galhas e de ovos de *M. javanica* e *M. incognita*. A melhor dosagem no controle do nematóide foi de aproximadamente, 2,9 g/L de substrato. Em tomateiro, diversas doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) e CaSiO_3 reduziram ($P \leq 0,05$) a reprodutividade de *M. javanica* com as dosagens de 12,8 mL de K_2SiO_3 , reduzindo o número de ovos ao nível daquele em plantas tratadas com aldicarb. A dose de CaSiO_3 que mais reduziu a reprodutividade e o número de galhas de *M. javanica* em tomateiro foi de 2,8 g/L de substrato. Em mudas de cafeeiros crescidos em vasos contendo mistura de diversas doses de CaSiO_3 , ocorreu redução do número de galhas de *M. exigua* comparado com a testemunha. Contudo, menor número de ovos ($P \leq 0,05$) de *M. exigua* ocorreu quando se aplicou 2 ou 4 gramas de CaSiO_3 por vaso. No campo aplicações simultâneas ou não do nematicida terbufos, CaSiO_3 ou torta de mamona reduziram o número de J_2 e o número de ovos de *M. exigua* comparados com a testemunha. Contudo, a aplicação conjunta do CaSiO_3 com terbufos foi mais eficaz ($P \leq 0,05$) na redução do número de ovos de *M. exigua* que a aplicação separada demonstrando efeito aditivo do nematicida e do CaSiO_3 .

*Comitê de Orientação: Vicente Paulo Campos – UFLA (Orientador), Eduardo Alvez – UFLA e Hercules Dinis Campos – Fesurv.

ABSTRACT

DUTRA, Marcos Roberto. Silicon on the control of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and coffee (*Coffea arabica* L.). 2004. 110 p. Thesis (Doctor Program in Phytopathology) – Universidade Federal de Lavras - Lavras.

The effect of silicon at different dosages was studied in common bean, tomato and coffee plants in greenhouse and in the field, with different species of *Meloidogyne*. The number of second stage juveniles (J₂) of *M. javanica* or *M. incognita* that penetrated to the root when common bean was grown in substract mixed with calcium silicate (CaSiO₃) was not different from control. However, CaSiO₃ reduced (P≤0,05) the number of galls and eggs of *M. javanica* and *M. incognita* in common bean roots and the best dosage was 2,9 g/L of substract. In tomato, different doses of potassium silicate (K₂SiO₃) and CaSiO₃ reduced (P≤0,05) the *M. javanica* reproduction compared to control. The dose 12,8 mL/L of K₂SiO₃ reduced the number of egg of *M. javanica* to the level of Temik. The CaSiO₃ dose which greatest reduced the reproduction and number of galls of *M. javanica* in tomato was 2,8 g/L of substract. In coffee seedlings grown in pots with mixture of different doses of CaSiO₃ in the substract occurred reduction (P≤0,05) of number of galls of *M. exigua* compared to control. However lesser (P≤0,05) number de eggs of *M. exigua* occurred when 2 or 4 g of CaSiO₃ was applied per pot grown with coffee seedlings. In the field, simultaneous or isolated applications of Counter nematicide, CaSiO₃ or Castor bean cocake reduce the number of J₂ and number of eggs of *M. exigua* compared to control. However, simultaneous application of CaSiO₃ and Counter had better (P≤0,05) efficacy in reducing the number of eggs of *M. exigua* than the isolated application demonstrating the additive effect of nematicide and CaSiO₃ in coffee plants.

*Guidance Committee: Vicente Paulo Campos – UFLA (Major Professor), Eduardo Alvez – UFLA and Hercules Dinis Campos – Fesurv.

Capítulo 1

Produtos silicatados no controle de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.)

1 INTRODUÇÃO GERAL

O custo do produto nematicida, as preocupações com o meio ambiente, com a saúde do aplicador e com o resíduo de agrotóxicos nos produtos de consumo da população têm levado a sociedade a evitar e diminuir o uso de agrotóxicos (Shtienberg et al., 1994). O uso de baixa tecnologia por muitos produtores pode também tornar mais sério e preocupante o emprego de agrotóxicos. O controle químico, além dos altos custos, pode deixar resíduos tóxicos no meio ambiente. A obtenção de variedades resistentes ou tolerantes requer um período de tempo considerável (Novaretti, 1991). Alternativas de controle têm sido pesquisadas, como a utilização de práticas culturais e modificação do ambiente. Entre elas estão àquelas desenvolvidas por Dutra & Campos (2002a, b, e c), usando o revolvimento do solo que reduz bastante a população de *Meloidogyne* spp. Goeldi, seguida de irrigação que induz a eclosão do J₂ formado dentro do ovo, num ambiente de temperatura elevada, seguido de seca, o que leva o J₂ livre a exaurir sua reserva energética e tornar-se incapaz de penetrar no futuro hospedeiro que será cultivado na área infestada.

A tendência, na agricultura atual, é a utilização de produtos de baixa toxicidade ou não tóxicos ao homem, como aqueles oriundos de plantas. Extratos vegetais, substâncias do metabolismo secundário de fungos e bactérias têm possibilidades concretas de aceitação comercial no combate a enfermidades causadas por fitonematóides (Amaral et al., 2000; 2001a,b; 2002a,b,c; Conselho et al., 2002; Costa et al., 2000, 2001; Cunha et al., 2001; Marani et al., 2002a,b; Oliveira et al., 1999a,b; 2000a,b,c,d; 2002a,b; Rocha et al., 2002). Soma-se a isto o controle biológico, o qual pode ser realizado, na natureza, por vírus, riquétsias, fungos, nematóides, tardígrafos, artrópodes, turbelários e bactérias (Stirling, 1991; Campos, 1992; Campos et al, 1998). A bactéria *Pasteuria*

penetrans (Thorne, 1940) Sayre e Starr, (1985) surge como organismo promissor, pois não produz substâncias tóxicas ao homem, às plantas e aos animais (Jatala, 1986) e seu endósporo é altamente resistente a condições adversas, como temperatura de 80°C e dessecação (Campos et al, 1998; Oostendorp et al., 1990; Dutky & Sayre, 1978). Pesquisas em laboratório e em casa de vegetação são muitas na literatura (Chen et al., 1996; Maximiliano et al., 2001a; b e c; Souza & Campos, 1997 e 1998; Carneiro et al., 1999; Miranda & Marbán-Mendoza, 1999; Rocha & Campos, 2000; Freitas et al., 2000). Entretanto, ainda são escassos trabalhos relativos à sua aplicação no campo.

No processo de manipulação do ambiente, a nutrição mineral constitui fator de fácil controle pelo homem, podendo ser empregado como tática de controle ou, mesmo, como auxiliar de outra, empregada no controle de determinada doença (Marschner, 1995).

O efeito de vários nutrientes têm sido estudados no controle de doenças causadas por fitonematóides. O cálcio aumenta a resistência da planta a alguns fitopatógenos (Marschner, 1995). Ele forma poligalacturonatos de cálcio que são depositados na lamela média, proporcionando estabilidade na parede celular. Contudo, fungos fitopatogênicos, no processo de penetração, produzem enzimas pectolíticas extracelulares, como a poligalacturonase, que dissolvem a lamela média das células, destruindo essa estabilidade, as quais são inibidas pelo maior teor de cálcio nos tecidos vegetais (Marschner, 1995).

Baixos teores do elemento cobre (Cu) também são responsáveis por maior intensidade da cercosporiose do cafeeiro (*Cercospora coffeicola*) (Pozza, 1999). O cobre é um importante cofator enzimático, sendo responsável pela ativação de enzimas como oxidase do ácido ascórbico e complexo oxidase do citocromo (Malavolta, 1980). Zambolim & Ventura (1993) relacionaram o efeito do íon ferro com a ativação de enzimas necessárias à síntese de compostos antifúngicos. A ausência do íon ferro nas células resulta na maior

susceptibilidade das plantas às doenças devido à menor síntese dos compostos antifúngicos, responsáveis pela inibição da ação de agentes patogênicos às plantas. Outro nutriente importante para as plantas é o manganês (Mn), atuando como cofator, ativando aproximadamente 35 enzimas. Esse nutriente afeta a fenilalanina amônia liase (PAL) e estimula peroxidases requeridas na biossíntese de lignina (Marschner, 1995). Neste contexto, inclui-se o silício, o qual não é nutriente essencial e nem funcional para o crescimento de plantas, contudo, tem demonstrado ser eficaz no controle de fitodoeças causadas por fungos, desde 1939, por Arnon & Stout.

Na Europa o metassilicato de sódio tem sido comercializado para uso no controle do míldio em roseira e pepineiro (Lima, 1998; Bélanger et al., 1995). O silício, sob formas variadas como silicato de cálcio, de sódio e de potássio, wollastonita, escórias de siderurgia, cinzas de casca de arroz, etc., tem sido eficaz no controle de diversas doenças causadas por fungos nas culturas do abacaxi, alface, arroz, beterraba, cana-de-açúcar, juta, feijoeiro, fumo, morango, pepino, repolho, roseira, soja, sorgo, tomate e trigo (Miyake & Takahashi, 1986; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1983; Miyake & Takahashi, 1985; Halaig & Parish, 1963; Elawad & Green, 1979; Fox & Silva, 1978; Raid et al., 1992; Datnoff et al., 1990; 1991; Osuna-Canizales et al., 1991, Mathai et al., 1978, Wang et al., 1994; Narwal 1973; Maiti et al., 1984; Wu & Hsieh, 1990; Jiang et al., 1989; Leusch & Buchenauer, 1989).

O silício aplicado no solo antes do plantio do arroz pode reduzir o número de aplicações de fungicidas ou evitar seu uso no controle de doenças fúngicas (Kim & Lee, 1982; Datnoff et al., 1990; Osuna-Canizalez et al., 1991; Datnoff et al., 1992; Correa-Victoria et al., 1994).

O teor de silício nos tecidos vegetais, como em cultivares de arroz, tem sido correlacionado com a resistência a diversas doenças (Volk et al., 1958; Mathai et al., 1977; Elawad & Green, 1979; Datnoff et al., 1991; 1992; 1997;

Winslow, 1992; Deren et al., 1994; Savant et al., 1997a; Rodrigues et al., 1998). Cultivares de arroz mais resistentes ao nematóide *Meloidogyne graminicola* apresentam maior acúmulo de sílica nos seus tecidos em crescimento, o que não ocorre em variedades susceptíveis (Swain & Prasad, 1988). Entretanto, ainda não foram publicados trabalhos demonstrando o efeito da aplicação de sílica na resistência de plantas a fitonematóides.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Silício no solo

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio (Raij & Camargo, 1973), que representa cerca de 32% em peso e 27% em massa da crosta terrestre, ocupando, no mundo mineral, a mesma posição de destaque que o carbono no mundo biológico (Tisdale et al., 1985). É componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (Raij, 1991). Ocorre, principalmente, em minerais silicatados primários ou secundários inertes das areias, quartzo (SiO_2), caulinita, micas, feldspato, auginitas, tridimita, cristobalita, coesita e opala, além de outros minerais de argilas silicatadas (Raij, 1991, Malavolta, 1976; Mengel & Kirkby, 1987; Lindsay, 1979; Mckeague & Cline, 1963; Savant et al., 1997b).

No solo, encontra-se adsorvido ou formando precipitados com óxidos de alumínio, ferro e manganês (Mckeague & Cline, 1963; Savant et al., 1997b). Na solução do solo, está presente como ácido monossilícico, a maior parte na forma não dissociada ($\text{pK}_1=9,6$), o qual é prontamente absorvido pelas plantas (Raven, 1983; Werner e Roth, 1983; Wild, 1988). A quantidade de silício presente no solo é muito variável nos diferentes tipos de solos. Raij & Camargo (1973) encontraram valores entre 2,2 e 92,2 ppm de Si em levantamentos realizados no estado de São Paulo. O silicato possui ação neutralizante no solo, pois a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas, promovendo a elevação do pH (Alcarde, 1992).

A presença de silício na solução nutritiva reduz a disponibilidade de ferro e manganês, aumentando a disponibilidade de fósforo para a planta

(Friesen et al., 1994; MA & Takahashi, 1990; 1991). O silício no solo promove maior disponibilização de fósforo. O ácido monossilício residual adsorve-se aos óxidos de Fe e Al da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de fósforo que, dessa maneira, torna-se mais disponível na solução do solo (Roy et al., 1971; Smyth Sanches, 1980; Anderson et al., 1991; Leite, 1997).

Solos tropicais e subtropicais sujeitos à intemperização e lixiviação, e altamente cultivados, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicificação (Tisdale et al., 1985; Lima Filho, 1999). Solos sob cerrado apresentam alto grau de intemperismo, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si trocável e baixa relação sílica/sesquióxidos de Fe e Al, apresentando, portanto, baixa capacidade de fornecimento de silício disponível para as plantas (Silva, 1973; Soils & Rice, 1978; Brady, 1992). Segundo Raij & Camargo (1973), as principais formas de silício presentes no solo são: Si solúvel, na forma de ácido monossilício (H_4SiO_4) que, desprovido de carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento do Si com relação aos vegetais, Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos).

Os principais drenos de silício são: absorção pelas plantas, formação de polímeros de silício, lixiviação, formação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e formação de minerais cristalinos (Savant et al., 1997).

Na cultura do arroz, Imaizumi & Yoshida (1958) recomendam a aplicação de fertilizantes silicatados quando os teores de Si no solo forem menores do que $4,9 \text{ mg.dm}^{-3}$ de solo. No Japão, a aplicação de silicato de cálcio em solos degradados é realizada desde 1965, garantindo aumentos na produção de até 15%. Ganhos significativos na produção de grãos também foram na Tailândia, Indonésia, China, Colômbia, Filipinas e Estados Unidos (Takahashi et al., 1980; Ho et al., 1980; Subramanian & Gopalswamy, 1990; Garrity et al., 1989; Correa-Victoria et al., 1994; Datnoff et al., 1997; Takahashi et al., 1990).

2.2 Fontes de silício

As principais fontes de ácido silícico presentes na solução do solo provêm da decomposição de resíduos vegetais, da dissociação do ácido silícico polimérico, da liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, da dissolução de minerais cristalinos, da água de irrigação e dos fertilizantes silicatados. Comercialmente, têm-se como fonte de silício os metassilicatos de sódio e de potássio, os quais são utilizados em cultivos hidropônicos e aplicações foliares devido à alta solubilidade. Escórias de siderurgia (silicatos de cálcio e magnésio) têm sido utilizadas por muitos produtores, pois constituem excelentes fontes de silício a baixo custo. Estas agem como corretivos do solo pela adição de nutrientes além da sua basicidade, porém, apresentam algumas impurezas, incluindo micronutrientes, P, K e S (Korndörfer & Datnoff, 1995; Piau, 1995). Estas escórias têm sido utilizadas desde 1955 para corrigir a acidez do solo nas Américas e na Europa e, como fertilizante silicatado, em países como Japão, Coréia, Taiwan, EUA e China, sendo o silicato de potássio e de sódio os mais recomendados para pulverizações foliares e em cultivos hidropônicos (Gascho, 1999). Berni et al. (1999), testando diferentes escórias de siderurgia como fontes de Si, obtiveram relação quadrática entre o peso das plantas secas e as doses das fontes de Si testadas.

Em trabalhos de pesquisa envolvendo o elemento silício, freqüentemente tem sido empregado o silicato de cálcio natural (wollastonita), por ser livre de ferro e fósforo (Rodrigues, 2000). Em plantas de arroz ocorre aumento nos níveis de silício na planta de acordo com o aumento das doses no solo (Snyder et al., 1986; Datnoff et al., 1991, 1992; Winslow, 1992; Deren et al., 1994; Rodrigues, 2000).

A adição de termofosfato ao solo também se apresenta como boa fonte de Si, mostrando-se bastante satisfatória para a cultura do arroz (Freire et al.,

1985). Outras fontes de silício são o cimento (Snyder et al., 1986) e os resíduos da cultura do arroz, como a palha e a casca (Elawad & Green, 1979).

Na cultura do arroz, recomenda-se silício na forma de termofosfatos magnesianos e escórias de siderurgia, os quais são de grande abundância no estado de Minas Gerais (Fageria et al., 1995; Winslow, 1995).

2.3 Silício nas plantas

Em plantas, apesar de ser constituinte majoritário dos vegetais (Epstein, 1994; Marschner, 1995), o silício não é considerado como elemento essencial, pois suas características não se enquadram nos conceitos de essencialidade estabelecidos por Arnon & Stout (1939). Entretanto, inúmeros benefícios agrônômicos foram atribuídos ao silício, sendo, portanto, considerado como elemento benéfico ou útil para a maioria das plantas superiores (Marschner, 1995; Malavolta, 1980). Plantas das famílias Poaceae, Equisetaceae e Cyperaceae, como a cavalinha (*Equisetum arvense*), possuem altos teores de silício, sendo o elemento considerado essencial para esta cultura (Elawad & Green, 1979). Em animais, é considerado como essencial, por ser constituinte de mucopolissacarídeos em tecidos conjuntivos (Jones, 1978; Nielsen, 1984). Para organismos marinhos, como diatomáceas, radiolárias e silicoflagelados, o silício é essencial na construção de seus exoesqueletos (Werner & Roth, 1983). No ambiente, está presente em quantidades significativas, mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (Werner & Roth, 1983).

Segundo Kondöfer & Datnoff (1995), o crescimento e o aumento da produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, milheto, trigo, etc.) e de algumas espécies de outras famílias botânicas, como em alfafa, feijão, soja, tomate, alface e repolho, têm ocorrido com o aumento da disponibilidade de Si.

Nas culturas do arroz e do trigo, os benefícios do Si estão relacionados ao baixo coeficiente de transpiração com melhor aproveitamento da água, maior teor de clorofila, maior rigidez estrutural dos tecidos com aumento da resistência mecânica das células deixando as folhas mais eretas, aumentando a área fotossintética e a absorção de CO₂. Somam-se a isto, a diminuição do auto-sombreamento e a redução do acamamento, o aumento do número de folhas e do peso da matéria seca e o atraso na senescência. Tudo isso proporciona maior número de espiguetas na panícula e a melhor formação da casca e dos grãos, aumentando o conteúdo de fósforo nos tecidos devido à maior disponibilidade desse elemento no solo e à proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na, o que torna as células mais tolerantes ao excesso desses elementos. Também protege contra estresses bióticos, como a diminuição na incidência de patógenos e no aumento da proteção contra insetos pela formação de uma barreira mecânica (Seo & Ota 1983; Mizuno, 1987; Lee et al., 1990; Lee et al., 1985; Epstein, 1999; Epstein, 1994; Marschner, 1995; Elawad & Green, 1979; Ma & Takahashi, 1990; Savant et al., 1997a; Horiguchi, 1998; Epstein, 1999; Takahashi, 1995; Matoh et al., 1991; Pershin et al., 1995; Adatia & Besford, 1986).

Em plantas de feijoeiro, o Si tem a capacidade de redistribuir o manganês, evitando sintomas de clorose e necrose causados pela acumulação deste elemento na folha (Mengel & Kirkby, 1987). Segundo Miyake & Takahashi (1978, 1983a, 1985, 1986), o silício é essencial para a fertilidade do grão de pólen das flores de tomate, soja, pepino e morango. Em solos salinos, o silício reduz o estresse nas plantas e aumenta a disponibilidade de zinco, principalmente em cana-de-açúcar (Marschner, 1988; Epstein, 1994). Balastra et al. (1989) mencionaram que a redução no conteúdo de silício fornecido ao arroz pela solução nutritiva resultou em maior abertura dos estômatos, menor peso dos

grãos, maior digestibilidade da matéria seca e decréscimo na resistência do colmo.

A deposição de silício ocorre, principalmente, na parede celular, aumentando a rigidez das células (Adatia & Besford, 1986). Células da epiderme ficam mais grossas e com um grau maior de lignificação e ou silicificação (barreira mecânica). Segundo Rush & Lee (1992), a deposição de Si na epiderme exerce a mesma função da camada de cera epicuticular, a qual desfavorece infecções fúngicas. A deposição de silício em folhas de gramíneas C₃ e C₄ foi observada por meio de cortes ultra-estruturais com o auxílio de raio-X, com maior frequência de células contendo silício e células buliformes silicatadas em plantas C₄, quando comparadas com as C₃. Essa maior frequência de depósitos de silício é responsável por uma maior rigidez dos tecidos foliares dessas plantas, tornando-as mais resistentes a fatores abióticos e bióticos. Tais alterações podem aumentar o conteúdo de hemicelulose e lignina, aumentando ainda mais a rigidez da parede celular (Lee, et al., 1990; Adatia & Besford, 1986; Marschner, 1988).

Em algodão, o silício aumentou a resistência das fibras pela formação de complexos com pectina e calose (Boylston et al., 1990). A deposição de silício é mais facilitada que a deposição de lignina, pois um grama de glicose incorpora 0,46g de lignina, enquanto que a mesma quantidade desse açúcar incorpora 12,67g de SiO₂ (Raven, 1983). Resultados encontrados por Inanaga et al. (1995) comprovam que o conteúdo de complexos orgânicos formados entre carboidratos e a lignina aumentam na presença de silício.

Em plantas de pepino, a adição de 100 mg L⁻¹ de silicato de potássio ao meio nutritivo proporcionou aumento no teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e seca), atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas (Adatia & Besford, 1986). O aumento no teor de clorofila e massa foliar foi devido ao aumento, em 50%, da atividade da enzima rubisco, responsável pela

fotossíntese, deixando as plantas mais vigorosas. O fornecimento de Si às plantas aumenta a fotossíntese, e conseqüentemente o ganho em matéria seca (Takahashi et al., 1966; Ma et al., 1989).

O silício absorvido pelas plantas aumenta o volume e a rigidez do parênquima, aumentando o suprimento de oxigênio para as raízes, além de aumentar o poder oxidante das raízes de arroz (Okuda & Takahashi, 1965). Observou-se também que plantas desenvolvidas em solução nutritiva contendo silício produziram maior quantidade de matéria verde, aumentaram a relação P/Fe e P/Mn e promoveram a translocação do fósforo absorvido para a parte aérea e paniculas.

Plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva contendo 100 ppm de SiO₂ apresentaram aumento no teor de clorofila, massa foliar, atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais se mantinham mais horizontais, além de aumentar o teor de proteína e em cerca de 50% a atividade da enzima rubisco-carboxilase (Adatia & Besford, 1986).

Em resumo, a ausência do Si pode ocasionar diminuição da capacidade biológica da planta em resistir às condições adversas do meio ambiente (Rafi et al., 1997).

Na parede celular de plantas de arroz, o Si incorporado é análogo à lignina ou, ainda, pode associar-se com a lignina ou com os complexos lignina-carboidrato (Mengel & Kirkby, 1987). O elemento cálcio combina-se, principalmente, com a hemicelulose e substâncias pécticas na parede celular, quando o Si é encontrado na forma de sílica-gel (Inanaga et al., 1995). O silício pode formar complexos com a lignina, pectinas, anéis aromáticos, ácidos fenólicos e orgânicos, carboidratos da mesma forma que o cálcio, tornando-se forte competidor por sítios de ligação na parede celular da planta (Yoshida et al., 1962).

Rodrigues (2000), padronizando as doses de cálcio no solo, obtiveram correlação negativa entre as concentrações de cálcio e silício na planta. Os menores teores de cálcio foram verificados nas maiores doses de silício.

Quanto à absorção de silício, Jones & Handreck (1967), Miyake & Takahashi (1985) e Miyake (1992) caracterizam as plantas em três tipos de acordo com o teor de Si e razão Si/Ca na matéria seca: i) acumuladoras, com teor elevado de Si, como o arroz; ii) intermediárias, apresentando quantidade considerável de silício, como a cana-de-açúcar, milho, sorgo, cucurbitáceas e algumas dicotiledôneas e iii) não acumuladoras, apresentando baixo teor de Si, como o tomateiro e a maioria das dicotiledôneas. No entanto, diferenças significativas são observadas na absorção de Si com relação à espécie e ao genótipo da planta inoculada, como em plantas de arroz, em que genes aditivos e não aditivos parecem estar envolvidos no mecanismo de absorção do silício (Majunder et al., 1985; Nable et al., 1990).

Em plantas de soja, foram observadas diferenças de até 37% na absorção e translocação de Si, respectivamente, para a parte aérea entre diferentes cultivares (Grothge-Lima, 1998). Em plantas de morango, foram encontradas diferenças marcantes no teor de Si entre as variedades estudadas (Lanning, 1960). A aplicação de silicato de sódio proporciona aumento no teor de silício apenas nas folhas e caule de plantas de sorgo tratadas (Carvalho, 1998).

A absorção de Si da solução do solo para a planta dá-se de forma passiva, sem gasto de energia para a maioria das espécies de plantas (fluxo de massa), acompanhando a absorção de água pela planta na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (Miyake & Takahashi, 1985; Jones & Handreck, 1967) com correlação linear entre a evapotranspiração ($r=0,92$ a $0,99$) e a concentração de ácido silícico na solução do solo (Hutton & Norrish, 1974; Mayland, et al., 1991; Jones & Handreck, 1967). A absorção pode ser também realizada por difusão passiva com um gasto de energia proveniente da respiração aeróbica ou

da glicólise anaeróbica (Takahashi, 1995). O tipo de absorção, ativa ou passiva, depende da espécie vegetal e da concentração de ácido monossilícico na superfície das raízes (Mengel & Kirkby, 1987).

Ao ser absorvido, o Si é facilmente translocado via xilema e tem tendência natural a polimerizar permanecendo no apoplasto (Barber & Shone, 1966; Yoshida, 1965; Hodson & Sangster, 1988). A água absorvida é perdida através da transpiração e o Si fica nos tecidos das plantas. A adição de silício na fase inicial de plantas de trigo e azevém proporcionou rápido transporte do silício para a parte aérea (Jarvis, 1987).

Após a absorção, o silício é depositado nos tecidos da planta, principalmente na parede de células epidérmicas presentes em ambas as superfícies das folhas, na parede de células do xilema, em tricomas, células guardas de estômatos, lamela média e debaixo da cutícula. Em gramíneas, podem ocorrer quantidades consideráveis de Si no apoplasto, sendo chamadas de silicíferas (MA & Takahashi, 1990; Miyake & Takahashi, 1983; Hodson & Sangster, 1988; Balastra et al., 1989; Balastra et al., 1989; Bould et al., 1983; Marschner, 1995). O acúmulo de Si no xilema pode ser importante na prevenção da compressão dos vasos lenhosos, quando as taxas de transpiração são altas ou quando ocorrer alguma injúria nesta estrutura (Raven, 1983). A natureza química do Si depositado é identificada como sílica gel (Yoshida, 1965; Yoshida et al., 1976) ou opala biogênica (sílica amorfa - $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (Lanning, 1960; Jones & Handreck, 1967). Cerca de 90% do silício na planta encontra-se insolúvel na forma de sílica gel ou opala (Parry & Smithson, 1964). É importante salientar que, uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui na planta (Aston & Jones, 1976; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1985; MA et al., 1990). O depósito de SiO_2 é refletido nos maiores pontos de perda de água por transpiração (Jones & Handreck, 1967; Raven, 1983; Takahashi et al., 1990).

A baixa mobilidade do Si na planta foi observada por Chérif & Bélanger (1992). Os autores observaram que as folhas superiores (mais novas) de plantas transferidas para meio pobre em Si apresentaram baixa concentração do elemento.

Em plantas de arroz, a maior parte do Si é depositada nas folhas (71%), seguidas pela casca (13%), pelas raízes (10%) e pelo colmo (6%) (Yoshida, 1975; Elawad & Green, 1979). Miyake & Takahashi (1983) e Miyake & Takahashi (1985) verificaram, que na parte aérea de plantas de pepino e soja, ocorre maior teor de Si em relação às raízes. Esses resultados demonstram que, nestas culturas, o silício se transloca livremente da raiz para a parte aérea. Em plantas de trigo, mais de 94% do Si absorvido foi transportado para a parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velha (Barber e Shone, 1966). Algumas dicotiledôneas, como o tomate, rabanete, repolho, morango, soja e citrus apresentam menor translocação de Si para a parte aérea, retendo este preferencialmente nas raízes (Miyake & Takahashi, 1978; Sangster, 1978; Wutscher, 1989). Miyake & Takahashi (1983a; 1985; 1986) mencionam que a soja e o pepino foram capazes de translocar o Si das raízes para a parte aérea, porém, com menor intensidade que tomateiro e não com tanta eficiência como o arroz.

A deposição de Si nas células epidérmicas ocorre, primeiramente, ao redor da parede externa em plantas de cevada. Inicialmente, os grânulos de silício são formados em toda a parede externa e, posteriormente, estendem-se para o seu interior, sendo também observada a presença de silício nos espaços intracelulares e entre as paredes das células, o que indica que ocorre a translocação de ácido silícico também apoplasticamente dentro da folha (Bennett, 1982). O silício está presente em toda a lâmina foliar de plantas de cevada, exceto na folha bandeira, na qual está presente apenas na epiderme inferior (Hayward & Parry, 1973). Em folhas jovens de trigo, a deposição de

silício também ocorre predominantemente na epiderme inferior, enquanto que, nas folhas maduras, a deposição é mais extensiva em ambas as epidermes (Hodson & Sangster, 1988).

Quanto mais velho estiver o tecido vegetal, maior teor de Si (Jones & Handreck, 1967). Em videiras, teores de silício nas folhas de vários cultivares correlacionam-se com a idade da folha e com a concentração de SiO₂ na solução nutritiva (Blaich & Grundhörfer, 1997).

2.4 Silício no controle de doenças de plantas.

Dentre outras formas de atuação no controle de doenças, o silício pode ser depositado em torno dos sítios de infecção, prevenindo a penetração de patógenos fúngicos ou na expansão de lesões preestabelecidas. Pode também exercer efeito ao se complexar com compostos fenólicos ou lignina, no aumento da síntese, mobilidade e concentração destes no apoplasto (Stumpf & Heath, 1985; Carver et al., 1987). Rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção constitui-se num mecanismo de defesa. A presença de Si solúvel facilita esse mecanismo de resistência (Menzies et al., 1991a). O silício age de forma semelhante à lignina ou suberina, que são depositadas em paredes primárias das plantas, ligando-se aos polissacarídeos para bloquear o avanço de patógenos (Fosket, 1994).

Estudos com silício têm evidenciado a sua importância na ativação de genes que promovem a produção de enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta. Sua aplicação no solo promove a ativação, mais rápida e extensiva dessas enzimas, além de alterar a troca de sinais entre o patógeno e o hospedeiro (Samuels et al., 1991; Chérif e Bélanger, 1992; Heath & Stumpf, 1986; Chérif et al., 1992a; 1992b; 1994a). Genótipos de sorgo resistentes à mosca *Atherigona varisocata* (Diptera: Muscidae) caracterizam-se por maior

lignificação e espessura das paredes celulares e pela presença de alta densidade de armazões de silício na epiderme abaxial da haste das bainhas das folhas (Blum, 1968). Rodrigues et al. (1998) verificaram que o silício reduziu significativamente a severidade da queima-das-bainhas do arroz (*Rhizoctonia solani*) com diferentes níveis de resistência entre as cultivares testadas.

De fato, a resistência de plantas a diversas doenças pode ser estimulada pela adubação silicatada (Jones & Handreck, 1967). Plantas que recebem adubação com silício apresentam variação na composição química, aumento da resistência mecânica celular, da tolerância a estresse abiótico, doenças e aos insetos (Epstein, 1999). Gramíneas são espécies típicas acumuladoras de silício. Porém, o efeito inibitório no desenvolvimento de doenças ocorre em diversas plantas. Dicotiledôneas, como pepino, soja, videira e café mostram bons resultados no manejo de doenças com a adição de silício (Marschner, 1995; Santos, 2002). O acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica são barreiras físicas e químicas efetiva contra a penetração de hifas fúngicas, impedindo a patogênese (Marschner, 1995; Yoshida et al., 1962; Elawad & Green, 1979; Savant et al., 1997a).

Segundo Suzuki et al. (1935), a susceptibilidade de cultivares de arroz a brusone correlaciona-se com a camada de sílica abaixo da cutícula e com o grau de espessamento dessa camada nas células da epiderme. O metassilicato de potássio é utilizado comercialmente na Europa, principalmente por produtores de pepino e de rosa, para o controle de oídio (Bélangier et al., 1995). A adição de silício ao meio, ativa a formação de compostos fenólicos que migram para os sítios de infecção, limitando, dessa forma, a atividade do patógeno. Cultivares de arroz com maior resistência a brusone apresentam maior teor de Si nas folhas e nas panículas (Rabindra et al., 1981).

A adição de Si ao meio induz mecanismos de supressão do patógeno, os quais ainda não estão bem conhecidos. Dois mecanismos são propostos: a)

acúmulo do silício na parede celular impedindo a penetração e crescimento do fungo nos tecidos da planta (Bowen et al., 1992) e b) efeito nos sinais químicos entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em rápida ativação de mecanismos de defesa da planta, como a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e acúmulo de lignina (Samuels et al., 1991; Chérif et al., 1992a; Chérif et al., 1992b; Chérif et al., 1994a; Fawe et al., 1998; Epstein, 1999). De fato, a indução é expressa por reações em cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, responsáveis por limitar a ação do patógeno (Chérif et al., 1994a), o que explica a não especificidade da resistência induzida pelo silício, em vários patógenos.

Nos patossistemas pepino/*Sphaerotheca fuliginea* e *Pythium* spp. e cevada/*Blumeria graminis*, a acumulação de Si no tecido do hospedeiro, nas regiões de contato com o patógeno, é localizada e crescente, e tem sido responsável por aumentar a concentração de compostos relacionados com a patogênese, como fenóis, peroxidases, polifenoxidasas e quitinases nos sítios de infecção estabelecidos por esses patógenos (Carver et al., 1987; Chérif & Bélanger, 1992; Chérif et al., 1994; Menzies et al., 1991; Fawe et al., 1998).

Pepineiros suplementados com 100 ppm de Si na solução nutritiva, apresentaram acentuada acumulação de material eletrodense no tecido hospedeiro infectado por *Pythium ultimum*, com um aumento significativo de células da planta hospedeira impregnadas com este material e o fungo com hifas vazias. O material eletrodense, provavelmente fenóis, também formou camadas ao longo das paredes primárias e secundárias das células e dos vasos do xilema (Chérif et al., 1992a). Apresentou também estímulo na atividade da quitinase em raízes e rápida ativação de peroxidases e polifenoxidasas após a infecção. Essas reações parecem ser constituídas por multicomponentes com resistência talvez associada à ativação de uma seqüência de mudanças bioquímicas associadas (Chérif et al., 1994a). As peroxidases e polifenoxidasas são importantes

precursoras na formação de lignina, a qual é constituída por substâncias de estruturas complexas, macromoléculas tridimensionais de origem fenilpropanoídica com unidades básicas de p-hidroxifenil-propano, guaiacilpropano e siringilpropano, encontradas na maioria das plantas superiores, em concentração mais alta na lamela média (Abreu & Oertel, 1999).

A lignina é um componente importante na resistência de plantas a patógenos, pois limita o seu progresso formando barreira física. Korndörfer & Datnoff (1995) concluíram que o mecanismo de resistência às doenças conferidas pelo silício foi decorrente de sua associação com os constituintes da parede celular, tornando-os menos acessíveis às enzimas de degradação do patógeno. A adição de silício ao meio induz resistência na planta, semelhante àquela chamada de sistêmica adquirida (SAR). Nos dois mecanismos, o potencial de defesa da planta aumenta e é maximizada após a infecção. Entretanto, a resistência induzida pelo silício é rapidamente perdida quando esse nutriente é removido do meio, enquanto a SAR é caracterizada por efeito durável (Fawe et al., 1998). Esta diferença pode ser resultante de propriedades do silício dentro da planta, requerido na forma solúvel, porém, apresentando-se na forma polimerizada dentro da planta.

No patossistema pepino/oidio, Bélanger et al. (1999) observaram que a adição de silício estimulou a expressão de reações de defesa natural da planta. A presença do Si foi responsável pela síntese e o acúmulo de substâncias antifúngicas de baixo peso molecular (semelhantes à fitoalexinas) durante o processo de patogênese (Fawe et al., 1998). Os autores concluíram ainda que este mecanismo de resistência seja semelhante à resistência sistêmica adquirida (SAR) promovida por alguns agentes abióticos.

Lima Filho et al. (1999) relatam que a utilização de silício na proteção de plantas promove uma relação direta entre a deposição de ácido silícico nos sítios de infecção de míldio em plantas de pepino e redução da severidade deste

patógeno. Observou-se silificação das células epidérmicas, agindo como barreira mecânica, o que dificultou a penetração do tubo infectivo do fungo. Em plantas de centeio, Carver et al. (1987) obtiveram resultados semelhantes de controle em folhas colonizadas por *Erysiphe graminis*, tendo a presença de Si também impedido o crescimento do tubo germinativo do fungo. No patossistema cacau/vassoura-de-bruxa, o silício também afetou o crescimento do tubo germinativo dos basidiósporos de *Crinipellis pernicioso* (Nakayama et al., 1999).

Por não se translocar na planta, a obtenção de bons resultados no aumento da resistência de plantas a patógenos requer suprimento contínuo desse elemento à planta. Pepineiros crescendo em solução nutritiva com silicato de potássio (1,7 mM = 100 ppm) apresentaram aumento nas reações de defesa quando inoculadas com conídios de *Sphaerotheca fuliginea*, seis semanas após a germinação (Samuels et al., 1994). O uso de técnicas de microscopia de luz, microscopia eletrônica de varredura acoplada à micro análise de raios-X e análise de imagem nas folhas doentes, possibilitou aos autores observar o silício em papilas, na parede celular do hospedeiro e ao redor do haustório do fungo, constituindo os mecanismos de defesa da planta responsáveis pela deposição de Si e modificação da parede celular durante o processo infectivo. Plantas de pepino infectadas por *Sphaerotheca fuliginea*, quando transferidas para meio contendo Si, apresentaram rápida silificação do tecido foliar, principalmente nas bases dos tricomas e, ao redor dos pontos de infecção, na parede celular e entre esta e a membrana plasmática, proporcionando aumento na resistência ao patógeno. Entretanto, o contrário não foi recíproco, pois a transferência de plantas suplementadas com silício para um meio deficiente neste elemento não manteve a resistência ao fungo e a silificação do tecido hospedeiro ao redor da hifa, apesar da existência de Si residual na base dos tricomas (Samuels et al., 1991; 1993; 1994).

A adição de 100 e 200 ppm de silicato de potássio reduziu significativamente a incidência de *Pythium ultimum* e *Sphaerotheca fuliginea* em pepineiros. Estudos histológicos revelaram acúmulo de material fenólico nas células, o qual é tóxico às estruturas desses fungos (Chérif & Bélanger, 1992), além de reduzir a severidade do oídio (Menzies et al., 1991). Plantas de pepino que receberam aplicação de silício também apresentaram deposição de materiais tóxicos na base dos tricomas e nos halos de infecção. Na região da parede celular ocorreu modificação para impedir a penetração do fungo *Sphaerotheca fuliginea* (Samuels et al., 1991). Redução na mortalidade e intensidade de *Pythium aphanidermatum* em pepineiros ocorreu pela adição de 1,7 mM (100 ppm) de silicato de potássio (Chérif et al., 1994b). A adição de silicato de sódio à solução nutritiva de plantas de pepino proporcionou bom nível de controle do fungo *Sphaerotheca fuliginea*, apresentando menor número de colônias por folha, menor área da colônia e redução no poder germinativo dos conídios (Menzies et al., 1991). A adição de cinzas da casca de arroz no substrato utilizado para cultivo de pepino, boca-de-leão e margarida protegeu as plantas do ataque de oídio e antracnose *Colletotrichum gloeosporioides* (Muir et al., 1999).

Em videiras, a aplicação de silicato de potássio em pulverização proporcionou redução significativa na intensidade de ataque de oídio (*Uncinula necator*) (Bowen et al., 1992; Blaich & Grundhörer, 1998). O controle do oídio foi relacionado com a formação de uma espessa camada de Si na superfície das folhas pulverizadas, impedindo a penetração da hifa do patógeno na epiderme, a qual pode ser observada com o uso de microscopia eletrônica. Esta camada de silício proporcionou uma barreira física e dessa forma, estes autores concluíram que a resistência das plantas pulverizadas com silício depende da translocação do Si e de seu depósito nos sítios de penetração do patógeno.

Efeito inibitório do silício na germinação de conídios de oídio foi verificado por Bowen et al. (1992), com redução de 14% no número de colônias em folhas de videira pulverizadas com 17mM de silicato de potássio, 24 horas após a inoculação do patógeno.

Redução na mortalidade de mudas e na podridão de raízes de pepino causadas por *Pythium ultimum* foi observada quando as plantas receberam solução nutritiva suplementada com 100 ou 200 ppm de silicato de potássio (Chérif & Bélanger, 1992). A resistência induzida pelo silício em plantas de pepino contra *Pythium ultimum* também foi estudada por Chérif et al. (1992), que verificaram a formação de camadas de silício nas células primárias e secundárias e nas cavidades das membranas dos vasos do xilema, as quais apresentaram estreita relação com a resistência ao fungo, atuando como defesa mecânica das plantas. Segundo Miyake e Takahashi (1983b), o controle da murcha de fusário em plantas de pepino pode ser conseguido com a aplicação de 2 a 4 t/ha de silicato de cálcio ou de 2,25 a 4,5 t/ha de silicato de potássio.

O silício controla importantes doenças na cultura do arroz (Volk et al., 1958; Mathai et al., 1977; Elawad & Green, 1979; Datnoff et al., 1991; 1992; 1997; Winslow, 1992; Deren et al., 1994; Savant et al., 1997a; Rodrigues et al., 1998). A incidência e ou severidade de doenças do arroz aumentam em locais em que a disponibilidade de Si é baixa (Barbosa Filho, 1987; Datnoff et al., 1997; Savant et al., 1997a). A severidade da brusone (*Magnaporthe grisea*) e da mancha parda (*Bipolaris oryzae*) do arroz foi reduzida em até 31% e 32%, respectivamente, pela adição de silicato de cálcio (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹) em solo orgânico deficiente em silício (Datnoff et al., 1991). Observou-se também que a severidade dessas doenças foi reduzida nos cultivos posteriores pelos resíduos de silício no solo. Estas doenças tendem a ser reduzidas com o aumento da concentração de Si e da associação deste com constituintes da parede celular,

tornando-a menos acessíveis às enzimas de degradação produzidas por patógenos (Datnoff et al., 1991; Osuma-Canizales et al., 1991).

O agente etiológico da doença conhecida por brusone do arroz possui modo de penetração no hospedeiro por meio da formação de apressórios na cutícula (Hegde & Kolattukudy, 1997), daí a aplicação de silício prolonga o período de incubação do fungo (Seebold, 1998; Rodrigues, 2000). A severidade da escaudadura-das-folhas (*Monographella albescens*), brusone (*Magnaporthe grisea*) e da mancha-dos-grãos (complexo fúngico) em arroz foi reduzida significativamente pela adição de 187 kg/ha de Si na forma de metassilicato de sódio em solo intemperizado, observando-se também a duplicação da difusão da concentração de silício na planta (Winslow, 1992).

Resultados semelhantes no controle da mancha-dos-grãos do arroz também foram observados com a aplicação de silicato de sódio por Yamauchi & Winslow (1989) e pela aplicação de “wollastonita” por Prabhu et al. (1996) e por Korndörfer et al. (1999b). Outras doenças fúngicas da cultura do arroz, como a mancha-estreita (*Cercospora oryzae*) e a podridão-do-colmo (*Sclerotium oryzae*), também já foram controladas pela fertilização silicatada (Savant et al., 1997a). Beni et al. (1999), testando várias escórias de siderúrgica como fonte de Si, verificaram que a severidade da brusone diminuiu exponencialmente com o aumento das suas doses. Datnoff et al. (1992) verificaram que o silicato finamente moído foi mais absorvido pela planta e mais eficiente no controle da brusone, que o mesmo produto de granulometria maior.

A severidade e o comprimento das lesões da queima-das-bainhas do arroz foram reduzidos em 52% e 25%, respectivamente, pela adição de 8 t ha⁻¹ de “wollastonita” (Rodrigues, 2000). Em trabalhos realizados por Rodrigues (2000) avaliando a severidade da queima-das-bainhas em arroz, ocorreu redução da doença com o aumento da doses de wollastonita (0, 2, 4, 6, 8 t/ha) em diferentes cultivares de arroz. Menor valor para número total de lesões (NTL),

foi obtido com a dose de 7.3 t ha⁻¹. Esse resultado foi atribuído não apenas à formação de barreira física abaixo da epiderme, mas também há uma possível indução dos mecanismos de resistência no hospedeiro. Resultados semelhantes também foram encontrados por Mathai et al. (1977) e Datnoff et al. (1990), com a aplicação de 250 a 500 kg/ha de Si no controle da queima-das-bainhas do arroz. Noutros experimentos, a aplicação de silicato de cálcio reduziu significativamente a severidade da queima-das-bainhas em cultivares de arroz, exibindo diferentes níveis de resistência (Rodrigues et al., 1998; Bollich et al., 1999). A aplicação de Benomyl, em comparação com a adubação silicatada (2 t ha⁻¹ de silicato de cálcio) na incidência da brusone no arroz, não apresentou diferenças significativas, com 73% de incidência na testemunha, 27% nas plantas tratadas com benomyl e 36% nos tratamentos com silício (Datnoff et al., 1997). Resultados semelhantes também foram observados por Datnoff & Sydner (1994) e Kumbhar et al. (1995) com a aplicação de 400 kg/ha de silício. Seebold (1998), aplicando 500 kg/ha de Si, reduziu a severidade da brusone nas folhas e no pescoço da bainha em 40% e 72% respectivamente. Experimentos com a aplicação de 400 a 1.000 kg/ha de Si reduziram a severidade da brusone entre 10% e 60%, dependendo da localização dos ensaios e da dose de silício. Controle da escaldadura-das-folhas e da brusone do arroz também foi obtido por Correa-Victoria et al. (1994), reduzindo de 26% e 53%, respectivamente, a severidade destas doenças para 15%, com a aplicação de metassilicato de sódio.

O controle de várias doenças em cultivos hidropônicos é facilmente conseguido com a adição de Si na solução nutritiva, bem como em outros cultivos protegidos com aplicação por pulverização. Nestas condições a aplicação de silicato de potássio aumentou significativamente o período latente de *Sphaerotheca fuliginea* em folhas de abóbora, além de reduzir o número de colônias desse fungo na planta (Menzies et al., 1992).

Plantas de soja cultivadas em solução nutritiva apresentaram redução linear na intensidade do cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*) até a adição de 40 ppm de Si, com redução de até 90% das lesões ocasionadas pelo fungo (Lima, 1998).

Em cultivos protegidos com roseira na Europa é freqüente o uso de silicato de cálcio e de sódio para o controle de oídio e de lesões no caule causadas por *Botrytis cinerea* (Bélanger et al., 1995).

Em trabalhos realizados com cafeeiros inoculados com cercospora (*Cercospora coffeicola*), Santos (2002) obteve bons resultados no manejo desta doença pela aplicação de silicato de sódio. Verificou-se redução na área abaixo da curva de progresso do total de lesões (AACPTL) e aumento na área foliar total pela aplicação de 0,84 g de SiO₂ por kg de substrato. As doses de silicato (SiO₂) influenciaram tanto a área abaixo da curva de progresso do número de plantas doentes (AACPPD) como a concentração de lignina nas folhas. Observou-se decréscimo linear para AACPPD e aumento na concentração de lignina até a dose de 0,52 g de SiO₂. O teor de SiO₂ no caule apresentou aumento na concentração do elemento a partir de 0,52g de SiO₂. A partir do momento em que o silício aumentou sua concentração no caule, reduzindo a translocação para a folha, a síntese de lignina caiu. Os melhores resultados obtidos com silicato de sódio em relação ao silicato de cálcio são explicados pela maior solubilidade deste produto. Dessa forma, o Si é mais facilmente absorvido sendo translocado via xilema para outras partes da planta.

Estes resultados indicam que a adição de silício em algumas espécies de plantas apresentará maior correlação com patógenos que ataquem o sistema radicular como nematóides, fungos e insetos de solo. O característico acúmulo do Si no sistema radicular de algumas plantas poderá aumentar a resistência dos tecidos desse órgão a pragas, fungos de solo e aos nematóides, o que ainda precisa de estudos. O maior teor de sílica nas raízes de cultivares de arroz

resistentes a *Meloidogyne graminicola* foi correlacionado com a resistência dessas cultivares a esse patógeno (Swain & Prasad, 1988). Contudo é necessário aprofundar esses estudos para definir o papel do silício na resistência ou tolerância de diversas espécies de plantas a fitonematóides.

3 OBJETIVOS

Avaliar a penetração, ontogenia e reprodução dos nematóides das galhas e os danos no sistema radicular de plantas de feijão, tomate e café, em função da aplicação de silicato de cálcio e de potássio em diferentes dosagens e épocas de inoculação desses patógenos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. S. dos; OERTEL, A. C. da. Estudo químico da lignina da *Paulinia rubiginosa*. *Cerne*, Lavras, v. 5, n. 1, p. 52-60, 1999.

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, London, v. 58, n. 3, p. 343-351, Sept. 1986.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA. 1992. 62 p. (Boletim Técnico, 6).

AMARAL, D. R. do; OLIVEIRA, D. F. de; CARVALHO, D. A. de; CAMPOS, V. P. Controle do Nematóide das Galhas (*Meloidogyne exigua*) em café (*Coffea arabica*) através da utilização de extratos de plantas antagonicas a fitonematóides. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 16., 2000. Uberlândia. Resumos... Uberlândia: SBQ, 2000.

AMARAL, D. R.; MARANI, A.; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P. Purificação de substância nematocida de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. Resumos... Caxambu: PROCAFE, 2002 p. 252-254.

AMARAL, D. R.; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P.; CARVALHO, D. A. de. Efeitos de Extratos Vegetais Sobre a Motilidade, Mortalidade e Patogenicidade de *Meloidogyne exigua*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. Resumos... Vitória: [s.n.], 2001. p. 79.

AMARAL, D. R.; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P.; CARVALHO, D. A. de. Obtenção de novos produtos de origem vegetal para controle do nematóide das galhas (*Meloidogyne exigua*) em Café (*Coffea Arabica* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 24., 2001, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: SBQ, 2001.

AMARAL, D. R.; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P.; CARVALHO, D. A. de. Efeito de extratos vegetais na motilidade, mortalidade e patogenicidade de *Meloidogyne exigua* do cafeeiro. *Nematologia Brasileira*, 2004. No prelo.

AMARAL, D. R.; ROCHA, F. E. da; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P. Purificação de substâncias tóxicas ao nematóide das galhas (*Meloidogyne exigua*, Goeldi, 1887) produzidas por cebola (*Allium cepa* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 25., 2002, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: [s. n.], 2002. p. 93.

ANDERSON, D. L.; SNUDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. *Agronomy Journal*, Madison, v. 83, n. 5, p. 870-874, 1991.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 14, p. 371-375, 1939.

ASTON, M. J.; JONES, M. M. Study of the transpirational surfaces of *Avena sterilis* L. var. Algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement. *Planta*, Berlin, v. 130, n. 2, p. 121-129, 1976.

ATIBALENTJA, N.; NOEL, G. R.; DOMIER, L. L. Phylogenetic position of the North American isolate of *Pasteuria* that parasites the soybean cyst nematode *Heterodera glycines*, as inferred from 16S rDNA sequence analysis. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, London, v. 50, p. 605-613, 2000.

BAEZA-ARAGÓN, C. A. Parasitismo de *Bacillus penetrans* en *Meloidogyne exigua* en *Coffea arabica*. **Cenicafé, Chinchiná**, v. 29, n. 3, p. 24-27, Jul./Set. 1978.

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

BEAUDOIN-EAGAN, L. D.; THORPE, T. A. Tyrosine and phenilalanine ammnia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. **Plant Physiology**, Rockville, v. 78, p. 438-441, 1985.

BÉLANGER, R. R., FAWE, A., MENZIES, J. G. The mode of action of silicon as a disease preventing agent in cucumber. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE**, 1., 1999, Fort Lauderdale. **Proceedings...** Fort Lauderdale, Florida: University of Florida, 1999. p. 6.

BÉLANGER, R. R.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, 1995.

BENNETT, D. M. An ultrastructural study on the development of silicified tissue in the leaf tip of barley (*Hordeum sativum* Jess). *Annals of Botany*, London, v. 50, n. 2, p. 229-237, Aug. 1982.

BERNI, R. F.; PRABHU, A. S.; FILIPPI, M. C. Avaliação do efeito de escórias silicatadas sobre a brusone nas folhas de arroz. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 2, p. 267, 1999.

BLAICH, R.; GRUNDHORFER, H. The influence of silica fertilization on the resistance of grapevines to powdery mildew. *Vitis*, Germany, v. 37, n. 1, p. 21-26, 1998.

BLAICH, R.; GRUNDHORFER, H. Uptake of silica by grapevines from soil and recirculating nutrient solutions. *Vitis*, Germany, v. 36, n. 4, p. 161-166, 1997.

BLUM, A. Anatomical phenomena in seedlings of sorghum varieties resistant to the sorghum-fly *Atherigona varia soccata*. *Crop Science*, Madison, v. 8, p. 388-391, May/June 1968.

BOLLICH, P. K.; ROBICHAUX, C. R.; GROTH, D. E.; OARD, J. H. Silicon use in Louisiana rice: potential improvements in disease management and grain yields. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 1., 1999, Fort Lauderdale. *Proceedings...* Fort Lauderdale, Florida: University of Florida, 1999. p. 37.

BOULD, C.; HEWITT, E. J.; NEEDHAN, P. *Diagnosis of mineral disorders in plants: principles*. London: HMSO, 1983. v. 1, 174 p.

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

BOYLSTON, E. K., HERBERT, J. J., HERSARLING, T. P., BRADOW, J. M.; TIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 13, p. 131-148, 1990.

BRADY, N. C. *The nature and properties of soils*. 10. ed. New York: Macmillan, 1992. 750 p.

BROWN, S. M.; KEPNER, J. L.; SMART JUNIOR, G. C. Increase crop yields following application of *Bacillus penetrans* to field plots infested with *Meloidogyne incognita*. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 17, n. 4, p. 483-486, Jul./Aug. 1985.

BROWN, S. N.; NORDMEYER, D. Synergistic reduction in root galling by *Meloidogyne javanica* with *Pasteuria penetrans* and nematicides. *Revue Nematol*, Montrouge Cedex, v. 8, n. 3, p. 285-286. 1985.

BROWNLEADER, M. D.; HOPKINS, J.; MOBASHERI, A.; DEY, P. M.; JACKSON, P.; TREVAN, M. Role of extrinsic peroxidase in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedling growth. *Planta*, v. 210, p. 668-676, 2000.



CAMPOS, H. D.; CAMPOS, V. P.; RIBEIRO, L. O.; CAMPOS, J. R. Efeito de exsudato radicular de *Brachiaria decumbens* sobre a eclosão e mobilidade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne javanica*. **Fitopatologia Brasileira**, Recife, v. 27, p. 185-186, 2002. Suplemento.

CAMPOS, V. P. Perspectivas do controle biológico de nematóides. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 172, p. 26-30, 1992.

CAMPOS, V. P.; LIMA, R. D.; ALMEIDA, V. F. Nematóides parasitas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 50-58, jun. 1985.

CAMPOS, V. P.; SOUZA, J. T.; SOUZA, R. M. Controle de fitonematóides por meio de bactérias. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 6, p. 285-327, 1998.

CANNING, E. U. Protozoal parasites as agentes for biological control of plant-parasitic nematodes. **Nematropica**, Quincy, v. 19, n. 3, p. 342-348, 1973.

CARNEIRO, R. M. D. G.; RANDING, O.; FREITAS, L. G.; DICKSON, D. W. Attachment of endospores of *Pasteuria penetrans* to males and juveniles of *Meloidogyne* spp. **Nematology**, Lakeland, v. 1, p. 267-281, 1999.

CARVALHO, S. P. Efeito do silício na indução de resistência do sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae). 1998. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CAVER, T. L. W.; ZEYEN, R. J.; AHLSTRAND, G. G. The relationship between insoluble silicon end success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germplings on barley. **Physiological and Molecular Pathology Plant**, London, v. 31, p. 133-147, 1987.

CHEN, Z. X.; DICKSON, D. W. Review of *Pasteuria penetrans*: Biology Ecology, and Biological Control Potential. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 30, n.3, p. 313-340, Sept. 1998.

CHEN, Z. X.; DICKSON, D. W.; McSORLEY, R.; MITCHELL, D.J.; HEWLLET, T. E.. Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 28, n. 2, p. 159-168, 1996.

CHEN, Z. X.; DICKSON, D. W.; McSORLEY, R. MITCHELL, D. J.; HEWLLET, T. E. Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 28, n. 2, p. 159-168, 1996.

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

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

CHÉRIF, M.; MENZIES, J. G.; BENHAMU, N.; BÉLANGER, R. R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, p. 371-375, 1992.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 84, n. 3, p. 236-242, 1994.

CIANCIO, A.; BONSIGNORE, R.; VOVLAS, N.; LAMBERTI, F. Host records and morphometrics of *Pasteuria penetrans* group parasites of nematodes. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 63, n. 3, p. 260-267, May 1994.

CONSELHO, M. A. B.; OLIVEIRA, D. F. de; COIMBRA, J. L.; CAMPOS, V. P.; BARREIRA, M. E. S. Rizobactérias produtoras de antibióticos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 25., 2002, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: SBQ, 2002. p. 43.

CORREA-VICTORIA, F. J.; DATNOFF, L. E.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; FRIESSEN, J. I.; SANZ, J.; SNYDER, G. H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils of Colombia. II Diseases and grain quality. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9., 1994, Goiânia. Resumos... Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1994. p. 65.

COSTA, M. J. N.; CAMPOS, V. P.; OLIVEIRA, D. F. de. Toxicidade de Extratos Vegetais e de Estercos Animais a *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathologica**, v. 27, n. 2, p. 229-239, 2001.

COSTA, M. J. N.; CAMPOS, V. P.; PFENNING, L. H.; OLIVEIRA, D. F. de. Patogenicidade e Reprodução de *Meloidogyne incognita* em Tomateiros (*Lycopersicon esculentum*) com Aplicação de Filtrados Fúngicos ou Extratos de Plantas e de Estercos Animais. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 24, n. 2, p. 219-226, 2000.

CUNHA, F. R. da; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P. Identificação de Extratos Vegetais com Propriedades Nematicidas. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 15., 2001, Belo Horizonte, Resumos.... Belo Horizonte: SBQ, 2001. p. 42.

DATNOF, L. E.; SNYDER, G. H. Comparison of silicon and benomyl alone and in combination for reducing blast incidence. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, St. Paul, v. 9, p. 113, 1994.

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

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Evaluation of calcium silicate slang and nitrogen on brown spot, neck rot ,and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, St. Paul, v. 5, p. 65, 1990.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. *Plant Disease*, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1182-1183, 1992.

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

DAUDI, A. T.; GOWEN, S. R. The potential for managing root-knot nematodes by use of *Pasteuria penetrans* and oxamil. *Nematologia Mediterranea*, Barri, v. 20, n. 2, p. 241-244.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Science*, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, 1994.

DICKSON, D. W.; MITCHELL, D. J.; HEWLETT, T. E.; OOSTENDORP, M.; KANNWISCHER-MITCHEL, M. E. Nematode suppressive soil from a peanut field. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 23, n. 4, p. 526. 1991. Abstract.

DUBE, B. N.; SMART JUNIOR., G. C. Biological control of *Meloidogyne incognita* by *Pacilomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans*. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 19, n. 2, p. 222-227, Apr. 1987.

DUTKY, E. M.; SAYRE, R. M. Some factors affecting infection of nematodes by the bacterial spore parasite *Bacillus penetrans*. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 10, n. 4, p. 285, Oct. 1978.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Alqueive úmido no controle de *Meloidogyne incognita* em cultivo protegido. 2002 a. No prelo.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Manejo do solo e da água na população de *Meloidogyne javanica* do quiabeiro no campo. 2002 c. No prelo.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Manejo do solo e da irrigação como nova tática de controle de *Meloidogyne incognita* em feijoeiro. 2002 b. No prelo.

DUTRA, M. R. Manejo do solo e da água no controle de nematóides de galhas (*Meloidogyne* sp.) e estudos “In Vitro” da temperatura e umidade na infectividade desses patógenos. 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ELAWAD, S. H.; GREEN, V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *II Riso*, Milano, v. 27, n. 3, p. 235-253, 1979.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academic Science*, Fort Lauderdale, v. 91, p. 11-17, 1994.

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

FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A. S.; BABOSA FILHO, M. P.; FILIPPI, M. C. Seja o doutor do seu Arroz. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 4. p. 1-20, 1995.

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

FOSKET, D.E. *Plant growth and development; a molecular approach*. San Diego: Academic Press, 1994. 580 p.

FOX, R. L.; SILVA, J. A. Symptoms of plant malnutrition: silicon, and agronomically essential nutrient for sugarcane. In: *Illustrated concepts in tropical agriculture*. Agriculture and Human Resources University of Hawaii, n. 8, 1978.

FREIRE, F. M.; NOVAIS, R. F.; SOARES, P. C. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado, *Revista Ceres*, Lavras, v. 32, n. 170, p. 162-169, 1985.

FREITAS, L. G.; DICKSON, D. W.; MITCHELL, D. J.; McSOREY, R. Supressão de *Meloidogyne arenaria* por *Pasteuria penetrans* no campo. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v. 24, n. 2, p. 147-156, 2000.

FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; CORREA, F. J.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils of Colombia. II Evidence of a major yield constraint. In: *CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE*, 9., 1994, Goiânia. *Resumos...* Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1994. p. 67.

GARRITY, D. P., MAMARIL, C. P., SOEPARDI, G. Phosphorus requirements and management in upland rice-based cropping systems. In: SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 2., 1989, Philippines. *Proceedings...* Philippines, International Rice Research Institute, 1989. p. 333-347.

GASCHO, G. J. Silicon sources for agriculture. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 1., 1999, Fort Lauderdale. *Proceedings...* Fort Lauderdale, 1999. p. 8.

GIANNALOU, I. O.; PEMBROKE, B.; GOWEN, S. R.; DAVIES, K. G. Effects of long term storage and above normal temperatures on spore adhesion of *Pasteuria penetrans* and infection of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Nematologica*, Leiden, v. 43, n. 2, p. 175-192, Mar. 1997.

GIBLIN-DAVIS, R. M.; McDANIEL, L. L.; BILZ, F. G. Isolates of *Pasteuria penetrans* group from phytoparasitic nematodes in bermudagrass turf. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 22, n. 4, p. 750-762, Oct. 1990. Suplemento.

GROTHGE-LIMA, M. T. Interrelação 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, 1998.

HALAIG, P.; PARISH, D. H. Silica and manganese contents of cane leaf sheaths in relation to soil and nutrition. *Annals of the Republic Mauritius Sugars Industry*, v. 37, p. 74-76, 1963.

HAYWARD, D. M.; PARRY, D. W. Electron-probe microanalysis studies of silica distribution in barley (*Hordeum sativum* L.) *Annals of Botany*, London, v. 37, p. 579-591, 1973.

HEATH, M. C.; STUMPF, M. A. Ultrastructural observations of penetration sites of the cowpea rust fungus in untreated and silicon depleted French bean cells. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, London, v. 29, n. 1, p. 27-39, 1986.

HEGDE, Y.; KOLATTUKUDY, P. E. Cuticular waxes relieve self-inhibition of germination and appressorium formation by the conidia of *Magnaporthe grisea*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, London, v. 51, n. 2, p. 75-84, 1997.

HO, D. Y.; ZANG, H. L.; ZHANG, X. P. On the silicon supplying ability of some important paddy soils in South China. In: SYMPOSIUM ON PADDY SOIL, 5., 1980, Nanjing. *Proceedings...* Nanjing, China, 1980. p. 95.

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. 463-481, Nov. 1988.

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. *Soils Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 34, n. 1, p. 65-83, 1988.

HUTTON, J. T.; NORRISH, K. Silicon content of wheat husks in relation to water transpired. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 25, n. 2, p. 203-212, Mar. 1974.

IMAIZUMI, K.; YOSHIDA, S. Edaphology studies on silicon supplying power of paddy soils. **Bulletin National Institute Agriculture Science**, Tokyo, n. 8, p. 261-304, 1958.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n. 1, p. 111-117, 1995.

JARVIS, S. C. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 97, n. 3, p. 429-437, 1987.

JATALA, P. Biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 24, p. 453-489, 1986.

JIANG, D.; ZEYEN, R. J.; RUSSO, V. Silicon enhances resistance of barley to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*). **Phytopathology**, Palo Alto, v. 79, p. 1198, 1989.

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

JONES, L. H. P. Mineral components of plant cell walls. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 31, p. 94-98, 1978.

KIM, C. K.; LEE, S. C. Reduction of the incidence of rice neck bruzone by integrated soil improvement practice. **Korean Journal of Plant Protection**, Suweon, v. 21, p. 10-15, 1982.

KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e de arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-3, jun. 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; CORRÊA, G.F. Influence of silicon on grain discoloration and upland rice grown on four savanna soils from Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 1, p. 93-102, 1999.

KUMBHAR, C. T.; NEVASE, A. G.; SAVANT, N. K. Rice hull applied to soil reduces leaf blast incidence. **International Rice Research Notes**, Lõs Banos, v. 20, n. 1, p. 23-24, 1995.

LANNING, F. C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 76, p. 349-358, 1960.

LEE, D. B.; KWON, T. O.; PARK, K. H. Influence of nitrogen and silica on the yield and the lodging related traits of paddy rice. **Research Report of the Rural Development Administration**, Korea, v. 32, p. 15-23, 1990.

LEE, K. S.; AHN, S. B.; RHEE, G. S.; YEON, B. Y.; PARK, J. K. Studies of silica application to nursery beds on rice seedling growth. **Farm Product Utilization**, Korea Republic, v. 27, n. 1, p. 23-27, 1985.

LEITE, P. C. **Interação Silício-Fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 87 p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LEUSCH, H. J.; BUCHENAUER, H. Effect of soil treatments with silica-rich lime fertilizers and sodium trisilicate on the incidence of wheat by *Erysiphe graminis* and *Septoria nodorum* depending on the form of N-fertilizer. **Journal of Plant Disease and Protection**, v. 96, p. 154-172, 1989.

LIMA FILHO, O. F.; GROTHGE-LIMA, M. T. G de; TSAI, S. M. O Silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, jun. 1999.

LIMA, M. T. G. **Interrelação 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, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley, 1979. p. 51-55.

MA, J.; NISCHIMURA, K.; TAKAHACHI, E. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 35, n. 3, p. 347-356, 1989.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice a P-deficient soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 126, p. 151-155, 1990.

- MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, The Hague, v. 126, p. 115-119, 1990.
- MADULU, J. D.; TRUDGILL, D. L.; PHILLIPS, M. S. Rotational management of *Meloidogyne javanica* and effects on *Pasteuria penetrans* and tomato and tobacco yields. **Nematologica**, Leiden, v. 40, p. 438-455, 1994.
- MAITI, R. K.; REMAIAAH, K. V.; BISEN, S. S.; CHIDLEY, V. L. A comparative study of the the haustorial development of *Striga asiatica* (L.) Kuntze on *Sorghum* cultivars. **Annals of Botany**, London, v. 54, p. 447-457, 1984
- MAJUNDER, N. D.; RAKSHIT, S. C.; BORTHAKUR, D. N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 88, p. 449-453, 1985.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 251 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MANKAU, R.; IMBRIANI, J. L. The life cycle of na endoparasite in some tylenchide nematodes. **Nematologica**, Leiden, v. 21, n. 1, p. 89-94, 1975.
- MANKAU, R. *Bacillus penetrans* n. comb. causing a virulent disease of plant-parasitic nematodes. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 26, n.3, p. 333-339, Nov. 1975.

MANKAU, R. Biological control of nematodes pests by natural enemies. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 18, p. 415-440, 1980.

MARANI, Á.; AMARAL, D. R. do; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P. Estudos iniciais visando à obtenção de substâncias nematicidas de guandú. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEERIAS, 28., 2002, Caxambu. Resumos... Caxambu: [s.n.], 2002. p. 221-222.

MARANI, Á.; AMARAL, D.R.; OLIVEIRA, D.F. de; CAMPOS, V.P. Fracionamento do extrato de guandú (*Cajanus cajan* L.) Mill.) direcionado por testes in vitro com *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 25., 2002, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: [s.n.], 2002. p. 24.

MARSCHINER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887 p.

MARSCHINER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1988. p. 436-460.

MATHAI, G.; PAILY, P. V.; MENON, M. R. Effect of fungicides and silica in the control of sheath blight disease of rice caused by *Corticium sasakii* (Shirai). **Agricultural Research Journal of Kerala, India**, v. 19, n. 1, p. 79-83, 1977.

MATHAI, G.; PAILY, P. V.; MENON, M. R. Effect of fungicides and silica in the control of sheath blight disease of rice caused by *Corticun sasakii* (Shiriai). **Agricultural Research Journal of Kerala**, v. 19, p. 79-83, 1978.

MATOH, T.; MURATA, S.; TAKARASHI, E. Effect of silicate application on photosynthesis of rice plants. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 63, n. 3, p. 248-251, 1991.

MAXIMINIANO, C.; CAMPOS, V. P.; SOUZA, R. M. Efeito de Enzimas na Adesão de Endósporos, e de Raças de *Meloidogyne incognita* na Infectividade de *Pasteuria penetrans*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 27-34. 2001c.

MAXIMINIANO, C.; CAMPOS, V. P.; SOUZA, R. M. Efeito de Solo Argiloso e Substratos Orgânico e Mineral na Adesão de Endósporos de *Pasteuria penetrans*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 15-20. 2001a.

MAXIMINIANO, C.; CAMPOS, V. P.; SOUZA, R. M.; ALMEIDA, R. A. Efeito do pH e Filtrados Bacterianos na Adesão de Endósporos de *Pasteuria penetrans*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 21-26. 2001b.

MAYLAND, H. F.; WRIGHT, J. L.; SOJKA, R. E. Silicon accumulation and water uptake by wheat. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 137, n. 2, p. 191-199, Nov. 1991.

McKEAGUE, J.; CLINE, M. G. Silica in soils in. **Advances in Agronomy**, Orlando, v. 15, p. 339-396, 1963

MELKI, K. C.; GIANNAKOU, I. O.; PEMBROKE, B.; GOWEN, S. R. The cumulative build-up of *Pasteuria penetrans* spores in root-knot nematode infested soil and the effect of soil applied fungicides on its infectivity. **Fundamental and Applied Nematology**, Montrouge Cedex, v. 21, n. 6, p. 679-683, 1998.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987. p. 557-582.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWARD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 2, p. 84-88, 1991b.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; SAMUELS, A. L. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *cucumis sativus*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 39, p. 403-414, 1991a.

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

MINTON, N. A.; SAYRE, R. M. Supressive influence of *Pasteuria penetrans* in Georgia soil on reproduction of *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Nematology**, v. 21, n. 4, p. 574-575. Abstract.

MIRANDA, T. R.; N. MARBÁN-MENDOZA. *Pasteuria penetrans*: adherencia y parasitismo en *Meloidogyne incognita* y *Meloidogyne arabicida*. *Nematropica*, Quincy, v. 29, n. 2, p. 233-240, 1999.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 32, n. 3, p. 321-326, 1986.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Science and of Plant Nutrition*, Tokyo, v. 29, n. 1, p. 71-83, 1983a.

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

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

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effects of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 29, n. 5, p. 463-471, 1983b.

MIYAKE, Y. The effect of silicon on the growth of the different groups of rice (*Oriza sativa* L.) plants. *Science Rep. Faculty of Agriculture, Okayama*, v. 8, p. 101-105, 1992.

MIZUNO, N. Effects of silica on hull weight and ripening of rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 9, p. 2159, 1987.

MUIR, S.; KHOO, C.; McCABE, B.; FENSON, G.; OFFORD, C.; BRIEN, J.; SUMMERELL, B. Some effects of silicon in potting mixes on growth and protection of plants against fungal diseases. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 1., 1999, Fort Lauderdale. Proceedings...** Fort Lauderdale, Florida: University of Florida, 1999. p. 18.

NABLE, R. O.; LANCE, R. R. M.; CARTWRIGHT, B. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. **Annals of Botany**, v. 66, p. 83-90, 1990.

NAKAYAMA, L. H. I.; ANDEBHRAN, T.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon and *Theobroma cacao*. In: **SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 1., 1999, Fort Lauderdale. Proceedings...** Fort Lauderdale, Florida: University of Florida, 1999. p. 19.

NARWAL, R. P. Silica bodies and resistance to infection in jowar (*Sorghum vulgare Perc.*) **Agra University Journal of Research**, v. 22, p. 17-20, 1973.

NIELSEN, F. H. Ultratrace elements in nutrition. **Annual Review of Nutrition**, v. 4, p. 21-41, 1984.

NOVARETTI, W. R. T. Controle biológico de nematóides fitopatogênicos. In: **BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA, 1991. Cap. 18, p. 273-283.**

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The role of silicon. In: The mineral nutrition of the rice plant. In: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1964, Baltimore. The mineral nutrition of the rice plant... Baltimore: The Johns Hopkins, 1965. p. 123-146.

OLIVEIRA, D. F. de; AMARAL, D. R. do; CARVALHO, D. A. de; CAMPOS, V. P. Controle do Nematóide das Galhas (*Meloidogyne exigua*) em Café (*Coffea arabica*) através da Utilização dos Extratos de Plantas Antagônicas a Fitonematóides. In: ENCONTRO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 14., 2000, Uberlândia. Resumos... Uberlândia: SBQ, 2000.

OLIVEIRA, D. F. de; AMARAL, D. R.; ROCHA, F. E. da; CAMPOS, V. P. Purificação de substância fúngica tóxica ao nematóide das galhas (*Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 28., 2002, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: SBQ, 2002. p. 5.

OLIVEIRA, D. F. de; COSTA, M. J. N. da; AMARAL, D. R.; CAMPOS, V. P. ; CARVALHO, D. A. de. Estudo Inicial Visando ao Controle do Nematóide das Galhas (*Meloidogyne spp*) Através da Utilização dos Extratos de Plantas Antagônicas a Fitonematóides. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 23., 2000, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas, SBQ, 2000.

OLIVEIRA, D. F. de; COSTA, M. J. N. da; CAMPOS, V. P.; PFENNING, L. H. Efeito de Suspensões Orgânicas, de Filtrados Fúngicos e Esterco à *Meloidogyne incognita*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22., 2000, Uberlândia. Resumos... Uberlândia: UFU/ICIAG, 2000. p. 125-125.

OLIVEIRA, D. F. de; COSTA, M. J. N.; AMARAL, D. R.; CAMPOS, V. P. Efeito de Extratos Vegetais na Mobilidade de Juvenis do Segundo Estádio de *Meloidogyne* spp. In: ENCONTRO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 13., 1999, São João Del Rei. Resumos... São João Del Rei, SBQ, 1999. p. 151.

OLIVEIRA, D. F. de; PANTALEÃO, J. A.; AMARAL, D. R.; MARANI, Á.; CAMPOS, V. P. Purificação de substâncias de origem rizobacteriana com ação tóxica sobre *Meloidogyne exigua*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. Resumos... Caxambu: PROCAFÉ, 2002. p. 263-264.

OLIVEIRA, D. F. de; SILVA, G. H.; SALGADO, S. M. L.; CAMPOS, V. P.; DUARTE, N. F. Ação do Extrato de Alho (*Allium sativum*) contra o Nematóide das galhas do cafeeiro (*Meloidogyne exigua*). In: ENCONTRO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 13., 1999, São João Del Rei. Resumos... São João Del Rei: SBQ, 1999. p. 150-150.

OLIVEIRA, D. F. de; SILVA, G. H.; PFENNING, L. H.; COSTA, M. J. N. da; CAMPOS, V. P. Estudos Iniciais Visando à Obtenção de Novos Nematicidas a Partir de Filtrados Fúngicos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. 23., 2000, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: SBQ, 2000.

OOSTENDORP, M.; DICKSON, D. W.; MITCHELL, D. J. Host range and ecology of isolates of *Pasteuria* spp. From The Southeastern United States. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 22, n. 4, p. 525-531, Oct. 1990.

OOSTENDORP, M.; DICKSON, D. W.; MITCHELL, D. J. Population development of *Pasteuria penetrans* on *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 23, n. 1, p. 58-64, Jan. 1991.

OSUNA-CANIZALES, F. J.; deDATTA, S. K.; BONMAM, J. M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to brusone disease of rice. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 135, p. 223-231, 1991.

PARRY, D. W.; SMITHSON, F. Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. *Annals of Botany*, London, v. 28, n. 109, p. 169, 1964.

PERSHIN, B. M., PERSHINA, A. N., EGORINA, L. M. Phenolic compounds as regulators of gene expression in plant-microbe interaction. *Molecular Plant Microbe Interactions*, v. 3, p. 4-8, 1990.

PIAU, W. C. Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.). 1995. 124 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

PRABHU, A. S., BARBOSA, M. P.; FILLIPI, M. C.; DYNIA, J. F. Influência da fertilização com sílica sobre a mancha de grãos em arroz. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 405, 1996.

RAFI, M. M., EPSTEIN, E.; FALK, R. H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Physiology**, v. 151, p. 497-501, 1997.

RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop Protection**, v. 11, n. 1, p. 84-88, 1992.

RAIJ, B. Van; CAMARGO, O. A. Silica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 11, p. 223-236, 1973.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 58, n. 3, p. 179-207, 1983.

ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito de filtrados fúngicos na adesão de endósporos de *Pasteuria penetrans* e na infectividade e parasitismo de juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 24, n. 2, p. 239-244, 2000.

ROCHA, F. E. da; AMARAL, D. R.; OLIVEIRA, D. F. de; CAMPOS, V. P. Purificação de substância nematocida de arruda (*Ruta graveolens* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 25., 2002, Poços de Caldas. Resumos... Poços de Caldas: SBQ, 2002. p. 25.

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

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; RUSH, M. C.; SEEBOLD, K. W.; LISCOMBRE, S. D. Effects of calcium silicate and resistance on the development of sheath blight in rice. In : RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998, Reno. Proceedings... Reno: Agricultural Experiment Station, 1998. p. 142.

ROY, A. C.; ALI, M. V.; FOX, R. L.; SILVA, J. A. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latossols. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, 1971, Honolulu. Proceedings... New Delhi: [s. n.], 1971. p. 756-765.

RUSH, M. C.; LEE, F. N. Sheath blight. In: WEBSTER, R. K.; GUNNELL, P. S. (Eds.). *Compendium of rice disease*. St. Paul: [s. n.], 1992. p. 22-23.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L., MENZIES, J. G. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. *Annals of Botany*, v. 72, n. 5, p. 433-440, 1993.

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

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

SANGSTER, A. G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, New York, v. 49, n. 9, p. 929-935, 1978.

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

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant-available silicon in soils : a possible cause of declining rice yields. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, New York, v. 28, n. 13-14, p. 1245-1252, 1997b.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, Orlando, v. 58, p. 151-199, 1997a.

SAYRE, R. M.; STARR, M. P. *Pasteuria penetrans* (ex Thome, 1940) nom. ver., comb. n., a mycelial and endospore-forming bacterium parasitic in plant-parasitic nematodes. **Proceedings of the Helminthological Society of Washington, Washington**, v. 52, n. 2, p. 149-165, 1985.

SAYRE, R. M. Biocontrol: *Bacillus penetrans* and related parasites of nematodes. **Journal of Nematology, Lakeland**, v. 12, n. 4, p. 260-270, 1980.

SEEBOLD, K. W. **The influence of silicon fertilization on the development and control of blast, caused by Magnaporthe grisea (Hebert) Barr, in upland rice.** 1998, 230 p. Tese (Ph. D. in Plant Pathology). University of Florida, Gainesville, FL.

SEO, S. W.; OTA, Y. Role of the hull in the ripening of rice plant. VII. Effect of supplying of silica and potassium during reproductive growth stage on the form and function of hulls. **Nippon SaKumotsu Gakkai Kiji, Tokyo**, v. 52, n. 1, p. 73-79, 1983.

SHARMA, R.D.; LORDELLO, R. R. A. Occurrence of *Pasteuria penetrans* in coffee plantations infested by *Meloidogyne exigua* in the state of São Paulo. In: **Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 25.**, 1992, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBF, 1992. p. 183.

SHTIENBERG, D.; RAPOSO, R.; BERGERON, S. N.; LEGARD, D. E.; DYER, A. T.; FRY, W. E. Incorporation of cultivar resistance in a reduced-sprays strategy to suppress early and late blights of potato. **Plant Disease, St. Paul**, v. 78, n. 1, p. 23-26, 1994.

SILVA, J. A. **Plant mineral nutrition: yearbook of science and tecnologia**. [S. l.]: McGraw-Hill Book, 1973.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to na oxisol on phosphorus sortion and ion retention. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 47, n. 5, p. 898-902, 1980.

SNYDER, G. H., JONES, D. B.; GASCHO, G. J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, p. 1259-1263, 1986.

SOUZA, J. T.; CAMPOS, V. P. Flutuação populacional de fitonematóides associados a *Pasteuria* spp. em duas áreas naturalmente infestadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 339-344, abr./jun. 1999.

SOUZA, J. T. de; CAMPOS, V. P. Efeito do isolado P1-UFLA de *Pasteuria penetrans* sobre a primeira geração de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 93-102, 1997.

SOUZA, J. T. de; CAMPOS, V. P. Quantificação de endósporos de *Pasteuria penetrans* em solo e raízes. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 22-31. 1998. .

SPAULL, V. W. *Bacillus penetrans* in South African plant-parasitic nematodes. **Nematologica**, Leiden, v. 27, n. 2, p. 244-245, Mar. 1981.

STADNIK, M. J. Induction of resistance in wheat by a benzothiadiazole-derivative against the powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*): practical aspects and mechanisms of action. 1999. Thesis (Ph. D.) –University Hohenheim, Stuttgart, Germany.

STIRLING, G. R.; WACHTEL, M. G. Mass production of *Bacillus penetrans* for the biological control of root-knot nematodes. *Nematologica*, Leiden, v. 26, p. 308-312, 1980.

STIRLING, G. R.; WHITHE, A. M. Distribution of a parasite of root-knot nematodes in South Australia vineyards. *Plant Disease*, St. Paul, v. 66, n. 1, p. 52-53, Jan. 1982.

STIRLING, G. R. Biological control of *Meloidogyne javanica* with *Bacillus penetrans*. *Phytopathology*, St. Paul, v. 74, n. 1, p. 55-60, Jan. 1984.

STIRLING, G. R. Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Progress, Problems and Prospects. Melksham: Redwood Press, 1991. 282 p.

STUMPF, M. A.; HEATH, M. C. Cytological studies of the interactions between the cowpea rust fungus and silicon-depleted French bean plants. *Physiological Plant Pathology*, London, v. 27, p. 369-385, 1985.

SUBRAMANIAN, S.; GOPALSWAMY, A. Influence of silicate and phosphate materials on availability and uptake of silicon and phosphorus in acid soil. *Oryza*, Tokyo, v. 27, p. 267-273, 1990.

SUZUKI, H. The influence of some environmental factors on the susceptibility of the rice plant to blast and *Helinthosporium* diseases and on the anatomical characters of the plant – Influence of differences in soil moisture and in amounts of fertilizer and silica given. **Journal of the College of Agriculture Tokyo Imperial University, Tokyo**, v. 13, p. 277-331, 1935.

SWAIN, B. N.; PRASAD, J. S. Influence of silica content in the roots of rice varieties on the resistance to root-knot nematode. **Indian Journal of Nematology**, v. 18, n. 2, p. 360-361, 1988.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. **Science Rice Plant, Tokyo**, v. 2, n. 3, p. 58-71, 1995.

TAKAHASHI, E.; ARAI, K.; KASIDA, Y. Studies on the physiological role of silicon in crop plants – Effect of silicon on CO₂ assimilation and translocation of assilate to panicle. **Journal of Science Soil Manure, Tokyo**, v. 37, p. 594-598, 1966.

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

TAKAHASHI, J.; KANAREUGSA, C.; SOMBOONDUMRONGKUL, J.; PRASITTIKHET, J. The effect of silicon, magnesium and zinc on the yield of rice. In: **SYMPOSIUM ON PADDY SOILS, 5.**, 1980, Nanjing. **Proceedings...** Nanjing, China: [s.n.], 1980. p. 82-83.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

VOLK, R. J.; KHAN, R. P.; WEINTRAUB, R. L. Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 48, p. 179-184, 1958.

WALIA, R. K.; BANSAL, R. K.; BHATTI, D. S. A new bacterial parasite (*Pasteuria* sp.) isolated from pigeonpea cyst nemaode, *Heterodera cajani*. **Int. Nematology Network Newsletter**, Raleigh, v. 7, n. 3, p. 30-31, Sept. 1990.

WANG, Q. S.; HUANG S. H.; GU, L. H.; ZHAN, B. K. Yield response of rice to silica fertilizer. **Sqjjs**, v. 26, n. 2, p. 92-94.

WEIBELZAHN-FULTON, E.; DICKSON, S. W.; WHITTY, E. B. Supression of root-knot disease by *Pasteuria penetrans*. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 26, n. 1, p. 124. Abstract..

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Sprng-Verlag, 1983. v. 15, p. 682-694.

WILD, A. **Russel's soil conditions and plant growth**. 11. ed, London: Longman, 1988. 991 p.

WINSLOW, M. D. Silicon, disease resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1208-1213, 1992.

WINSLOW, M. D. **Silicon: a new macronutrient deficiency in upland rice.** Cali, Colombia: Centro International de Agricultura Tropical, 1995. 89 p. (Working Document, 2).

WU, W. S.; HSIEH, T. F. The effect of nutrient condition on *Rhizoctonia solani* Kuhn AG-1 caused sorghum sheath blight. **Plant Protection Bulletin Taipei**, v. 32, n. 4, p. 265-276, 1990.

WUTSCHER, H. K. Growth and mineral nutrition of young orange trees grown with high level of silicon. **Hort Science, Alexandria**, v. 24, n. 2., p. 275-277, 1989.

YAMAUCHI, M.; WINSLOW, M. D. Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in humid tropics. **Plant and Soil, Netherlands**, v. 113, p. 265-269, 1989.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute Agriculture Science Service, Tokyo**, v. 15, p. 1-58, 1965.

YOSHIDA, S.; FORNO, D. A.; COOK, J. H. **Laboratory manual for Physiology Studies of rice.** 3. ed. Los Banos, Philippines: IRRI, 1976.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo**, v. 8, n. 3, p. 15-21, 1962.

CAPÍTULO 2

Silício no controle de nematóides em feijoeiro

1 RESUMO

DUTRA, Marcos Roberto. Silício no controle de nematóides em feijoeiro. In: Controle de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2004. p. 63-74. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Sementes de feijoeiro foram semeadas, previamente, em substrato contendo ou não silicato de cálcio (CaSiO_3) na dose de 4g/kg de substrato. Em seguida as plântulas foram inoculadas com *Meloidogyne incognita* ou *M. javanica*. O número de juvenis do segundo estágio (J_2) que penetrou no sistema radicular do feijoeiro, sete dias após a inoculação dos nematóides foi igual tanto na planta que recebeu silício como aquela sem esse elemento (testemunha) para ambas as espécies de nematóides, indicando que o silício não afetou a penetração desses patógenos. Entretanto, o número de galhas por sistema radicular foi reduzido significativamente para ambas as espécies de nematóide pela adição de Si no substrato, com redução de 46,7 % e 54,7% para as espécies *M. incognita* e *M. javanica*, respectivamente. O número de ovos por sistema radicular também foi reduzido significativamente para ambas as espécies de nematóide, com redução de 41,6% e 32,9% para as espécies *M. incognita* e *M. Javanica*, respectivamente. Em outro ensaio, verificou-se o efeito de doses de CaSiO_3 aplicado via solo no controle de *M. javanica*. O número de galhas, de massas de ovos e de ovos por sistema radicular do feijoeiro inoculado com *M. javanica* foi reduzido em função das doses de silício, em gramas, por quilograma de substrato, sendo a melhor dose a de 2,9 g/L de substrato. Pôde-se observar que a dose de 4g/kg de substrato foi prejudicial ao feijoeiro, reduzindo significativamente o peso da matéria seca da parte aérea, peso da matéria fresca dos grãos e número de grãos produzidos por planta.

*Comitê de Orientação: Vicente Paulo Campos – UFLA (Orientador), Eduardo Alvez – UFLA e Hercules Dinis Campos – Fesurv.

2 ABSTRACT

DUTRA, Marcos Roberto. Silicon on the control of nematodes in bean. In: **Silicon on the control of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and coffee (*Coffea arabica* L.).** 2004. p. 63-74. Thesis (Doctor Program in Phytopathology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Bean seeds were sown, previously, in substract mixed or not with calcium silicate (CaSiO_3) at the dosage of 4 g/L of substract and inoculated with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. The numbers of second stage juveniles (J_2) that penetrates in bean root system seven days after inoculation of the nematodes was equal either in the plant which received CaSiO_3 as in that without it (Control) for both nematode species, indicating that CaSiO_3 did not affect the pathogen penetration. However, the number of gall per root systems was reduced when bean grown in substract with CaSiO_3 was inoculated with nematode with reduction of 46,7 and 54,7% by *M. incognita* and *M. javanica*, respectively. The number of eggs per root system was also reduced by both nematode species, with reduction of 41,6 and 32,9% by *M. incognita* and *M. javanica*, respectively. In another assay, the CaSiO_3 doses were tested by soil application on the control of *M. javanica*. The number of galls, eggs masses and egg bean root system inoculated with *M. javanica* was reduced according to the increase of the dosage, but the best dosage was 2,9 g/L of the substract. The 4,0g/L of the substract dosage caused damage to the bean because it reduced the shoot dry weight, fresh seed weight and seed number per plant.

* Guidance Committee: Vicente Paulo Campos – UFLA (Major Professor), Eduardo Alvez – UFLA and Hercules Dinis Campos – Fesurv.

3 INTRODUÇÃO

O controle dos nematóides de galhas tem sido feito por meio do uso de diversas táticas (Campos et al., 2001). Entretanto, muitas delas aumentam muito os custos de produção, limitando o seu uso. Plantas em ambiente rico em silício (Si) diferem daquelas carentes desse elemento, principalmente quanto à composição química, à resistência mecânica das células, às características da superfície foliar, tolerância ao estresse abiótico e ao ataque de fungos e pragas (Epstein, 1999). Observações ultra-estruturais sugerem que a silificação pode reduzir a interação entre patógeno e hospedeiro, além de agir como barreira física, caso o fungo alcance a parede celular (Heath & Stumpf, 1994).

O silício proporciona formação de barreira física nas células epidérmicas e afeta os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (Samuels et al., 1991; Chérif et al., 1992a; Chérif et al., 1992b; Chérif et al., 1994). Tem-se constatado a redução da incidência e da severidade de doenças fúngicas em muitas culturas com aplicações de produtos silicatados (Miyake & Takahashi, 1986; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1983; Miyake & Takahashi, 1985; Halaig & Parish, 1963; Elawad & Green, 1979; Fox & Silva, 1978; Raid et al., 1992; Datnoff et al., 1990; 1991; Osuna-Canizales et al., 1991, Mathai et al., 1978, Wang et al., 1994; Narwal 1973; Maiti et al., 1984; Wu & Hsieh, 1990; Jiang et al., 1989; Leusch & Buchenauer, 1989). Entretanto, ainda não se estudou o efeito do silício nas relações fitonematóides e plantas. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho estudar o efeito do silício na penetração e no seu estabelecimento do sítio de alimentação de *Meloidogyne* spp. bem como no desenvolvimento e na produção de feijoeiros infestados por este nematóide.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Efeito do silicato de cálcio na penetração, no número de galhas e de ovos de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* do feijoeiro.

Sementes de feijoeiro foram semeadas em bandejas de isopor de 72 células com substrato agrícola Plantimax[®] contendo ou não (testemunha) silicato de cálcio na dose de 4g/L de substrato. Foram produzidas 40 plantas em substrato contendo silício e outras 40 apenas em substrato normal.

Ovos de *M. javanica* e *M. incognita* foram extraídos de raízes de tomateiros mantidos em casa de vegetação pela técnica de Hussey & Barker (1973). A seguir foram colocados em câmaras de eclosão e mantidos a 28°C. Juvenis do segundo estágio (J₂) foram colhidos entre 24 e 72 horas para serem utilizados no ensaio.

Vinte dias após a germinação do feijão, cada plântula foi inoculada com 100 J₂ de *M. incognita* ou *M. javanica*. O ensaio foi instalado em câmara climatizada, com fotoperíodo de 12 horas de luz e temperatura de 28°C. O delineamento foi de blocos casualizados com cinco repetições e quatro plantas por unidade experimental.

Sete dias após a inoculação dos nematóides, lavaram-se os sistemas radiculares de duas plantas de cada parcela em água parada, separando-os do substrato. Em seguida, foram tratados com fucsina ácida, para a visualização dos J₂ que penetraram nas raízes, conforme técnica de Campos (2003).

Trinta dias após a inoculação, colheram-se as demais repetições e lavaram-se os sistemas radiculares da mesma forma. Contou-se o número de galhas por sistema radicular. Em seguida, realizou-se a extração de ovos de nematóide por sistema radicular conforme a técnica de Hussey & Barker (1973).

4.2 Efeito de doses e épocas de aplicação do silicato de cálcio no número de galhas e reprodução de *M. javanica*, bem como no desenvolvimento e produção do feijão.

Sementes de feijoeiro foram semeadas previamente em bandejas com areia grossa lavada e esterilizada em autoclave. Após a germinação, as plântulas foram transplantadas para vasos de três litros contendo silicato de cálcio nas doses de 0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0g/L de substrato. O substrato foi formado pela mistura de solo e esterco de curral curtido na proporção de 2:1, peneirado em peneira de 5 Mesh. Para utilizar como inoculo, ovos de *M. javanica* foram extraídos de raízes de tomateiros mantidos em casa de vegetação pela técnica de Hussey & Barker, 1973.

Cinco mil ovos de *M. javanica* foram inoculados por feijoeiro. A inoculação foi realizada logo em seguida do transplantio das plântulas e 20 dias após. A inoculação no dia do transplantio foi feita para verificar a possibilidade de haver uma rápida atuação do silicato de cálcio sobre as plantas e também sobre os nematóides. Já a inoculação aos 20 dias após, buscou avaliar a necessidade de um período prévio para que a planta absorvesse o silício e pudesse reagir contra o nematóide. O experimento foi instalado em casa de vegetação com irrigação por aspersão. Empregou-se o delineamento em blocos casualizados com cinco doses de silicato de cálcio, em cinco repetições, com duas épocas de inoculação dos nematóides.

Noventa dias após a inoculação, o sistema radicular foi lavado em água parada. A parte aérea foi seca em estufa até peso constante, e a massa foi medida em balança de precisão. As vagens com os grãos produzidos foram colhidas, contados e pesados separadamente. No sistema radicular, contou-se o número de galhas e de massa de ovos após coloração com Floxina B. Em seguida, realizou-se a extração de ovos, conforme técnica de Hussey & Barker (1973).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito do silicato de cálcio na penetração, no número de galhas e de ovos de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* do feijoeiro.

O número de juvenis de *M. incognita* ou de *M. javanica* que penetrou no sistema radicular do feijoeiro foi igual, tanto na planta que recebeu silício como naquela sem esse elemento (testemunha) (Figura 1), indicando que o silício não afetou a penetração desses patógenos. Entretanto, o número de galhas e de ovos por sistema radicular do feijoeiro inoculado com *M. incognita* ou *M. javanica* foi maior ($P \leq 0,05$) na testemunha do que naqueles feijoeiros que receberam silício, indicando que esse elemento afetou o parasitismo desses nematóides após a penetração.

Nas plantas que receberam silício, a redução do número de galhas foi de 46,7% e 54,7% para as espécies *M. incognita* e *M. javanica*, respectivamente (Figura 2). O número de ovos por sistema radicular também foi reduzido significativamente para ambas as espécies de nematóide, com redução de 41,6 e 32,9% para as espécies *M. incognita* e *M. javanica*, respectivamente (Figura 3).

A redução do número de galhas e de ovos de *Meloidogyne* spp. pode envolver o menor sucesso no estabelecimento do sítio de alimentação afetando tanto o seu número, bem como o tamanho das células gigantes ou mesmo a eficácia na absorção de nutrientes dos vasos condutores de seiva. Células gigantes em número ou formato reduzido podem proporcionar menor número de ovos. Já o número reduzido de galhas envolve menor número de juvenis do segundo estágio (J_2) que tiverem sucesso no estabelecimento dessas células, envolvendo, talvez, sinalização não reconhecida pela célula hospedeira para formar o sítio de alimentação para o J_2 , assim como ocorre em doenças fúngicas.

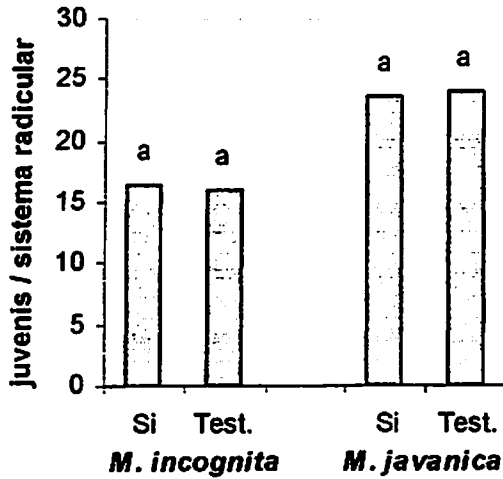


FIGURA 1. Número de juvenis por sistema radicular de feijoeiros, 7 dias após a inoculação de *Meloidogyne incognita* ou *M. javanica* na presença de silicato de cálcio (Si) ou na ausência (Test.). Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knot (1974), a 5% de probabilidade.

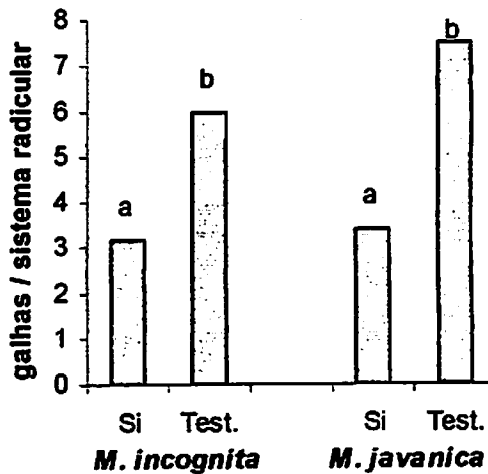


FIGURA 2. Número de galhas por sistema radicular de feijoeiros, 30 dias após a inoculação de *Meloidogyne incognita* ou *M. javanica* e crescidos na presença de silicato de cálcio (Si) ou na ausência (Test.). Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knot (1974), a 5% de probabilidade.

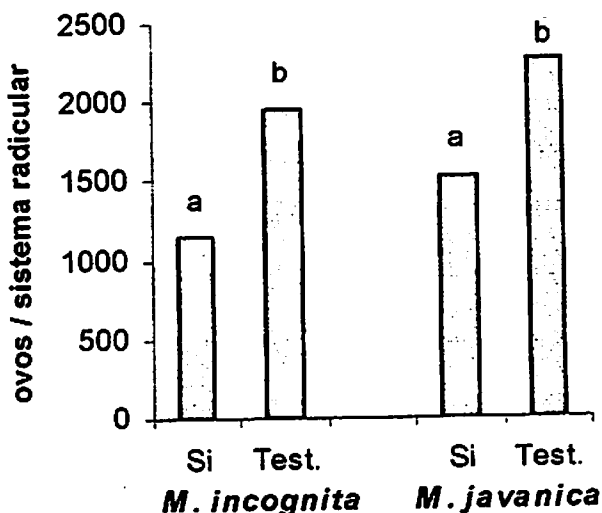


FIGURA 3. Número de ovos por sistema radicular de feijoeiros 30 dias após a inoculação de *Meloidogyne incognita* ou *M. javanica* desenvolvidos na presença de silicato de cálcio (Si) ou ausência (Test.). Letras iguais não diferem entre si pelo teste T.

5.2 Efeito de doses e épocas de aplicação do silicato de cálcio no número de galhas e reprodução de *M. javanica*, bem como no desenvolvimento e produção do feijão.

Pouca reprodução no número de galhas ocorreu com a aplicação das doses 0,5 e 1,0g de silicato de cálcio. Entretanto, a partir de 2,0 gramas, essa redução foi mais pronunciada, porém, com tendência de se manter no mesmo nível. A curva quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados (Figura 4).

Comportamento semelhante ocorreu com a reprodução de *M. javanica*, com redução maior quando se utilizou as doses de 2 e 4g de silicato de cálcio, ajustando também a curva quadrática aos dados (Figuras 5 A e B).

O desenvolvimento e a produção de feijoeiros plantados em vasos com a aplicação de 0,5; 1,0 e 2,0 g de silicato de cálcio não foram incrementados. Contudo, a dose de 4 g/L de substrato reduziu não só o peso da matéria seca da parte aérea, bem como o peso da matéria fresca e o número de grãos produzidos.

A época de inoculação de *M. javanica* não interferiu nos resultados, portanto, esse fator não foi desdobrado na análise de variância.

A maior redução do número de galhas e de ovos de *M. javanica* em feijoeiros tratados com doses mais elevadas de silicato de cálcio, indica a necessidade de uma concentração adequada de silício nos tecidos vegetais para o sucesso da sinalização, no sentido de evitar o reconhecimento pela planta da indução na formação do sitio de alimentação pelo patógeno. Dessa forma, esta concentração está relacionada com as aplicações de 2,0 a 3,0 gramas de silicato de cálcio por quilograma de substrato. Entretanto, possíveis danos nas raízes podem ocorrer nas aplicações de 4,0 g de silicato de cálcio já que houve redução da massa verde e da produção. Daí a redução no número de galhas e de ovos em aplicações de 4,0 g podem também envolver destruição dos locais de penetração dos juvenis. Doses adequadas em aplicações de silicatos também foram encontradas nas pesquisas com doenças fúngicas.

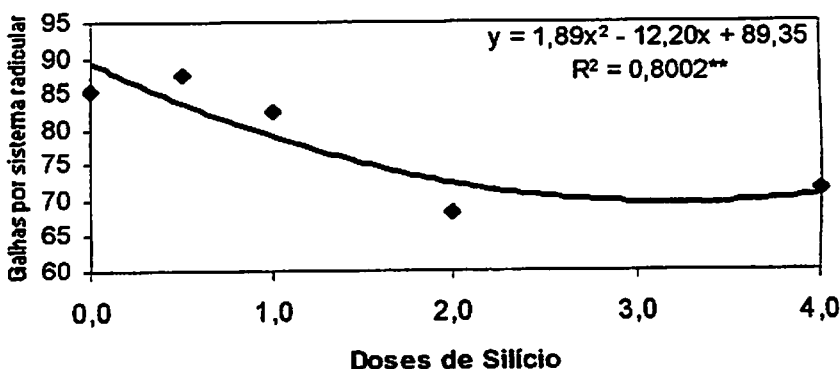


FIGURA 4. Número de galhas de *Meloidogyne javanica* por sistema radicular de feijoeiros tratados com silício, em gramas de silicato de cálcio por quilograma de substrato.

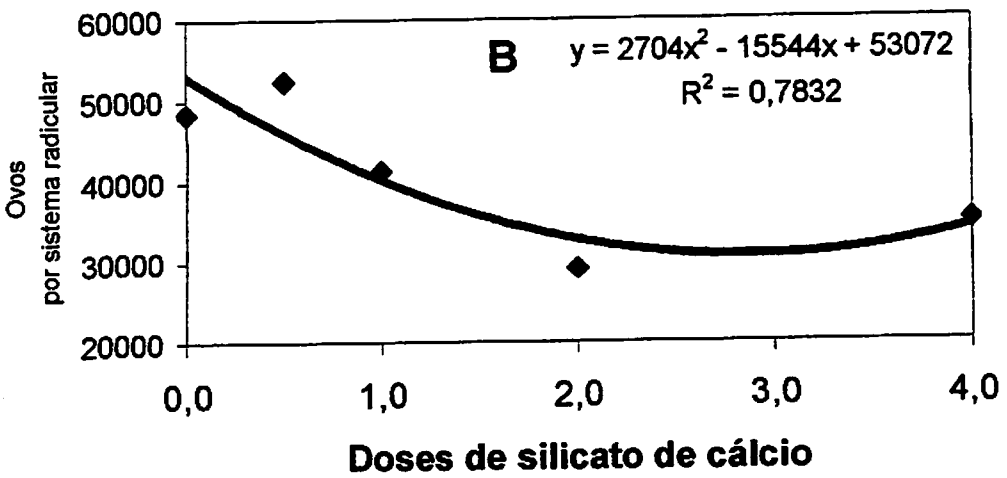
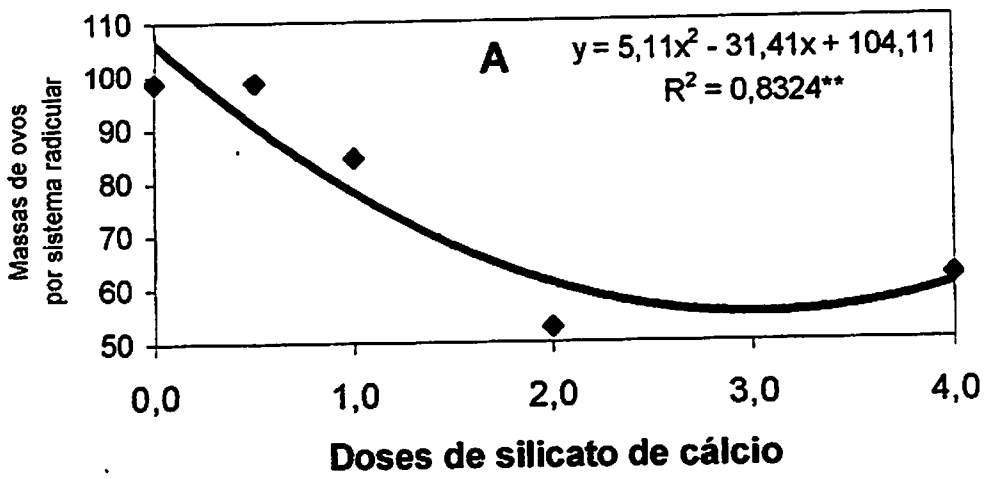


FIGURA 5. Reprodução de *M. javanica* após a inoculação inoculada em feijoeiros tratados com doses crescentes de silicato de cálcio. A) número de massas de ovos; B) número de ovos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, V. P.; CAMPOS, J. R.; SILVA, L. H. C. P.; DUTRA, M. R. Manejo de nematóides em hortaliças. In: SILVA, L. H. C. P.; CAMPOS, J. R.; NOJOSA, G. B. A. **Manejo integrado**. Lavras: UFLA, 2001. p. 125-158.

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

CHÉRIF, M.; MENZIES, J. G.; BENHAMU, N.; BÉLANGER, R. R. Studies of silicon distribution in wounded and *P. ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, p. 371-375, 1992b.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 84, n. 3, p. 236-242, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon in plants, facts vs. Concepts. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 1., 1999, Fort Lauderdale. **Proceedings...** Fort Lauderdale, Florida: University of Florida, 1999. p. 3.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, St Paul, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

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

CAPÍTULO 3

Silício no controle de nematóides em tomateiro

1 RESUMO

DUTRA, Marcos Roberto. Silício no controle de nematóides em tomateiro. In: **Controle de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2004. p. 75-89. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Estudou-se a influência do silicato de potássio (K_2SiO_3) nas doses de 3,2 mL, 6,4 mL ou 12,8 mL/litro de substrato e de silicato de cálcio ($CaSiO_3$) a 1,0g, 2,0g ou 4,0g/litro de substrato na interação do nematóide *Meloidogyne javanica* com plantas de tomateiro. Todas as doses empregadas, tanto de K_2SiO_3 como de $CaSiO_3$, reduziram ($P \leq 0,05$) a reprodutividade de *M. javanica*. A dose 12,8 mL de K_2SiO_3 reduziu ($P \leq 0,05$) o número de massa de ovos ao nível daquele com a aplicação de Aldicarb. Da mesma forma, a dose 6,4 mL de K_2SiO_3 reduziu ($P \leq 0,05$) o número de ovos ao nível daquele na testemunha tratada com Aldicarb. Noutro ensaio, plantas de tomateiro foram produzidas em substrato agrícola misturado às doses de 0; 0,5; 1; 2 ou 4 gramas de $CaSiO_3$ por quilograma de substrato. O número de juvenis encontrados nas raízes de tomateiros aos 10 dias após a inoculação dos J_2 foi decrescente conforme o aumento das doses de silicato de cálcio com tendência a se elevar na última dose testada (4g/L). Contudo, a dose que mais reduziu foi de 2,8g/L, conforme a curva que mais se ajustou aos dados. Comportamento semelhante ocorreu com o número de galhas e de ovos após a aplicação das diferentes doses de silicato de cálcio aos 45 dias após a inoculação de J_2 de *M. javanica*. O desenvolvimento do tomateiro e das raízes aumentou com aumento de doses de $CaSiO_3$ nas plantas inoculadas com *M. javanica*.

* Comitê de Orientação: Vicente Paulo Campos – UFLA (Orientador), Eduardo Alvez – UFLA e Hercules Dinis Campos – Fesurv.

2 ABSTRACT

DUTRA, Marcos Roberto. Silicon on control of nematodes in tomato. In: **Silicon on the control of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and coffee (*Coffea arabica* L.).** 2004. p. 75-89. Tese (Doctor Program in Phytopathology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The influence of potassium silicate (K_2SiO_3) at the dosagens of 3.2 mL, 6.4 mL or 12.8 mL/L of substract and calcium silicate ($CaSiO_3$) At dosages 1.0 , 2.0 or 4.0 g/L of substract were studied on the interaction of *M. javanica* and tomato plants. All tested dosages either of K_2SiO_3 as $CaSiO_3$ reduced ($P \leq 0,05$) the *M. javanica* reproduction. The dose of 12.8 mL of K_2SiO_3 reduced ($P \leq 0,05$) the number of egg masses at the same level as Aldicarb. Also, the dosage of 6.4 mL of K_2SiO_3 reduced ($P \leq 0,05$) the number of eggs the same level as Aldicarb. In another assay, tomato plants were grown in substract mixed with 0, 0.5, 1.0, 2.0 or 4.0 g of calcium silicate ($CaSiO_3$) per Kg of the substract. The number of juveniles found in the tomato roots at 10 days after inoculation of second stage juveniles (J_2) was decreased according to the increase of $CaSiO_3$ dosages. But the dosage 2.8g/L greatest reduced according the best curve flitted to the data. Similar behavior occurred with number of galls and eggs after application of $CaSiO_3$ at 45 days after inoculation of J_2 of *M. javanica*. The growth of tomato shoots and roots increased with increase of doses of $CaSiO_3$ in inoculated plants.

*Guidance Committee: Vicente Paulo Campos – UFLA (Major Professor), Eduardo Alvez – UFLA and Hercules Dinis Campos – Fesurv.

3 INTRODUÇÃO

A exigência dos países importadores por alimentos sem resíduos de agrotóxicos tem levado os produtores dos países exportadores ao uso de métodos alternativos que não envolvam a aplicação de agrotóxico. Dessa forma, criou-se uma pressão na comunidade científica pela busca de táticas de controle de fitonematóides que não envolvam resíduos tóxicos aos alimentos.

A manipulação do ambiente, tornando-o inadequado ao patógeno ou adicionando produtos que não são tóxicos ao homem, mas que exercitam nas plantas a resistência ou tolerância aos patógenos, está entre as alternativas ecologicamente aceitas pela sociedade. A manipulação da umidade por meio da irrigação, em períodos quentes e secos, leva ao aumento de juvenis no solo, os quais perdem a infectividade em poucos dias, pela falta de raízes novas (Dutra & Campos; 2003 a, b e c).

O silício não é nutriente essencial e nem funcional para as plantas, contudo, tem demonstrado ser eficaz no manejo de fitodoeças causadas por fungos, desde 1939, por Arnon & Stout. A incidência e a severidade de diversas doenças fúngicas em várias culturas têm sido reduzidas pela aplicação de silício (Miyake & Takahashi, 1986; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1983; Miyake & Takahashi, 1985; Halaig & Parish, 1963; Elawad & Green, 1979; Fox & Silva, 1978; Raid et al., 1992; Datnoff et al., 1990; 1991; Osuna-Canizales et al., 1991, Mathai et al., 1978, Wang et al., 1994; Narwal 1973; Maiti et al., 1984; Wu & Hsieh, 1990; Jiang et al., 1989; Leusch & Buchenauer, 1989). Contudo, ainda não se estudou o efeito desse elemento químico nas relações nematóides e plantas. Desta forma, objetivou-se estudar o efeito do silício no número de galhas e na reprodução de *M. javanica*, bem como, no desenvolvimento de tomateiros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Controle de *M. javanica* do tomateiro com silicato de cálcio

Doses de 0, 0,5, 1, 2 e 4g de silicato de cálcio foram misturadas por quilograma de substrato agrícola Plantimax[®]. Nesse substrato, misturado ou não com silicato de cálcio, sementes de tomateiro da cultivar Santa Clara foram semeadas em bandejas de isopor de 72 células.

Ovos de *M. javanica* foram extraídos de raízes de tomateiros, mantidos em casa de vegetação, pela técnica de Hussey & Barker (1973). A seguir, foram colocados em câmaras de eclosão e mantidos a 28°C. Juvenis do segundo estágio (J₂) foram colhidos entre 24 e 72 horas para serem utilizados no ensaio. Aos 20 dias após a semeadura, foram inoculados 100 J₂ de *M. javanica* por muda.

Aos 10 dias após a inoculação dos tomateiros, cinco repetições por tratamento foram separadas do substrato, num Becker com água. A parte aérea foi seccionada, colocada em sacos de papel e seca até peso constante em estufa com circulação de ar. As raízes foram pesadas e, a seguir, colocadas em fuccina ácida e os nematóides internamente foram coloridos pela técnica descrita por Campos et al. (2002). Após a coloração, as raízes foram montadas em lâminas reticuladas com glicerina, seguido da quantificação do número de J₂ de *M. javanica* que conseguiram se estabelecer nas raízes, e apresentando o formato de salsicha referente aos de juvenis do terceiro e quarto estádios.

Aos 45 dias após a inoculação de *M. javanica*, repetiram-se os procedimentos anteriores, utilizando-se 5 repetições por tratamento, obtendo-se o peso seco da parte aérea e o peso fresco das raízes. Além disso, contou-se o número de galhas por sistema radicular. A seguir, as raízes foram trituradas e nelas avaliado o número de ovos pela técnica de Hussey & Barker (1973).

dose de silicato de cálcio presente no substrato. Portanto, o silício deve diminuir o reconhecimento pela planta da sinalização proporcionada pelo J₂ após a sua penetração. Resultados anteriores obtidos com feijoeiros não demonstraram diferenças na penetração do J₂ de *M. javanica* e de *M. incognita* avaliados aos 7 dias após a inoculação, apesar do silício, em doses de 4g/L de substrato, terem diminuído o número de galhas e de ovos desses nematóides

O comportamento semelhante das curvas relativas aos números de galhas e de ovos (Figuras 1B e C) corrobora a explicação de que o efeito no número de juvenis não reflete apenas a penetração, mas sim a quantidade daqueles que tiveram sucesso em se estabelecer no hospedeiro e continuar se alimentando suficientemente das células gigantes, formando galhas e reproduzindo (Figura 1A, B e C).

O aumento no desenvolvimento linear da parte aérea dos tomateiros aos 10 dias após a infestação por *M. javanica*, com o aumento progressivo de doses de silicato de cálcio (Figura 2A), indica promoção do crescimento por esse elemento, compensando o efeito depressivo desse crescimento pelo parasitismo do nematóide.

Nas raízes, contudo, as doses superiores a 2,0g de silicato de cálcio não promovem o crescimento, podendo ser fitotóxicas (Figura 2B). Em plantas, o silício apesar de ser constituinte majoritário dos vegetais (Epstein, 1994; Marschner, 1995), não é considerado como elemento essencial, pois suas características não se enquadram nos conceitos de essencialidade estabelecidos por Arnon & Stout (1939). Entretanto, inúmeros benefícios agrônômicos foram atribuídos ao silício, sendo, portanto, considerado como elemento benéfico ou útil para a maioria das plantas superiores (Marschner, 1995; Malavolta, 1980) e agora também útil reparando danos nos tecidos causados pelos fitonematóides.

O comportamento diferente no ganho de peso entre raízes e parte aérea pode estar ligado ao fato de que o tomateiro é uma planta acumuladora de silício

nas raízes, conforme Wutscher (1989) e as doses acima de 2,6 g de silicato de cálcio por kg de substrato podem estar comprometendo a estrutura das células radiculares, isso porque o silício, depois de absorvido, fixa-se principalmente na parede celular, tornando-se imóvel, conforme Adataia & Besford (1986).

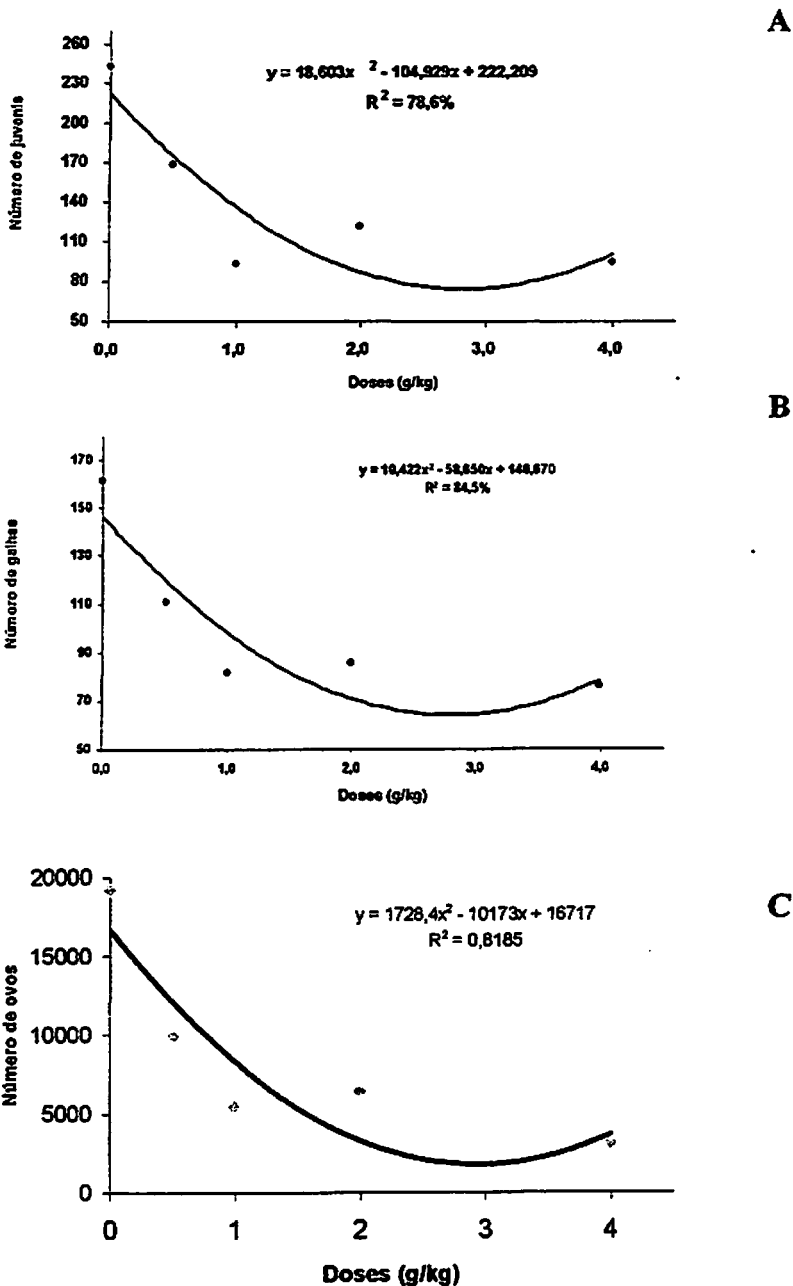


FIGURA 1. População de *Meloidogyne javanica* em tomateiros tratados com diferentes doses de silicato de cálcio: A) número de juvenis aos 10 dias após a inoculação; B) número de galhas aos 45 dias após a inoculação, e C) número de ovos aos 45 dias após a inoculação.

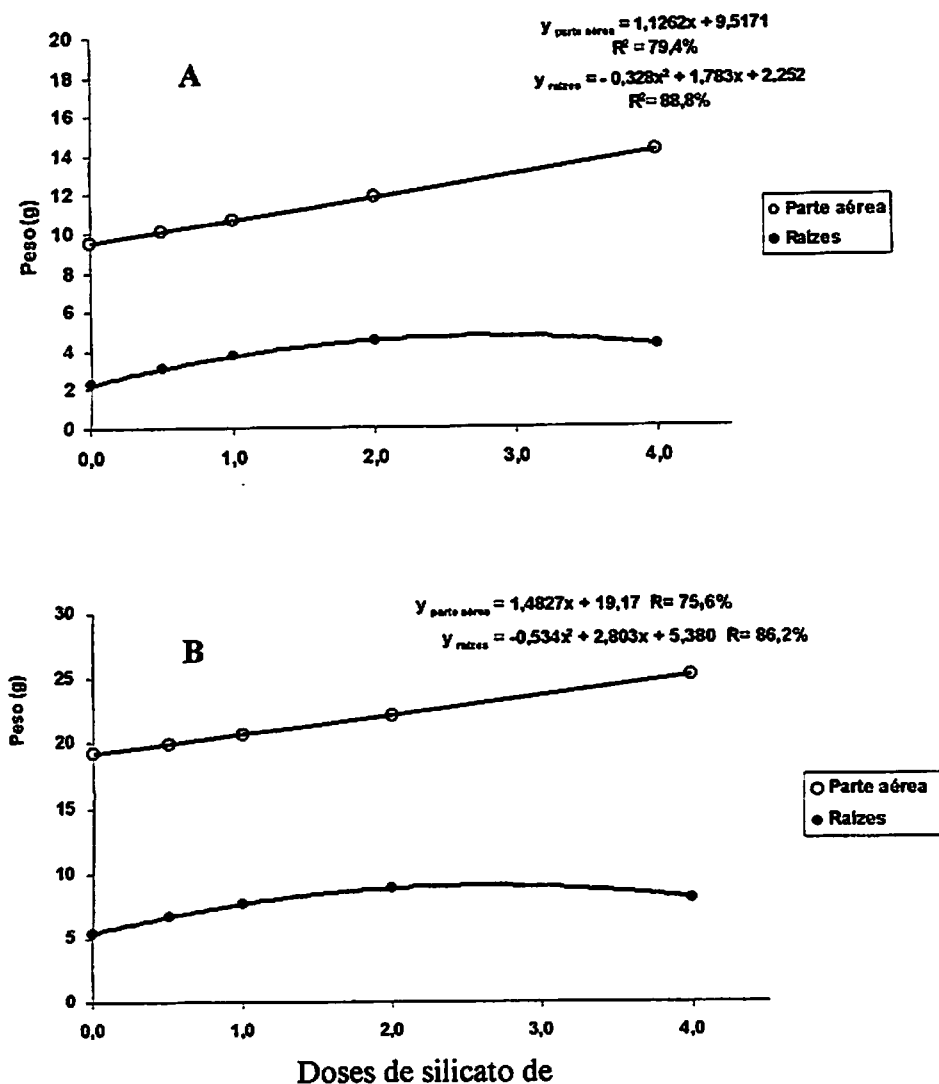


FIGURA 2. Desenvolvimento dos tomateiros expresso em matéria fresca da parte aérea e das raízes tratadas com doses crescentes de silicato de cálcio e infestados por *Meloidogyne javanica*: A) aos 10 dias após a inoculação, e B) aos 45 dias após a inoculação.

5.2 Efeito comparativo de duas fontes de silício, silicato de cálcio e potássio, na reprodução de *Meloidogyne javanica*.

Todos os tratamentos reduziram ($P \leq 0,05$) o número de ovos e de massas de ovos de *M. javanica*, comparados com a testemunha sem adição de elementos químicos (Figuras 3A e B). As doses de 12,8 e 6,4 mL de silicato de potássio reduziram o número de ovos por grama de raiz na mesma intensidade ($P \leq 0,05$) do nematicida Aldicarb, diferindo do segundo grupo de tratamentos, dentre os que mais reduziram o número de ovos, os quais foram: 3,2 mL de silicato de potássio e 4 g de silicato de cálcio (Figura 3A). No número de massas de ovos, as plantas tratadas com 12,8 mL de silicato de potássio também tiveram os menores valores, semelhantes ($P \leq 0,05$) àquelas que receberam o nematicida Aldicarb, diferindo do segundo grupo de tratamentos, dentre os que mais reduziram o número de massas de ovos, os quais foram: 6,4 e 3,2 mL de silicato de potássio e de 4,0 e 2,0 g de silicato de cálcio (Figura 3B).

Portanto, as doses de silício equivalentes em CaSiO_2 e K_2SiO_4 foram sempre mais eficazes na redução da população de ovos de *M. javanica* quando veiculados em K_2SiO_4 . O silício nas doses 6,4 e 12,8 mL de K_2SiO_4 foram sempre mais eficazes na redução do número de ovos, equivalendo-se ao nematicida Aldicarb.

O melhor efeito do silício sob a forma de silicato de potássio, comparado ao silicato de cálcio, talvez se explique pela maior solubilidade em água, traduzida em melhor absorção pelas raízes, o que resultaria em maior quantidade de silício nos tecidos da planta.

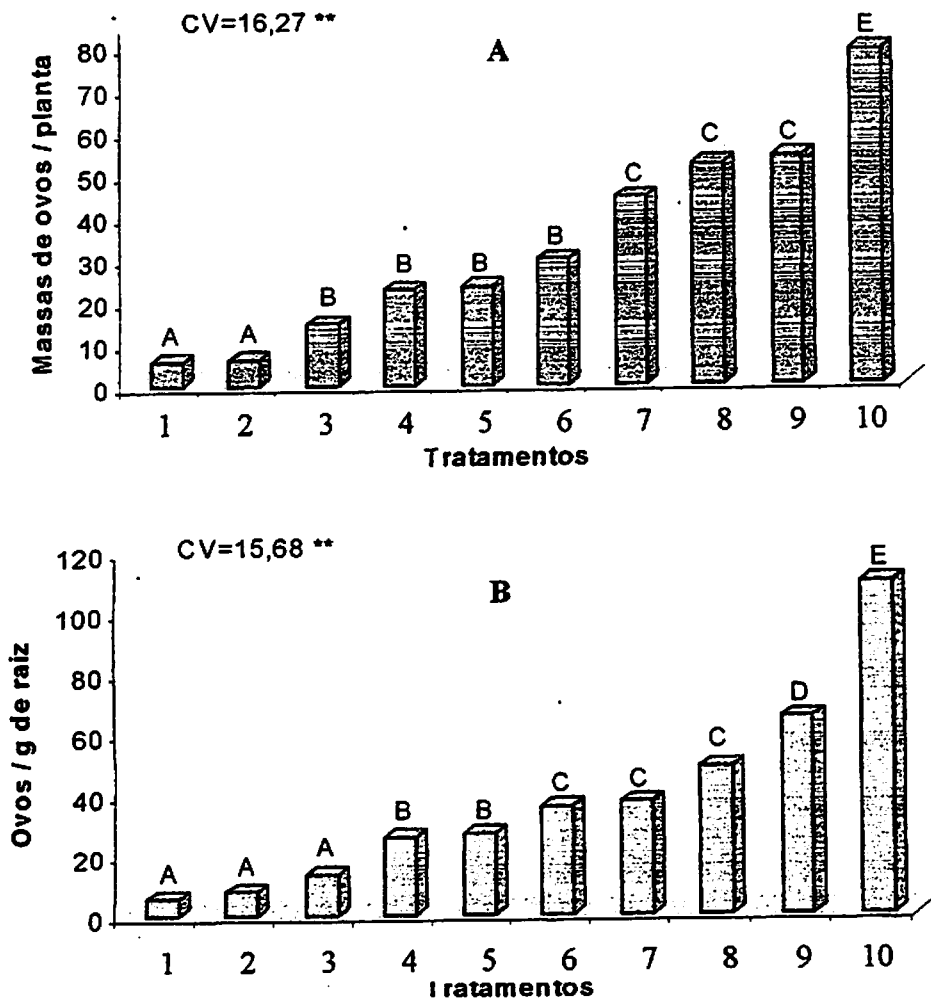


FIGURA 3. Efeito de duas fontes de silício, silicato de cálcio e de potássio, na reprodução de *M. javanica*: A) No número de ovos por grama de raiz e B) no número de massas de ovos por planta. Testaram-se as seguintes doses com testemunhas: 1) Aldicarb; 2) 12,8 mL de silicato de potássio; 3) 6,4 mL de silicato de potássio; 4) 4 g de mL de silicato de cálcio; 5) 3,2 mL de silicato de potássio; 6) 2 g de silicato de cálcio; 7) sulfato de potássio; 8) 1 g de silicato de cálcio; 9) carbonato de cálcio; 10) testemunha sem adição de elementos químicos. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, London, v. 58, n. 3, p. 343-351, Sept. 1986.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 14, p. 371-375, 1939.

BERGERSON, G. B. The influence of temperature on the survival of some species of the genus *Meloidogyne* in the absence of a host. *Nematologica*, Leiden, v. 4, n. 4, p. 344-354, Dec. 1959.

CAMPOS, H. D.; CAMPOS, V. P.; RIBEIRO, L. O.; CAMPOS, J. R. Efeito de exsudato radicular de *Brachiaria decumbens* sobre a eclosão e mobilidade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne javanica*. *Fitopatologia Brasileira*, Recife, v. 27, p. 185-186, 2002. Suplemento.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Efeito do preparo do solo na população dos nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 21., 1998, Maringá. *Anais...* Maringá; [s.n.], 1998. p. 45.

FOSKET, D. E. *Plant growth and development: a molecular approach*. San Diego: Academic Press, 1994. 580 p.

- HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp. , including a new technique. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 57, p. 1025-1028, 1973.
- MARSCHINER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887 p.
- NOVARETTI, W. R. T. Controle biológico de nematóides fitopatogênicos. In: BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA, 1991. Cap. 18, p. 273-283.
- SHTIENBERG, D.; RAPOSO, R.; BERGERON, S. N.; LEGARD, D. E.; DYER, A. T.; FRY, W. E. Incorporation of cultivar resistance in a reduced-sprays strategy to suppress early and late blights of potato. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, n. 1, p. 23-26, 1994.
- WUTSCHER, H. K. Growth and mineral nutrition of young orange trees grown with high level of silicon. **Hort Science**, Alexandria, v. 24, n. 2., p. 275-277, 1989.

CAPÍTULO 4

Efeito do silício na interação *Meloidogyne exigua* e cafeeiro

1 RESUMO

DUTRA, Marcos Roberto. Efeito do silício na interação *Meloidogyne exigua* e cafeeiro. In: Controle de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2004. p. 90-110. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Em ensaios em casa de vegetação, mudas de cafeeiro, quando inoculadas, 30 dias após o transplântio para vasos contendo doses diferentes de silicato de cálcio (CaSiO_3), revelaram menor número de galhas para todas doses aplicadas. A produção de ovos por sistema radicular ou por grama de raiz não diferiu entre testemunha, carbonato de cálcio e a dose mais baixa de silicato de cálcio, com menor reprodutividade de *Meloidogyne exigua* nas demais doses de silicato. Na inoculação de *Meloidogyne exigua* aos 60 dias após o transplântio das mudas de café maior ($P \leq 0,5$) número de ovos por sistema radicular ocorreu na testemunha comparada com todos os demais tratamentos. Entretanto, menor número de ovos ocorreu quando se aplicaram dois ou quatro gramas de silicato de cálcio, tanto pela avaliação por número de ovos por sistema radicular quanto pelo número de ovos por grama de raiz. Já o número de galhas por sistema radicular foi mais baixo ($P \leq 0,5$) nas doses de 1, 2 e 4 gramas de silicato de cálcio comparadas com a dose mais baixa de silicato e com carbonato de cálcio e testemunha. No campo, as aplicações de silicato de cálcio, torta de mamona e nematicida Terbufos reduziram ($P \leq 0,05$) o número de juvenis do segundo estágio (J_2) e de ovos de *M. exigua* comparados com a testemunha. Nos três municípios avaliados, a redução do número de ovos/g de raiz causada pelo Terbufos foi maior ($P \leq 0,05$) do que a do silicato de cálcio e a torta de mamona. Entretanto, no número de J_2 por 100cm^3 de solo nem sempre o Terbufos foi mais eficaz que os demais tratamentos. No ensaio envolvendo aplicações simultâneas ou não do nematicida Terbufos com o silicato de cálcio ou torta de mamona, todos os produtos em aplicação conjunta ou não reduziram o número de J_2 de *M. exigua* por 100cm^3 de solo e o número de ovos comparados com a testemunha. Contudo, a aplicação conjunta de silicato de cálcio com Terbufos foi mais eficaz ($P \leq 0,05$) na redução do número de ovos de *M. exigua* do que a aplicação isolada, demonstrando efeito aditivo do nematicida e do silicato de cálcio.

* Comitê de Orientação: Vicente Paulo Campos – UFLA (Orientador), Eduardo Alvez – UFLA e Hercules Dinis Campos – Fesurv.

2 ABSTRACT

DUTRA, Marcos Roberto. Effect of silicon on interaction of *Meloidogyne exigua* and coffee. In: **Silicon on the control of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and coffee (*Coffea arabica* L.).** 2004. p. 90-110. Tese (Doctor Program in Phytopathology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

In greenhouse assays, coffee seedlings when inoculated with *Meloidogyne exigua* 30 days after seedling transplanting to pots with different doses of calcium silicate (CaSiO_3) occurred less number of galls than control. The egg production per root systems or per gram of root did not differ from control, application of calcium carbonate and from lowest dose of CaSiO_3 , with lower *M. exigua* reproduction in plants treated with all others tested dosagens. When *M. exigua* was inoculated 60 days after transplanting, greater ($P \leq 0,05$) number of egg per root systems occurred in the control compared to all remaining treatments. However, lesser number of eggs occurred when two or four grams of CaSiO_3 were applied either when assessed by egg per root systems as by egg per g of roots. The number of galls per root systems was lower ($P \leq 0,05$) at the dosages of 1,2 or 4 g of CaSiO_3 compared to lowest dosage of CaSiO_3 and to the calcium carbonate and control treatments. In the field, the applications of CaSiO_3 castor bean cake and Terbufos reduced ($P \leq 0,05$) the number of second stage juveniles (J_2) and eggs of *M. exigua* compared to control. In three counties where the assays were undertaken, Terbufos reduced greater ($P \leq 0,05$) the number of egg / g of root than CaSiO_3 and castor bean cake. However, when J_2 per 100 cm^3 of soil was assessed, Terbufos did not have, always, greater efficacy than others treatments. In the assay when Terbufos was applied simultaneously or not with CaSiO_3 or castor bean cake, all treatments with simultaneous application or not reduced ($P \leq 0,05$) the number of J_2 per 100 cm^3 of soil and number of eggs compared to control. However, the simultaneous application of CaSiO_3 and Terbufos reduced greater ($P \leq 0,05$) the number of eggs of *M. exigua* than isolated application demonstrating an additive effect of the nematicide and CaSiO_3 in coffee plants

*Guidance Committee: Vicente Paulo Campos – UFLA (Major Professor), Eduardo Alvez – UFLA and Hercules Dinis Campos – Fesurv.

3 INTRODUÇÃO

O sucesso do parasitismo dos nematóides do gênero *Meloidogyne* em plantas envolve receptores na membrana celular de sinais emitidos pela excreção pelo estilete do nematóide de substâncias produzidas na glândula dorsal. O conhecimento sobre a produção dessas substâncias, ainda na glândula dorsal, bem como suas relações com as células da planta hospedeira que alimentam os nematóides, tem avançado ultimamente (Hussey & Davis, 2004). A sinalização pelo nematóide precisa, além de receptores na membrana celular, de tradução deste sinal no citoplasma, que afeta diretamente a expressão genética dentro do núcleo, estabelecendo assim uma relação planta/nematóide compatível e o sucesso do parasitismo (Hussey & Davis, 2004). Mediando esses processos várias substâncias podem sofrer interferências exógenas diminuindo a eficácia do parasitismo. Silva et al. (2004) demonstraram que a aplicação do acibenzolar-S-metil (ASM) aplicado em plântulas reduziu o número de galhas nas raízes de tomateiro infectadas por *Meloidogyne incognita*. Dessa forma, o ASM induziu resistência ao tomateiro infectado, porém, não se sabe especificamente como ocorre essa indução no sistema *Meloidogyne/planta*.

Sabe-se que o cálcio é essencial à estabilidade da parede celular formando poligalacturonatos de cálcio, os quais são depositados na lamela média. Dessa forma, o cálcio aumenta a resistência de plantas a alguns fitopatógenos (Marschner, 1995).

O juvenil do segundo estágio de *Meloidogyne* spp. penetra pela região meristemática da raiz (Campos, 2003) e inicia todo o processo de sinalização no hospedeiro nessa região de tecido jovem fisiologicamente. Nesse momento, efeitos exógenos podem alterar a resposta da planta, alterando quantitativamente a formação do sítio de alimentação do nematóide. Várias substâncias, entre elas

fertilizantes empregados na agricultura, bem como extratos vegetais, afetam esse parasitismo.

O silício, embora não seja nutriente essencial e nem funcional para o crescimento das plantas, quando aplicado em várias culturas atacadas por doenças fúngicas tem diminuído a incidência e severidade dessas enfermidades (Miyake & Takahashi, 1986; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1983; Miyake & Takahashi, 1985; Halaig & Parish, 1963; Elawad & Green, 1979; Fox & Silva, 1978; Raid et al., 1992; Datnoff et al., 1990; 1991; Osuna-Canizales et al., 1991, Mathai et al., 1978, Wang et al., 1994; Narwal 1973; Maiti et al., 1984; Wu & Hsieh, 1990; Jiang et al., 1989; Leusch & Buchenauer, 1989). Contudo, ainda não foram estudados seus efeitos nas doenças causadas por fitonematóides. Dessa forma, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito na população de nematóide *Meloidogyne exigua* e dano em cafeeiros pela aplicação, em muda, de silicato de cálcio, bem como da aplicação simultânea ou não de silicato, nematicida e torta de mamona no campo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Efeito do silício no número de galhas e na reprodução de *Meloidogyne exigua* em mudas

Sementes de café da cultivar Mundo Novo-Acaia foram semeadas em bandejas com areia grossa esterilizada em autoclave. Sessenta dias após, quando as mudas estavam no estágio de orelha de onça, foram transplantadas para vasos contendo 3 litros de substrato formado da mistura de solo e esterco na proporção de 2:1 e esterilizado com brometo de metila.

No substrato com a mesma constituição, foram misturados 0,5, 1,0, 2,0 ou 4,0 g de silicato de cálcio (60% de SiO_2), por litro de substrato. Na testemunha, não foi misturado silicato. Numa testemunha adicional misturaram-se 2,4 gramas de carbonato de cálcio 98% de por litro de substrato.

Ovos de *Meloidogyne exigua* foram extraídos pela técnica de Hussey & Barker (1973), a partir de raízes galhadas colhidas debaixo da copa de cafeeiro com 25 anos naturalmente infestado no campo.

Tanto as doses de silicato de cálcio quanto às doses de carbonato de cálcio foram misturadas ao substrato no momento do enchimento dos vasos, seguido do transplântio das mudas.

Aos 30 e 60 dias após o transplântio, as mudas foram inoculadas com 10.000 ovos de *Meloidogyne exigua* por muda.

Foram então constituídos 12 tratamentos distribuídos em esquema fatorial com silicato de cálcio em cinco doses (0, 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 gramas/muda) e uma testemunha adicional, com aplicação de 2,4g de carbonato de cálcio com quantidade de cálcio equivalente à dose de 4,0 g de silicato de

cálcio. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 5 repetições de duas mudas na unidade experimental, sendo uma muda por vaso.

As mudas foram colocadas em casa-de-vegetação e receberam todos os tratamentos culturais recomendados para a produção comercial de mudas de café.

Cento e vinte dias após a inoculação de *M. exigua*, mediu-se a altura das plantas, contou-se o número de folhas e de ramificações por planta e a parte aérea foi separada da raiz, colocada em sacos de papel e secas em câmara de fluxo de ar. As raízes foram separadas do solo em água parada. A seguir, obteve-se o peso fresco das raízes e contou-se o número de galhas. As raízes foram então cortadas em pedaços de 0,5 cm de comprimento e, pela técnica de Hussey & Barker (1973), extraíram-se os ovos do sistema radicular.

4.2 Avaliação da população de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros plantados no campo e tratados com silício, nematicida e torta de mamona em aplicações simultâneas ou não.

Os ensaios foram instalados nos municípios de Varginha, Três Pontas e Carmo da Cachoeira / MG, em cafezais dos cultivares Mundo Novo-Acaia, com idades de 12, 20 e 25 anos, respectivamente, apresentando alta infestação de *M. exigua*. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de torta de mamona (1000 kg/ha), Terbufos (45 kg/ha) e de silicato de cálcio (1000 kg/ha) correspondendo à melhor dose conforme resultados do experimento anterior.

Foi instalado no município de Jaboticatubas, MG, outro ensaio em lavoura do cultivar Mundo Novo-Acaia com 12 anos de idade, possuindo irrigação do tipo pivô central e altamente infestada com *M. exigua*. Os tratamentos foram os seguintes: 1) testemunha; 2) Terbufos, 45 kg/ha; 3) silicato de cálcio, 1000 kg/ha; 4) silicato de cálcio, 1000 kg/ha seguido da aplicação de Terbufos, 45 kg/ha; 5) torta de mamona, 1000 kg/ha; 6) torta de mamona 1000, kg/ha seguido da aplicação de Terbufos, 45 kg/ha.

Os experimentos foram montados no mês de outubro, em blocos ao acaso com cinco repetições em parcelas de dez plantas.

Em todos os ensaios, os produtos em teste, nas doses citadas, foram espalhados superficialmente no solo na projeção da copa.

Aos 30 dias após a aplicação dos produtos, colheram-se amostras de solo e raízes na projeção da copa. Do solo, foram extraídos J_2 pela técnica de Jenkins (1964). As raízes foram separadas do solo em água parada e estimado o número de galhas por sistema radicular. A seguir, as raízes foram trituradas e extraídos os ovos pela técnica de Hussey & Barker (1973). Monitorou-se o desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro por meio de ramos marcados com fitas nas plantas úteis de cada parcela, contando-se o número de folhas por ramo.

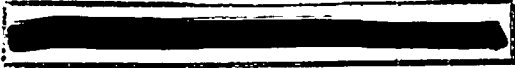
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito do silício no número de galhas e na reprodução de *Meloidogyne exigua* em mudas

Menor número de galhas ocorreu quando se aplicou qualquer dose de silicato de cálcio, comparado com a testemunha e com a aplicação de carbonato de cálcio. Entretanto, a produção de ovos por sistema radicular ou por grama de raiz não diferiu para a testemunha, carbonato de cálcio e a dose mais baixa de silicato de cálcio, com menor reprodutividade de *M. exigua* nas demais doses de silicato, quando inoculadas 30 dias após o transplântio das mudas (Tabela 1).

Na inoculação de *Meloidogyne exigua*, aos 60 dias após o transplântio das mudas de café, maior número de ovos por sistema radicular ocorreu na testemunha, comparada com todos os demais tratamentos ($P \leq 0,5$). Entretanto, menor número de ovos ocorreu quando aplicaram-se dois e quatro gramas de silicato de cálcio, tanto pela avaliação por número de ovos por sistema radicular quanto pelo número de ovos por grama de raiz (Tabela 2). Já o número de galhas por sistema radicular foi mais baixo ($P \leq 0,5$) nas doses de 1, 2 e 4 gramas de silicato de cálcio, comparadas com a dose mais baixa de silicato e com carbonato de cálcio e testemunha (Tabela 2). Os valores das variáveis peso fresco do sistema radicular, seco da parte aérea, altura das plantas, número de folhas por planta e número de ramificações não diferiram entre si, tanto na inoculação aos 30 quanto aos 60 dias após o transplântio das mudas (Tabelas 1 e 2).

A diminuição do número de galhas e da reprodução de *M. exigua* em café reflete, talvez, o efeito do silício no processo de tradução do sinal proporcionado por substâncias produzidas na glândula dorsal do citoplasma da



planta, diminuindo a eficácia da sua resposta na formação do sítio de alimentação do nematóide. A diminuição do número destes sítios resultará no menor número de juvenis capazes de chegar ao estágio adulto e, conseqüentemente, diminuindo o número de fêmeas e de ovos por planta. O teor de silício encontrado nos tecidos de arroz tem sido correlacionado com a resistência a diversas doenças (Datnoff et al, 1991; 1992; 1997; Winslow, 1992; Deren et al., 1994; Savant et al., 1997; Rodrigues et al., 1998). Progresso de enfermidades causadas por fungos em muitas espécies vegetais tem sido reduzido pela aplicação de silício (Miyake & Takahashi, 1986; Miyake & Takahashi, 1978; Miyake & Takahashi, 1983; Miyake & Takahashi, 1985; Halaig & Parish, 1963; Elawad & Green, 1979; Fox & Silva, 1978; Raid et al., 1992; Datnoff et al., 1990; 1991; Osuna-Canizales et al., 1991, Mathai et al., 1978, Wang et al., 1994; Narwal 1973; Maiti et al., 1984; Wu & Hsieh, 1990; Jiang et al., 1989; Leusch & Buchenauer, 1989).

A citação de mecanismos de resistências do café a *M. exigua* pode constituir também um processo mediado pela aplicação exógena de silício. Silva et al. (2004) ativaram estes mecanismos em tomateiro infectado por *M. incognita*, aplicando o acibenzolar-S-metil.

TABELA 1. Efeitos de diversas doses de silicato de cálcio e do carbonato de cálcio em cafeeiros infestados com *Meloidogyne exigua*, 30 dias após o transplântio das mudas.

Tratament OS	Número de ovos/ sistema radicular	Número de ovos/ g de raiz	Peso fresco do sistema radicular	Número de galhas /sistema radicular	Peso seco da parte aérea	Altura das plantas	Número de folhas /planta	Número de ramifica- ções
Testemun ha	10530 b	195 b	57,1	363 c	65,0	63	32	4,9
0,5g de silicato de cálcio	9380 b	140 b	66,3	251 b	67,2	63	32	5,2
1g de silicato de cálcio	5460 a	104 a	52,7	215 b	60,2	61	28	4,5
2g de silicato de cálcio	6180 a	102 a	63,9	194 b	62,8	67	33	4,7
4g de silicato de cálcio	3550 a	58 a	63,6	111 a	69,8	63	36	4,7
2,4g de carbonato de cálcio	8620 b	154 b	55,4	369 c	64,5	65	31	4,5
CV	20,97	19,51	n.s.	16,17	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Letras iguais em coluna indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

TABELA 2. Avaliação dos tratamentos de silicato de cálcio e carbonato de cálcio em cafeeiros inoculados com *Meloidogyne exigua* 60 dias após o plantio das mudas e aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Número de ovos/ sistema radicular	Número de ovos/ g de raiz	Peso fresco do sistema radicular	Número de galhas /sistema radicular	Peso seco da parte aérea	Altura das plantas	Número de folhas /planta	Número de ramificações
Testemunha	8640 c	128 b	68,3	611 b	53,4	64	33	5,1
0,5g de silicato de cálcio	5040 b	92 b	63,3	423 b	49,9	60	29	4,8
1g de silicato de cálcio	4820 b	75 b	55,6	280 a	49,4	60	29	4,3
2g de silicato de cálcio	2760 a	50 a	58,9	254 a	50,3	58	29	4,3
4g de silicato de cálcio	1520 a	28 a	60,8	184 a	55,1	63	28	4,6
2,4g de carbonato de cálcio	5840 b	94 b	69,2	435 b	55,5	64	34	4,6
CV	23,39	19,62	n.s.	23,59	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Letras iguais em coluna indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

5.2 Avaliação da população de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros plantados no campo e tratados com silício, nematicida e torta de mamona, em aplicações simultâneas ou não.

No campo, o silicato de cálcio, a torta de mamona e o nematicida Terbufos reduziram ($P \leq 0,05$) o número de juvenis do segundo estágio (J_2) e de ovos *M. exigua*, comparados com a testemunha (Figuras 1, 2 e 3). Nos três municípios, o Terbufos reduziu mais ($P \leq 0,05$) o número de ovos/g de raiz do que o silicato de cálcio e a torta de mamona (Figuras 1B, 2B e 3B). Entretanto, no número de J_2 por 100cm³ de solo, nem sempre o Terbufos foi mais eficaz que os demais tratamentos (Figuras 1A, 2A e 3A).

No ensaio envolvendo aplicações simultâneas ou não do nematicida Terbufos com o silicato de cálcio ou torta de mamona, todos os produtos, em aplicação conjunta ou não, reduziram o número de J_2 de *M. exigua* por 100cm³/solo e o número de ovos, comparados com a testemunha (Figura 4 A e B). Entretanto, quando o Terbufos foi aplicado conjuntamente com o silicato de cálcio ou torta de mamona, seu efeito na redução de J_2 ou de ovos foi melhor ($P \leq 0,05$) do que aplicações separadas de silicato de cálcio ou torta de mamona (Figura 4 A e B). A aplicação separada de Terbufos ou conjuntamente com a torta teve efeitos semelhantes ($P \leq 0,01$) na redução de J_2 e ovos de *M. exigua*. Contudo, a aplicação conjunta de silicato de cálcio com Terbufos foi mais eficaz ($P \leq 0,05$) na redução do número de ovos de *M. exigua* do que a aplicação separada (Figura 4A e B), demonstrando efeito aditivo do nematicida e do silicato de cálcio.

O silicato de cálcio comprovou, no campo, o efeito, já demonstrado em mudas, de redução do número de ovos de *M. exigua*. O silício, de acordo com resultados obtidos em feijoeiros infestados por *M. javanica*, não afeta a

penetração do J₂. Também não reduz a eclosão do J₂, além de não matar ou afetar a sua mobilidade, de acordo com testes realizados previamente “in vitro”. Dessa forma, os efeitos decorrentes da aplicação do silício nas populações de *M. exigua* envolvem a atuação desse elemento químico nos tecidos vegetais.

A penetração do J₂ de *Meloidogyne* spp. ocorre no tecido meristemático e ele movimenta-se dentro ou entre feixes vasculares em formação (Campos, 2003), ocorrendo, por conseguinte, galhas ao longo das raízes novas. Contudo, no cafeeiro *M. exigua*, só formam-se galhas na ponta da raiz nova e apenas uma por segmento de raiz (Campos & Villain, 2004). Dessa forma, sua movimentação não deve ser tão eficaz quanto em outras plantas, principalmente nas anuais, talvez decorrente da lignificação dos tecidos vasculares mais rapidamente do que nas plantas anuais. Dessa forma, o silício pode mediar este processo acelerando-o ainda mais e, assim, reduzindo o sucesso J₂ na indução do sítio de alimentação. No cafeeiro, talvez, a aceleração na produção de poligalacturonatos de cálcio e conseqüente deposição na lamela média da parede celular das células pode ocorrer pela aplicação exógena de silicato e conseqüente redução no número de sítios de alimentação. O cálcio está envolvido no aumento da resistência de plantas a alguns fitopatógenos (Marschener, 1995).

O efeito da torta de mamona na redução populacional de *M. exigua* ocorre pela eliminação, no solo, de substâncias tóxicas aos nematóides. O Terbufos tem efeito tóxico direto ao J₂, afetando as ligações nervosas, atuando na acetil colinesterase e, conseqüentemente, causa morte do J₂, além de afetar os nematóides dentro do hospedeiro.

O efeito aditivo, quando o Terbufos foi aplicado simultaneamente na mesma planta com o silicato de cálcio, talvez se explique pelo modo de atuação diferente de ambos na redução da população de *M. exigua*. Enquanto o nematicida tem toxicidade direta ao nematóide, o silício ativa mecanismos de

defesa da planta. Dessa forma, os nematóides que escaparam do defeito tóxico poderão ser afetados pela alteração do mecanismo de defesa da planta.

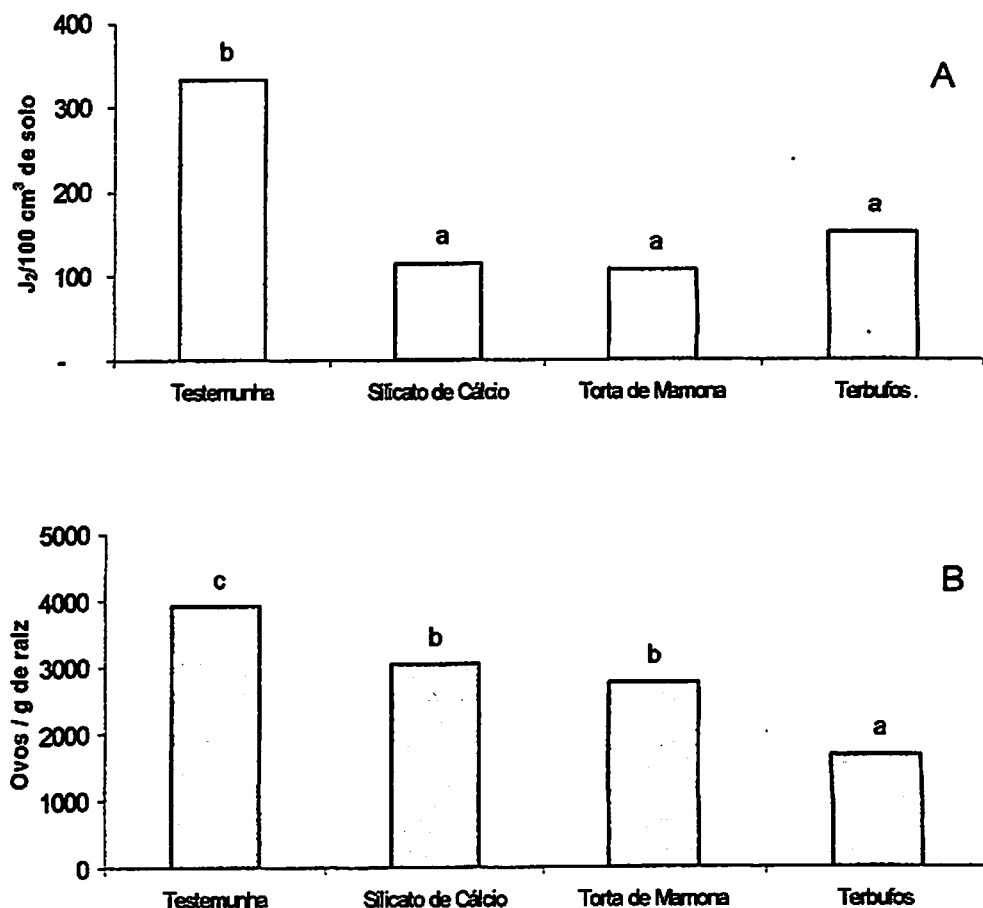


FIGURA 1. Efeito da aplicação de silicato de cálcio, torta de mamona e do nematicida Terbufos no (A) número de juvenis do segundo estágio (J_2) e no (B) número de ovos de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros de 12 anos, Varginha, MG. Letras iguais minúsculas indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

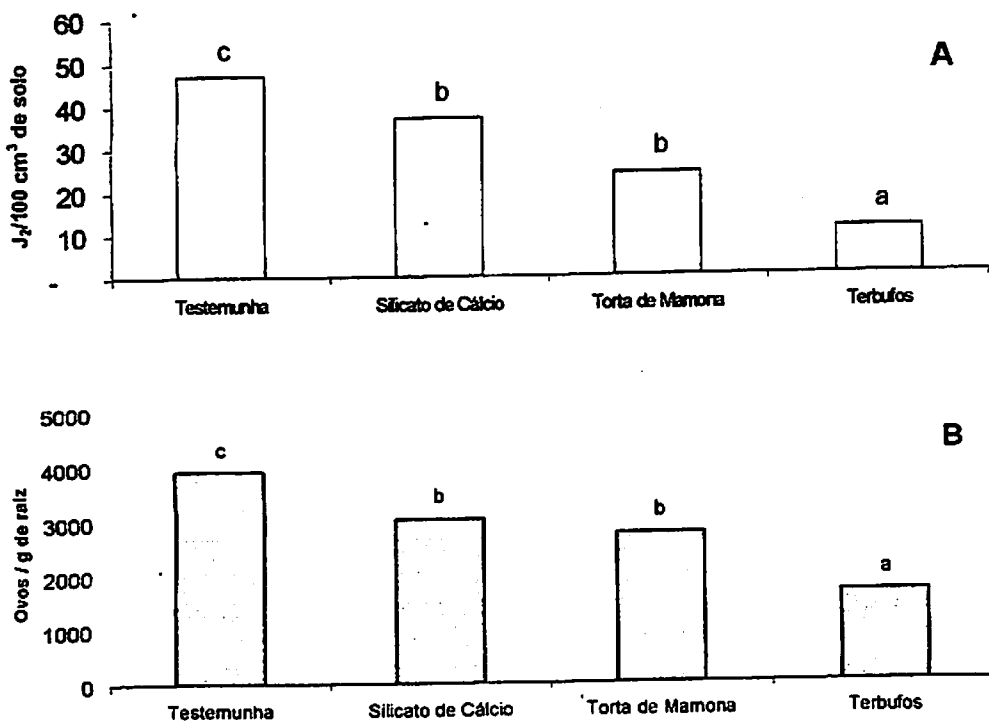


FIGURA 2. Efeito da aplicação de silicato de cálcio, torta de mamona e do nematicida Terbufos no (A) número de juvenis do segundo estágio (J₂) e no (B) número de ovos de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros de 20 anos, Três Pontas, MG. Letras iguais indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

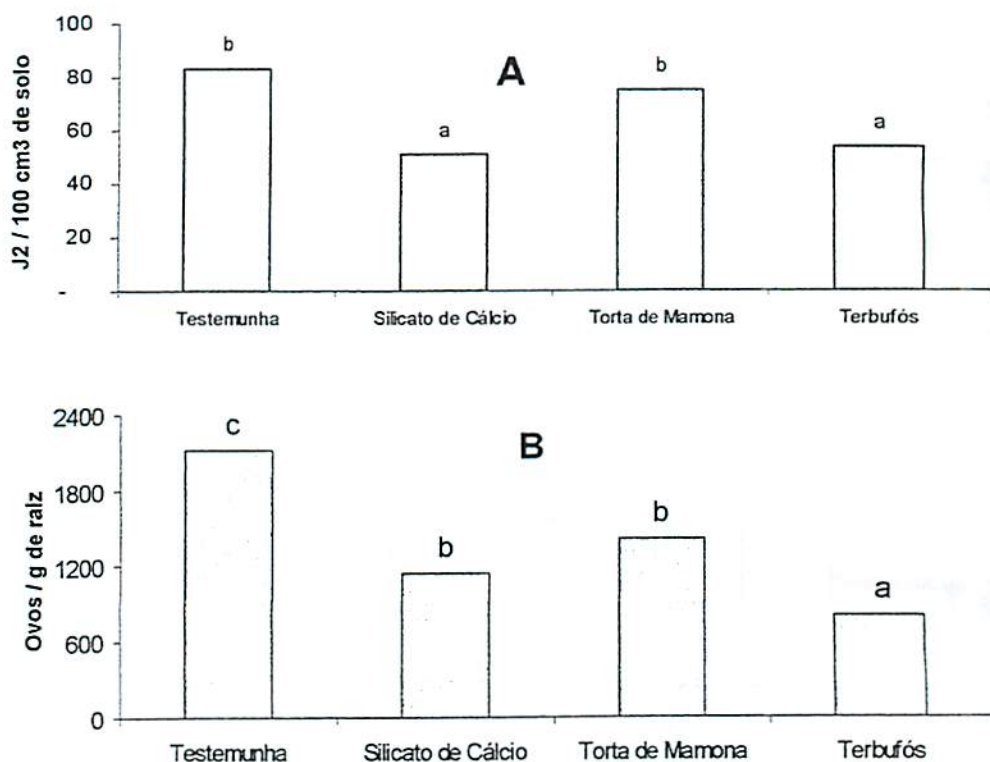


FIGURA 3. Efeito da aplicação de silicato de cálcio, torta de mamona e do nematicida Terbufós no (A) número de juvenis do segundo estágio (J_2) e no (B) número de ovos de *Meloidogyne exigua* em cafeeiros Mundo Novo-Acaia com 25 anos, Carmo da Cachoeira, MG. Letras iguais indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

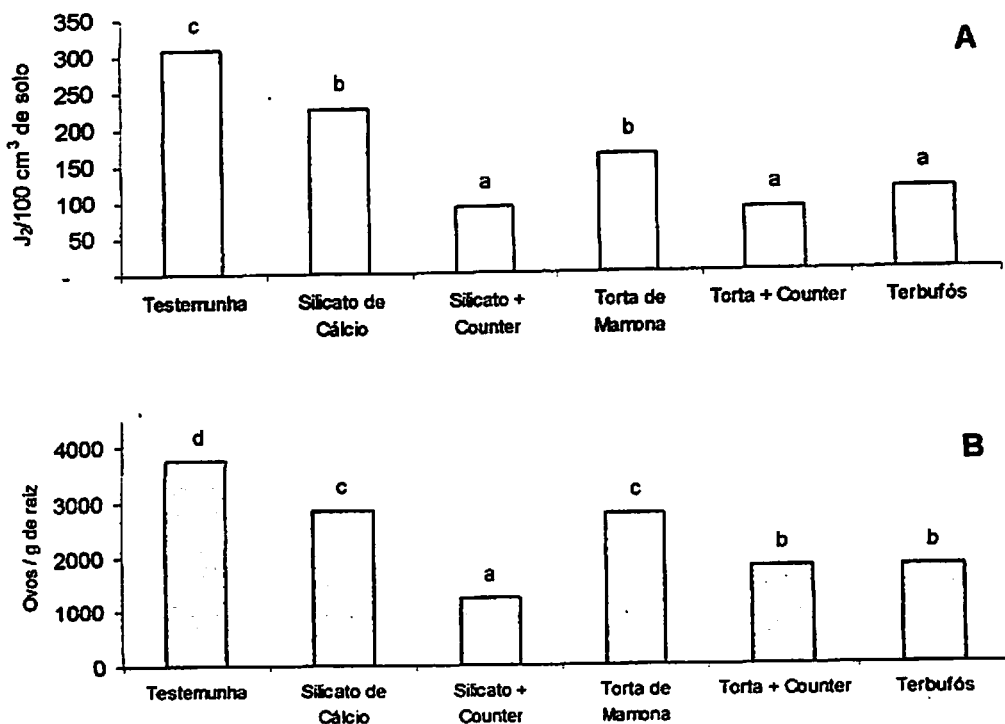


FIGURA 4. Efeito da aplicação de silicato de cálcio e da torta de mamona, conjunta ou não com o nematicida Terbufós, em cafeeiros de 12 anos de idade da cultivar Mundo Novo-Acaiá infestados com *Meloidogyne exigua* e irrigados com pivô central no (A) número de juvenis do segundo estágio (J₂) e no (B) número de ovos por grama de raiz, em Jaboticatubas, MG. Letras iguais indicam que os tratamentos não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), com 5% de probabilidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, H. D. Aspectos do parasitismo e da privação alimentar do nematóide de galhas (*Meloidogyne javanica*) e do cisto (*Heterodera glycinis*) em soja. 2003. 203 p. Tese (Doutorado e Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CAMPOS, V. P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee and cocoa. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasite nematodes in sub tropical and tropical agriculture**. 2. ed. C.A.B. International Institute of Parasitology, UK., 2004. No prelo.

DATNOF, L. E., DEREN, C. W., SNYDER, G. H. Silicon fertilization for diseases management of rice in Florida. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 6, p. 525-531, 1997.

DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 1182-1183, 1992.

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

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, 1994.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp. , including a new technique. **Plant Disease Reporter**, St Paul, v. 57, p. 1025-1028, 1973.

HUSSEY, R. S.; DAVIS, E. L. Nematode esophageal glands and plant parasitism. p. 258 – 294. In: CHEN, Z. X.; CHEN, S. Y.; DICKSON, D. W. (Ed.). **Nematology advances and perspectives**. Tsinghua: University Press, 2004. p. 258-294.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887 p.

NOVARETTI, W. R. T. Controle biológico de nematóides fitopatogênicos. In: BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA, 1991. Cap. 18, p. 273-283.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; RUSH, M. C.; SEEBOLD, K. W.; LISCOMBRE, S. D. Effects of calcium silicate and resistance on the development of sheath blight in rice. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 27., 1998, Reno. **Proceedings...** Reno: Agricultural Experiment Station, 1998. p. 142.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy, Orlando*, v. 58, p. 151-199, 1997.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis means in the analysis of variance. *Biometrics*, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, L. H. C. P.; CAMPOS, J. R. S.; DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Época e modo de aplicação do acibenzolar-S-metil no manejo de *Meloidogyne incognita* em tomateiro. *Nematologia Brasileira*, 2004. No prelo.