



**MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow
& P. Sydow) COM FUNGICIDAS E SILÍCIO**

LUCIANA MARIA DE LIMA

2006

LUCIANA MARIA DE LIMA

MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*
Sydow & P. Sydow) COM FUNGICIDAS E SILÍCIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de "Mestre".

BIBLIOTECA CENTRAL

UFLA

Nº CLAS T633.349425

LIM

man

Nº REGISTRO 217092

DATA 11 05 107

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

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

Lima, Luciana Maria de

Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)
com fungicidas e silício / Luciana Maria de Lima. -- Lavras : UFLA, 2006.

81 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Soja. 2. Ferrugem. 3. Silício. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD-633.349425

LUCIANA MARIA DE LIMA

**MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow
& P. Sydow) COM FUNGICIDAS E SILÍCIO**

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

APROVADA em 3 de março 2006

Prof. Ph. D. Fabrício de Ávila Rodrigues

UFV

Prof. Dr. Eduardo Alves

UFLA



Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Antônio e Selma, fonte de amor e confiança

Às irmãs, Cláudia e Leila

Aos irmãos, Paulo e Antônio Jr

A sobrinha, Gabriela

Ao Marcos,

Pelo amor que nos une

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos e ter permitido alcançar mais uma meta.

A Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Edson Ampélio Pozza, pela orientação, apoio e incentivo para a execução deste trabalho.

À Adélia Pozza, pelas valiosas sugestões e apoio.

À Profa. Janice, pela amizade, incentivo e sugestões durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Eduardo Alves e ao Prof. Fabrício de Àvila, pelas importantes sugestões e participação na banca de defesa.

A todos os professores e funcionários dos Departamentos de Fitopatologia e de Ciências do Solo.

Aos amigos de turma: Amanda, Dagma, Élide, Fernanda, Flávio, Helena, Jean, Juliana, Marcella e Severina.

Aos amigos: Dejânia, Deila, Eliane, Heloísa Salustiano, Heloísa Leite, Jadir, Renata, Ruth, Valquíria e Zuleide, pela amizade e companheirismo.

Ao Pedro Martins, pela valiosa ajuda nas análises de lignina e clorofila.

Aos estagiários Alécio, Erton, Leandro, Silvio e Thiago, pelo auxílio na condução do trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1	
Manejo da ferrugem da soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>) com fungicidas e silício.....	01
1 Introdução geral.....	02
2 Referencial teórico.....	04
3 Referências bibliográficas.....	15
CAPÍTULO 2: Interação fungicidas x silício na intensidade da ferrugem da soja.....	
1 Resumo	23
2 Abstract.....	24
3 Introdução.....	25
4 Material e métodos.....	26
4.1 Manutenção do inóculo.....	26
4.2 Experimento 1.....	26
4.2.1 Teste de germinação de urediniosporos <i>in vitro</i>	26
4.2.2 Delineamento experimental e análise estatística.....	27
4.3 Experimento 2.....	27
4.3.1 Instalação e condução do experimento.....	27
4.3.2 Avaliação da doença.....	30
4.4 Delineamento experimental e análise estatística.....	30
4.5 Temperatura e umidade relativa do ar.....	31
5 Resultados e discussão.....	32
5.1 Teste de germinação de urediniosporos <i>in vitro</i>	32
5.2 Intensidade da ferrugem da soja em função de fungicidas e silício.....	35
5.2.1 Incidência	35
5.2.2 Severidade	37
5.3 Temperatura e umidade relativa do ar.....	39
6 Conclusões.....	42
7 Referências bibliográficas.....	43
CAPÍTULO 3	
Silício na intensidade da ferrugem da soja.....	45
1 Resumo.....	46
2 Abstract.....	47
3 Introdução.....	48
4 Material e métodos.....	50
4.1 Produção de mudas e solução nutritiva.....	50
4.2 Inoculação do patógeno.....	52
4.3 Avaliação da doença.....	52

4.4 Coleta e armazenamento das amostras para quantificar lignina e pigmentos.....	52
4.5 Quantificação de pigmentos.....	53
4.6 Determinação de lignina.....	53
4.7 Área foliar.....	54
4.8 Matéria seca e análise nutricional das plantas.....	54
4.9 Temperatura e umidade relativa do ar.....	54
4.10 Delineamento experimental e análise estatística.....	54
4.11 Preparo das amostras para observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	55
5 Resultados e discussão.....	56
5.1 Silício na intensidade da ferrugem da soja	56
5.2 Determinação de pigmentos.....	59
5.3 Lignina.....	60
5.4 Área foliar.....	61
5.5 Produção de matéria seca da parte aérea e raiz.....	62
5.6 Análise nutricional da parte aérea.....	63
5.7 Temperatura e umidade relativa do ar.....	68
5.8 Microscopia eletrônica de varredura.....	69
6 Conclusões.....	71
7 Considerações finais	72
8 Referências bibliográficas.....	73
ANEXOS.....	77

RESUMO

LIMA, Luciana Maria. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Atualmente, a ferrugem asiática, cujo agente etiológico é *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais importante para a cultura da soja, no Brasil. O controle é realizado, basicamente, com fungicidas sistêmicos dos grupos triazóis e estrobilurinas. O uso constante de fungicidas com modo de ação específico pode favorecer a seleção de populações resistentes do patógeno. Sendo assim, é necessário alternar produtos com diferentes mecanismos de ação, além disso, desenvolver outras estratégias no controle da doença. O uso da fertilização silicatada proporcionou redução de doenças em várias culturas, tanto em mono quanto dicotiledôneas. Além disso, há relatos do uso de Si associado com fungicidas indicando eficácia na redução de doenças como oídio em abóbora, brusone em grama e ferrugem da soja. Diante disso, objetivou-se avaliar a interação silício x fungicidas na germinação de urediniósporos de *P. pachyrhizi in vitro* e essa interação na intensidade da doença, em casa-de-vegetação. Um segundo ensaio objetivou avaliar o efeito do Si, em solução nutritiva, na intensidade da doença e na nutrição das plantas de soja. Os experimentos foram realizados em casa-de-vegetação na Universidade Federal de Lavras. No primeiro ensaio, observaram-se interações significativas entre as doses de Si e fungicidas em relação à intensidade da doença. As plantas tratadas com 448 mg de Si kg⁻¹ de solo, na ausência de fungicida, reduziram em 28,89% o número de folhas lesionadas e apresentaram 45% menos pústulas/cm² comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). No segundo ensaio, com Si em solução nutritiva observou-se decréscimo linear da AACPS com aumento das doses de Si na solução, aumento do conteúdo de clorofila b, carotenóides e lignina. Além disso, análise foliar de macro e micro nutrientes indicou que os teores de P, Ca, S e Zn, na parte aérea, foram influenciados pelas doses de Si. Por meio de microscopia eletrônica de varredura verificou-se camada de cera epicuticular mais desenvolvida nas plantas que receberam Si na solução comparadas com plantas não supridas com esse elemento.

¹ Comitê de Orientação: Dr. Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr^a. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora).

ABSTRACT

LIMA, Luciana Maria. **Management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) with fungicides and silicon.** 2006. 81 p. Dissertation (Master's degree in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

Currently, soybean rust, whose etiologic agent is *Phakopsora pachyrhizi*, is the most important disease of the soybean crop in Brazil. Control is accomplished basically with systemic fungicides of the triazole and strobilurins groups. The constant use of fungicides in an action specific manner can favor the selection of resistant populations of the pathogen. Thus, it is necessary to alternate products with different action mechanisms and furthermore, to develop other strategies in the control of the disease. The use of silicated fertilization provided reduction of diseases in several cultures, mono as well as dicotyledonous. There are also reports of the use of Si associated with fungicides indicating effectiveness in the reduction of diseases such as powdery mildew in pumpkin, leaf spot in St. Augustinegrass and soybean. Based on this, the objective was to evaluate the interaction of silicon x fungicides on the germination of *P. pachyrhizi* uredospores *in vitro* and this interaction on the intensity of the disease, in a greenhouse. In a second assay the objective was to evaluate the resistance mechanisms associated with Si. Experiments were done in a greenhouse at the Federal University of Lavras, where doses of Si were appraised using, as source, calcium silicate x fungicides and in another experiment doses of Si (potassium silicate). In the first assay, significant interactions among the doses of Si and fungicides were observed in relation to the intensity of the disease. The plants treated with 448 mg of Si kg⁻¹ of soil, in the absence of a fungicide, reduced by 28.89% the number of lesioned leaves and presented 45% less pustules/cm² compared to the control (without Si and without fungicide). In the second assay, with Si in a nutritious solution, a linear decline of AUDPS with an increase of Si doses in the solution, and an increase of the chlorophyll *b* content, carotene and lignin was observed. Besides this a foliar analysis of macro and micro nutrients indicated that the levels of P, Ca, S and Zn, in the aerial part were influenced by the doses of Si. Through scanning electron microscopy it was verified that the epicuticular wax layer was more developed in plants that received Si in the solution compared with plants not supplied with that element.

¹Adviser Committee: Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-advisor).

CAPÍTULO 1

**Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)
com fungicidas e silício**

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill), espécie de origem asiática, é a oleaginosa mais cultivada no mundo e representa um dos principais itens de exportação do agronegócio brasileiro. No Brasil, segundo maior produtor dessa oleaginosa, o cultivo da soja teve grande expansão na última década, quando a produção nacional passou de 23 (safra 1992/93) para 56 milhões de toneladas na safra 2002/03 (Conab, 2004). Esse aumento está relacionado não só à adoção de novas tecnologias, ao melhoramento genético de cultivares e ao aumento da área cultivada, mas, principalmente, à elevada demanda nos países consumidores de soja e seus derivados. Entre os fatores responsáveis por limitar a produção e reduzir o lucro do produtor estão as doenças.

Atualmente, a ferrugem asiática, cujo agente etiológico é o fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow, constitui a principal doença da cultura e destaca-se por aumentar significativamente os custos de produção. Na safra 2003/04, a ferrugem asiática provocou perdas estimadas em US\$ 2 bilhões (Agrianual, 2006).

A preocupação com a doença, no Brasil, teve início após grandes epidemias, em 2002 e 2003. Dessa forma, existem poucos estudos referentes ao manejo e, conseqüentemente, o controle limita-se à aplicação de fungicidas, principalmente do grupo dos triazóis e das estrobilurinas. O uso constante de fungicidas com modo de ação específico pode favorecer a seleção de populações resistentes do patógeno. Sendo assim, é necessário alternar produtos com diferentes mecanismos de ação (Kimati, 1987) e desenvolver outras estratégias no controle da doença. Uma alternativa para reduzir o número de aplicações de fungicidas seria fornecer à planta uma nutrição mineral equilibrada e suficiente para ativar mecanismos de defesa. A nutrição mineral pode contribuir para

reduzir a taxa de progresso de doenças e retardar o início de epidemias. Entre os elementos minerais, o silício foi responsável por resultados promissores, favorecendo a redução da intensidade de doenças tais como: oídio em pepino, brusone em arroz e cercosporiose em café (Menzies et al., 1991; Pozza et al., 2004; Santos et al., 2005; Seebold et al., 2004). O sucesso obtido com esses patossistemas serve como incentivo para ampliar estudos em outras interações patógeno-hospedeiro.

Diante disso, os objetivos deste estudo foram estudar: a interação silício e fungicidas na redução da intensidade da ferrugem da soja, o efeito do silício, em solução nutritiva, na intensidade da doença e a relação desse elemento com a nutrição mineral de plantas de soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Etiologia, sintomas e sinais do patógeno

O agente etiológico da ferrugem da soja foi identificado pela primeira vez em 1902 por Nakanishiki, no Japão, como *Uredo sojae*. Em 1906, Sydow e Butler descobriram a fase de télia e descreveram o patógeno como *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow (Vale, 1985), presente em vários países do mundo. Há relatos de sua ocorrência na Austrália, Rússia, Coréia, Japão, China, Taiwan, Filipinas, Nepal, Índia, Nigéria, Moçambique, Ruanda, Uganda, África do Sul, Zâmbia e Zimbábwe. Na América do Sul, foi constatado pela primeira vez em 2001, no Paraguai e em 2002, no Brasil e na Argentina (Reis & Bresolin, 2004).

No Brasil, na safra de 2001/02, a doença expandiu-se rapidamente para os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso. Nos municípios mais atingidos, as perdas foram estimadas em 59,28 toneladas (Yorinori, 2004).

O sintoma inicial da ferrugem da soja é a clorose, principalmente nas folhas, mas pode aparecer também em pecíolos, caules e vagens, embora seja de difícil visualização. Logo após, aparecem pequenas lesões encharcadas as quais gradualmente aumentam de tamanho evoluindo de cinza para castanho-amareladas ou marrons. Essas lesões podem assumir formato poligonal, e eventualmente, atingem tamanho de 2-5 mm² (Tschanz, 1989).

Nas folhas, os sinais do patógeno ocorrem na página inferior. Com a colonização do tecido hospedeiro a superfície das células epidérmicas rompe-se e libera as pústulas, também denominadas urédias, por onde são liberados os urediniósporos.

A infecção por *P. pachyrhizi* promove rápido amarelecimento ou bronzeamento e queda prematura das folhas, impedindo a formação completa dos grãos (Sinclair, 1989). Como consequência, o tamanho, o rendimento e a qualidade dos grãos são comprometidos.

2.2 Epidemiologia

A ocorrência da ferrugem da soja está diretamente associada ao clima. Temperaturas médias inferiores a 28°C e molhamento foliar de 10 horas ou mais favorecem a infecção da planta. Regiões com altitude superior a 700m são mais favoráveis à ocorrência da doença devido às temperaturas noturnas amenas associadas ao maior número de horas de molhamento. Regiões de menor altitude, porém, com chuvas bem distribuídas, também favorecem o rápido progresso da doença, devido aos longos períodos de molhamento foliar (Agrianual, 2005).

A espécie *P. pachyrhizi* adapta-se à ampla variação de temperatura (Marchetti et al., 1976; Melching, 1989; Tschanz, 1989; Vale, 1985). Na faixa de temperatura entre 15°C a 25°C, foi observada máxima germinação de urediniósporos após 22 horas de incubação em ágar-água. Em temperaturas abaixo de 7°C e acima de 28°C não houve germinação de urediniósporos (Marchetti et al., 1976). Vale (1985) também comparou diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar após inoculação de urediniósporos de *P. pachyrhizi* e observou maior número de lesões/cm² de área foliar (NML= 34,8) quando as plantas foram expostas à temperatura de 20°C, com 24 horas de molhamento foliar. Nessa mesma temperatura, com 6 e 12 horas de molhamento foliar, o NML foi de 20 e 33,0 lesões/cm², respectivamente, ou seja, menor quando comparado a 24 horas de molhamento. O período latente aumentou de 9 para 18 dias quando a temperatura foi elevada de 20°C para 28°C. Nessa última, não houve infecção, independente da duração de água na superfície das folhas.

Na faixa entre 18°C a 26,5°C, Melching et al. (1989) relataram número de lesões 10 vezes maior quando o molhamento foliar aumentou de 6 para 8 horas, ou seja, a permanência de água livre na folha por maior tempo é essencial para os processos de germinação e infecção.

2.3 Manejo da doença

O progresso da doença resulta da interação entre a planta suscetível, o patógeno agressivo e o ambiente favorável sob a interferência do homem. Entre os fatores ambientais, a temperatura e a umidade, na superfície da planta, são os mais importantes para o início e o progresso de doenças (Agrios, 2005). Considerando a adaptação de *P. pachyrhizi* à ampla variação de temperatura e molhamento foliar, o acompanhamento das variáveis climáticas torna-se fundamental para auxiliar no controle da doença.

Eliminar espécies hospedeiras na entressafra, incluindo a soja, também pode consistir em medida importante para reduzir o inóculo inicial no campo, quando realizado em grandes áreas de forma coletiva. O agente etiológico da ferrugem da soja é biotrófico e, portanto, necessita do hospedeiro vivo para completar seu ciclo de vida. Ao contrário de outras ferrugens, *P. pachyrhizi* infecta ampla gama de espécies de plantas, principalmente leguminosas (Ono et al., 1992).

O uso de cultivares resistentes seria outra importante medida de manejo da doença, porém, a disponibilidade de cultivares resistentes é limitada, sendo a maioria das cultivares comerciais suscetível (Godoy & Canteri, 2004). Diante disso, o controle químico, por meio do uso de fungicidas, é, basicamente, a medida mais utilizada.

Ainda não há registros de fungicidas protetores do grupo dos cúpricos, ditiocarbamatos e fitolnitrilas eficazes no controle da ferrugem da soja. Sendo assim, o controle da doença é realizado principalmente com fungicidas

sistêmicos do grupo dos triazóis e misturas de triazóis + estrobilurinas. Godoy & Canteri (2004) estudaram o efeito protetor, curativo e erradicante dos fungicidas sistêmicos azoxystrobin 50 g.i.a/ ha, tebuconazole 100 g.i.a/ha, difeconazole 50g.i.a/ha e epoxiconazole 25g.i.a/ha + pyraclostrobin 66,5 g.i.a/ha e do protetor carbendazin 250 g.i.a/ ha. Antes da inoculação, todos os fungicidas testados apresentaram efeito protetor, aos 4 dias após o tratamento. No entanto, as plantas tratadas com triazóis e com a mistura de triazol mais estrobilurina não apresentaram sintomas e o controle foi superior a 90%, aos 8 dias após a aplicação de fungicidas. Nenhum dos fungicidas atuou de forma erradicante, quando aplicados dois dias após a inoculação. O efeito curativo reduziu com o atraso na data de aplicação.

Apesar de eficazes, esses produtos são de alto custo e, na maioria das vezes, são necessárias duas ou mais aplicações, onerando os custos de produção. Além disso, o uso contínuo de fungicidas com mesmo princípio ativo pode resultar em resistência do patógeno a esses produtos. Portanto, outras estratégias de controle economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis, porém, com boa relação custo benefício, poderiam contribuir para o manejo da doença, entre elas, a nutrição mineral.

2. 4 Silício no controle de doenças

2. 4.1 Essencialidade x acúmulo

O silício (Si) não é considerado elemento essencial às plantas (Jones & Handreck, 1967; Malavolta et al., 1997; Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 2001) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é essencial quando, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, não

pode ser substituído por nenhum outro elemento, tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce nenhum papel neutralizador de efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para a planta (Malavolta, 1980).

Mesmo não sendo essencial, a absorção e o acúmulo de Si pelas plantas trazem inúmeros benefícios (Marschner, 1995). Os efeitos benéficos do silício restringiam-se a algumas espécies das famílias Poaceae e Cyperaceae (Epstein, 1999). No entanto, foram relatados benefícios às plantas de abóbora, pepino (Heckman, 2003; Miyake & Takahashi, 1983), algodão (Gama et al., 2004; Lemes et al., 2004), café (Pozza et al., 2004; Santos et al., 2005) e a várias olerícolas, como o tomate (Miyake & Takahashi, 1978; Lana et al., 2002), a cenoura (Juliatti, et al., 2003), a alface (Sobrinho et al., 2004) e as ornamentais, como a rosa (Voogt & Sonneveld, 2001), apresentaram resposta à adição do Si.

Podem-se dividir os efeitos benéficos do Si, relatados por Marschner, (1995) sobre o crescimento das plantas em dois grupos: benefício físico e fisiológico. Os benefícios físicos estão relacionados ao acúmulo do Si na parede celular das plantas, reduzindo a perda d'água, melhorando a arquitetura das plantas e constituindo barreira física à penetração de fitopatógenos e de insetos (Bélanger et al., 1995; Bowen et al., 1992; Datnoff et al., 1997; Epstein, 1994; Marschner, 1995; Pozza & Pozza, 2003; Samuels et al., 1993; Santos et al., 2005). Os benefícios fisiológicos são pouco estudados. Alguns autores relatam que plantas adubadas com Si apresentam maior atividade fotossintética e resistência ao ataque de fitopatógenos e pragas, devido ao fato de o Si induzir uma série de reações metabólicas nas plantas, resultando na formação de compostos com atividade antimicrobiana (Menzies et al., 1991).

De maneira geral, os efeitos benéficos do Si em plantas estão envolvidos na adaptação dessas às condições de estresses bióticos, como ataque de fitopatógenos, e abióticos, como estresse hídrico, toxidez de metais (Mn, Cu,

Cd, etc.) e salinidade (Epstein, 1999; Rogalla & Römheld, 2002; Heckman et al., 2003; Zhu et al., 2004).

Quanto ao acúmulo de Si, as plantas são classificadas em acumuladoras, ou seja, aquelas cujos teores de SiO₂ variam de 1% a 3% na matéria seca e não acumuladoras, plantas com menos de 0,5% de SiO₂ (Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 2001). Posteriormente, outros conceitos foram relatados, sendo definidas como acumuladoras as plantas com teor de Si superior a 1% e com relação Si/Ca maior do que 1. Plantas da família Poaceae, como o arroz e o trigo, são exemplos deste grupo. Plantas como a soja e as da família Curcubitaceae, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém, com relação Si/Ca inferior a 1, são classificadas como de exigência intermediária. Já plantas não acumuladoras apresentam como característica concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5% (Ma et al., 2001).

2. 4. 2 Absorção, transporte e redistribuição

O Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H₄SiO₄), porém, seu teor na planta é variável entre as espécies (Epstein, 1994). Segundo Jones & Handreck (1967), o Si é absorvido na forma não aniônica [Si(OH)₄], passivamente via fluxo transpiratório.

O transporte do Si a longa distância, em plantas, é limitado ao xilema (Balastra et al., 1989). O Si é depositado, principalmente, na forma de SiO₂.nH₂O amorfa ou opala. Segundo Yoshida (1975), no interior da planta, 99% do Si acumulado encontram-se na forma de ácido silícico polimerizado e o restante na forma coloidal ou iônica. A precipitação do Si na planta pode ocorrer tanto na parte aérea quanto nas raízes (Hodson & Sangster, 1988) e, uma vez nesta forma, o Si não sofre redistribuição (Raven, 1983).

2. 5 Alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas fertilizadas com Si

Em função de uma camada dupla de sílica abaixo da cutícula, as plantas mantêm as folhas mais eretas, promovendo maior aproveitamento da luz (Yoshida et al., 1969). Na biossíntese da clorofila, a ciclização de um dos anéis é uma reação dependente de luz (Taiz & Zeiger, 2004). Assim, quanto maior a exposição das folhas à luz, maior é a biossíntese da clorofila e, conseqüentemente, maior a eficiência na interceptação de luz e transmissão de elétrons para os fotossistemas I e II, da fase fotoquímica da fotossíntese. Nessa fase da fotossíntese, os elétrons captados possuem diferentes destinos, sendo uns deles a produção de poderes redutores (ATP e NADPH+H⁺) para a assimilação de CO₂ pela ribulose bifosfato carboxilase (rubisco) no Ciclo de Calvim e produção de formas reativas de oxigênio nas plantas, como os radicais superóxido (O₂[•]), oxidrilo (OH[•]) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2004).

Adatia & Besford (1986) relataram aumento no teor de clorofila total, ou seja, a + b e atividade da rubisco em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva com Si. Segundo os autores, a atividade da rubisco foi 50% superior em relação às plantas não fertilizadas com Si.

2. 6 Silício no controle de doenças de plantas

A correlação entre o Si e a redução de doenças em plantas foi discutida em vários trabalhos, incluindo monocotiledôneas, como o arroz e a cana e dicotiledôneas, por exemplo, o café, o pepino, o limão-cravo e a soja, acumuladoras ou não de Si.

No arroz, plantas crescidas em substrato contendo silicato de cálcio (wollastonita nas doses de 0, 2, 4, 6 e 8 ton ha⁻¹) apresentaram redução na severidade da queima das bainhas (*Rhizoctonia solani* Kuhn) (Rodrigues, 2000), enquanto, na cultura da cana, Raid et al. (1992) observaram redução de até 67%

na severidade da mancha ocular (*Leptosphaeria sacchari* Vann Breda de Hann) nas plantas tratadas com 6.700 kg ha⁻¹ de escória de silicato de cálcio em cinco cultivares estudadas.

O efeito inibitório do Si no desenvolvimento de doenças não é restrito às monocotiledôneas, acumuladoras típicas desse elemento. Existem relatos para culturas de café, pepino, limão-cravo e soja, entre outras. Silicato de sódio e de cálcio nas dosagens de 0,31; 0,63 e 1,26 gramas de Si por quilo de substrato proporcionaram redução da incidência da cercosporiose do cafeeiro (*Cercospora coffeicola* Berk & Cooke) e aumento no teor de lignina nas folhas até a dose de 0,52 g de Si kg⁻¹ de substrato (Santos, 2005). No mesmo patossistema, houve redução de 63,2% no número de lesões em folhas de cafeeiro “cultivar Catuaí” utilizando 1 grama de silicato de cálcio por quilo de substrato (Pozza et al., 2004). Observações em microscópio eletrônico de varredura revelaram espessamento da cutícula na superfície inferior das folhas das plantas tratadas com silício, além do acúmulo de lignina.

Pepineiros cultivados em solução nutritiva contendo silicato de sódio e inoculados com o fungo *Podosphaera xanthii* syn. *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht: Fr.) Poll apresentaram menor número de colônias por folha, menor área da colônia e redução do poder germinativo dos conídios comparados com plantas não supridas com Si (Menzies et al., 1991).

Limoeiro-cravo inoculado com *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* (Dastur) Waterh e cultivado em solução nutritiva com 100 mg kg⁻¹ de SiO₂, na forma de metassilicato de sódio, apresentaram redução do comprimento das lesões em 49,12% e 20,53%, aos 4 e 7 dias após inoculação, respectivamente (Faggiani, 2002).

O efeito do Si também foi relatado para plantas de soja, classificadas como acumuladoras intermediárias desse elemento. O fornecimento de 40 mg L⁻¹ de silicato de potássio, via solução nutritiva, aumentou a resistência ao cancro

da haste agente etiológico *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis* (Morgan-Jones) e promoveu redução em até 90% das lesões (Lima, 1998).

2. 7 Modo de ação do Si no controle de doenças

O modo de ação do Si na resistência das plantas às doenças pode ocorrer pela formação de barreira física ou bioquímica.

A formação de barreira física relaciona-se com a forma do Si acumular nas plantas. Em seu movimento ascendente via apoplasto das raízes para as folhas, o Si sofre polimerização nos espaços extracelulares das paredes das células epidérmicas, das folhas e dos vasos do xilema, fortificando estruturas da parede celular (Epstein, 1994).

Folhas de videira infectadas com *Uncinula necator* (Schwein) Burril e pulverizadas com 17 mM de silicato de potássio apresentaram 14% menos colônias quando comparadas com plantas controle. Os autores atribuíram a redução da severidade do oídio da videira à formação de barreira física, dificultando a penetração das hifas (Bowen et al., 1992).

Contudo, para obter bons resultados do efeito do Si, é necessário o suprimento contínuo desse elemento. Pepineiros infectados com *Podosphaera xanthii* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*), transferidos para solução nutritiva contendo Si, apresentaram rápida silificação do tecido foliar, principalmente na base dos tricomas e nos sítios de infecção, aumentando a resistência das plantas ao patógeno. Porém, quando essas plantas foram retornadas para solução nutritiva sem a adição de Si, a resistência ao fungo foi perdida (Samuels et al., 1991).

Por outro lado, estudos recentes citam que o silício pode ter papel ativo na resistência das plantas às doenças, por meio do estímulo de reações de defesa (Fawe, 2001).

Rodrigues et al. (2003) observaram, em microscópio eletrônico de transmissão, secções ultrafinas de folhas de arroz fertilizadas ou não com silício e infectadas por *Magnaporthe grisea* (T. T. Hebert) Yaegashi & Udagawa, agente causador da brusone. Detalhes ultraestruturais revelaram a colonização do fungo na epiderme, mesófilo e tecido vascular 72 horas depois da inoculação, enquanto, em plantas fertilizadas com silício, as hifas do fungo permaneceram restritas à epiderme onde ocorreu acúmulo de compostos fenólicos.

Plantas de pepino inoculadas com *Pythium aphanidermatum* (Eds.) Fitzp. apresentam maior atividade de peroxidases e polifenoloxidasas quando supridas com 1,7 mM de silício na forma de silicato de potássio, em solução nutritiva. Além disso, os extratos protéicos das plantas infectadas e com níveis altos de Si apresentaram aumento na atividade da β -glicosidase. Esta pode associar-se com agliconas fungitóxicas presentes nas raízes de plantas apresentando eficácia na supressão de *Pythium* sp. (Chérif, 1994).

Em outro estudo com pepineiro, plantas cultivadas em solução nutritiva contendo metassilicato de potássio e inoculadas com *Podosphaera xanthii* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*) apresentaram maior atividade de peroxidase, polifenoloxidase e quitinase. As plantas inoculadas e tratadas com Si apresentaram maior atividade dessas enzimas, comparadas com plantas supridas com Si e não inoculadas com o patógeno (Liang et al., 2005). Peroxidases são enzimas que participam de vários processos, incluindo a biossíntese de lignina (Siegel, 1993). Já as quitinases hidrolisam quitina e podem estar envolvidas na defesa das plantas contra fungos (Guzzo et al., 2004).

O silício associado aos fungicidas pode ser aplicado no manejo de doenças. Brecht et al. (2004) verificaram que silicato de cálcio, sozinho, reduziu em até 41% a brusone em grama Santo Agostinho. A associação silicato de cálcio e fungicidas protetores chlorothalonil promoveu redução de 68% na AACPD, comparando plantas tratadas e não tratadas com silicato.

Plantas de soja pulverizadas somente com silicato de potássio (60g/L) apresentaram redução de 34% na severidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), enquanto a mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e a mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + pyraclostrobin) reduziram a severidade da doença em 76% e 83,3%, respectivamente (Nascimento et al., 2005).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRIANUAL 2005. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP: Consultoria & Comércio, 2005.

AGRIANUAL 2006. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP: Consultoria & Comércio, 2006.

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

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

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

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

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

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

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 04 out. 2004.

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

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of the National Academy Science**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, Jan. 1994.

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

FAGGIANI, E. P. O silício na defesa do limão rugoso (*Citrus jambhiri*) a *Phytophthora nicotianae* pv. *parasitica*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

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

GAMA, A. J. M.; KORNDÖRFER, G. H.; JULIATTI, F. C.; NOLLA, A.; BUCK, G. B.; ARAÚJO, L. S. Controle de doenças fúngicas na cultura do algodão com adubação de silício via solo e foliar. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC. **Resumos...** Lages-SC, 2004. 1CD-ROM.

GODOY, V. C.; CANTERI, M. G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 97-101, jan./fev. 2004.

GUZZO, D. S.; HARAKAVA, R.; TSAI, SIU, MUI. Expressão de genes associados à resistência sistêmica adquirida. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS, 2.; SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS, 4., 2004, Lavras, 2004. p. 59-69.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hort Science**, Alexandria, v. 38, n. 4, p. 552-554, July 2003.

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

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

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

KIMATI, H. Resistência de fungos fitopatogênicos a substâncias químicas usadas no controle de doenças de plantas. In: Congresso Paulista de Fitopatologia, 10, Piracicaba, **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 13, n. 1/2, p. 72-74, jan./jun. 1987.

LANA, R. M. Q.; CÉSAR, E. U. R.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro, **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 708, jun. 2002. Suplemento 2.

LEME, E.; GAMA, A. J. M.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; BITTENCOURT, M. F.; PACHECO, L. P. Eficiência do silício (NaSiO₃) aplicado via foliar na nutrição de plantas de algodão. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC, **Resumos...** Lages-SC, 2004. 1CD-ROM.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; J. SI.; ROMHELD. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, n. 5, p. 678-685, Oct. 2005.

LIMA, M. T. G. de. 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, SP.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H.

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

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 66, n. 4, p. 461-463, Apr. 1976.

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

MELCHING, J. S. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, St. Paul, v. 73, n. 2, p. 117-122, Feb. 1989.

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

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERT, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, London, v. 39, n. 6, p. 403-414, Dec. 1991.

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

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

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of potassium silicate combine or not with systemic or protector fungicides on the control of asian soybean rust. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 121.

ONO, Y.; BURITICA, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on leguminosae. **Mycological Research**, New York, v. 96, n. 10, p. 825-850, Oct. 1992.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no

controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, mar./abr. 2004.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doença de plantas com macro e micronutrientes, **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 52-54, jan./abr. 2003.

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 sugarcane. **Crop Protection**, Oxford, v. 11, n. 1, p. 84-88, Feb. 1992.

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

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Ferrugem da soja: revisão e aspectos técnicos. In: FORCELINI, C. A.; REIS, E. M.; GASSEN, F.; YORINORI, J. T.; HOFFMANN, L.; COSTAMILAN, L.; SILVA, O. C. da; BALARDIN, R.; CASA, R. T. **Doenças na cultura da soja**. Aldeia Norte, 2004. p. 55-70,

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

RODRIGUES, F. À.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BÉLANGER, R. R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n. 5, p. 535-547, May 2003.

ROGALLA, H.; RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 549-555, Apr. 2002.

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

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

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

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

SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases-an organismic perspective. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 12, n. 3, p. 303-312, Feb. 1993.

SINCLAIR, J. B. Threats to soybean production in the tropics: red leaf blotch and leaf rust. **Plant Disease**, St. Paul, v. 73, n. 7, p. 604-606, July 1989.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: SATARÉM, E. R., [et al.]. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TSCHANZ, T. A. Rust. In: SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 3. ed. Saint Paul: APS Press, 1989. p. 24-27.

VALE, F. X. R. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) da soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1985. 104 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: ocorrência no Brasil e estratégias de manejo. In: FORCELINI, C. A.; REIS, E. M.; GASSEN, F.; YORINORI, J. T.; HOFFMANN, L.; FORCELINI, C. A.; REIS, E. M.; GASSEN, F.; YORINORI, J. T.; HOFFMANN, L.; COSTAMILAN, L.; SILVA, O. C. da; BALARDIN, R.; CASA, R. T. **Doenças na cultura da soja**. Aldeia Norte, 2004. p. 77-84.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S. A.; RAMIREZ, E. A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant, **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 31, n. 1, p. 48-56, 1969.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science, Serie B**, Hokaido, v. 15, n. 1, p. 1-58, 1975.

ZHU, Z. J.; WEI, G. Q.; LI, J.; QIAN, Q. Q.; YU, J. Q. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science, Clare**, v. 167, n. 3, p. 527-533, Sept. 2004.

CAPÍTULO 2

**Interação fungicidas x silício na intensidade da ferrugem da soja
(*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)**

1 RESUMO

LIMA, Luciana Maria. Interação fungicidas x silício na intensidade da ferrugem asiática. In: **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Atualmente, a ferrugem asiática, cujo agente etiológico é *P. pachyrhizi*, constitui grande ameaça para a cultura da soja e o controle é realizado, basicamente, com fungicidas sistêmicos. A nutrição mineral pode auxiliar no manejo dessa doença. O objetivo deste ensaio foi avaliar o efeito do silício, utilizando, como fonte, silicato de cálcio na germinação de urediniósporos de *P. pachyrhizi* “in vitro” e na intensidade da doença, em casa-de-vegetação. O primeiro ensaio foi em blocos ao acaso, com 20 tratamentos e 4 repetições, sendo a análise de variância em esquema fatorial 5x4, ou seja, 5 doses de Si, 3 fungicidas e testemunha (sem fungicida). O segundo experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia/UFLA, utilizando-se delineamento em blocos ao acaso com 20 tratamentos e 4 repetições. A análise de variância foi realizada em esquema fatorial 5x4, isto é, 5 doses de Si, 3 fungicidas e a testemunha. As doses de Si utilizadas nos dois ensaios foram (0; 112; 224; 336 e 448 mg kg⁻¹) e fungicidas chlorothalonil (750 i.a), epoxiconazole (50 g/L), epoxiconazole + pyraclostrobin (133g/L). As plantas foram inoculadas no estágio V4 e, 9 dias após a inoculação, iniciaram-se as avaliações, totalizando 5 avaliações de incidência e severidade da ferrugem da soja. Ao final do experimento, os dados foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS). No ensaio “in vitro”, a dose de 448 mg L⁻¹ inibiu em 30,36% a germinação dos urediniósporos comparada com a testemunha. No ensaio, em casa-de-vegetação, observaram-se interações significativas entre as doses de Si e fungicidas em relação à intensidade da doença. As plantas tratadas com 448 mg de Si por quilo de solo, na ausência de fungicida, reduziram em 28,89% o número de folhas lesionadas e apresentaram 45% menos pústulas/cm², comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida).

Comitê de Orientação: Dr. Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr^a. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora).

2 ABSTRACT

LIMA, Luciana Maria. Interaction fungicides x silicon on the intensity of soybean rust. In: **Management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) with fungicides and silicon**. 2006. 81 p. Dissertation (Master's degree in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.

Nowadays, soybean rust, whose etiologic agent is *P. pachyrhizi*, constitutes a great threat to the crop and the control is accomplished basically with systemic fungicides. Mineral nutrition can aid in the handling of that disease. The aim of this assay was to evaluate the effect of silicon on the “in vitro” germination of uredospores and on the intensity of the disease, in a greenhouse. The first assay was in random blocks with 20 treatments and 4 repetitions the variance analysis being a 5x4 factorial outline, in other words, 5 doses of silicon, 3 fungicides and control (without fungicide). The second experiment was done in a greenhouse at the Department of Phytopathology/UFLA, using a random block layout with 20 treatments and 4 repetitions. The variance analysis was done in a factorial outline of 5x4, that is, 5 silicon doses, 3 fungicides and the control. The doses of Si used in the two assays were (0; 112; 224; 336 and 448 mg kg⁻¹) and fungicides chlorothalonil (750 i.a), epoxiconazole (50 g/L), epoxiconazole + pyraclostrobin (133g/L). The plants were inoculated at the V4 stage and 9 days after the inoculation the evaluations began totaling 5 evaluations of the incidence and severity of soy rust. At the end of the experiment, the data were integrated together with time obtaining the area under disease curve progress incidence (AUDPCI) and area underdisease curve progress severity (AUDPCS). In the *in vitro* assay the dose of 448 mg L⁻¹ inhibited by 30.36% the germination of the uredospores compared with the controll. In the assay in the greenhouse significant interactions among the doses of Si and fungicides in relation to the intensity of the disease were observed. The plants treated with 448 mg of Si kg⁻¹ of soil, in the absence of fungicide, reduced by 28.89% the number of lesioned leaves and presented 45% less pustules/cm² compared to the control (without Si and without fungicide).

¹Adviser Committee: Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dr^a. Janice Guedes de Carvalho (Co-advisor).

3 INTRODUÇÃO

Atualmente, a ferrugem asiática, cujo agente etiológico é o fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow, é a doença mais importante da cultura da soja. Estima-se em mais de 60% as áreas produtoras de soja atingidas pela ferrugem, resultando em perdas consideráveis. Na safra 2003/04 os prejuízos com essa doença chegaram a U\$ 2 bilhões, somando os custos com fungicidas e as perdas (Agrianual, 2005).

O controle da ferrugem da soja é realizado, basicamente, com fungicidas do grupo dos triazóis e das estrobilurinas. Existem poucos estudos com fungicidas protetores no controle dessa doença. O uso constante de fungicidas com modo de ação específico pode favorecer a seleção de populações resistentes do patógeno. Sendo assim, é necessário alternar produtos com diferentes mecanismos de ação (Kimati, 1987) e além disso desenvolver outras estratégias no controle da doença. A nutrição mineral, pode auxiliar no manejo da doença. Dentre os elementos minerais, o Si, destaca-se por reduzir a severidade de doenças em vários patossistemas (Epstein, 1999).

Além disso, há relatos do uso de Si associado com fungicidas indicando eficácia na redução de doenças como oídio em abóbora, brusone em grama Santo Agostinho e ferrugem da soja (Brecht, 2004; Heckman, 2003; Nascimento et al., 2005). O sucesso obtido com silício nesses patossistemas serve como exemplo para ampliar estudos com outras doenças e seus agentes etiológicos. Diante disso, objetivou-se avaliar a interação do silício e de fungicidas na germinação de uredinósporos de *P. pachyrhizi in vitro* e a interação fungicidas x silício na intensidade da doença em casa-de-vegetação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados e conduzidos em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia (DFP), na Universidade Federal de Lavras, a uma altitude de 918 metros, latitude Sul de 21°14' longitude Oeste 45°00', no período de julho a dezembro de 2005.

4.1 Manutenção do inóculo

Sementes de soja da cultivar Conquista (MG BR-46), suscetível à ferrugem da soja, foram semeadas em vasos plásticos contendo cinco quilos de Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf). A semeadura foi realizada manualmente colocando quatro sementes por vaso e, após emergência, realizou-se desbaste, deixando duas plantas em cada vaso.

Trinta e cinco dias depois de emergidas, as plantas foram inoculadas com suspensão de 1 mg de urediniosporos de *P. pachyrhizii*/ ml de água + tween 20 a 0,05%, preparada no momento da inoculação (Vale, 1985). A inoculação foi realizada na face inferior dos folíolos já completamente expandidos. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com sacos plástico para fazer câmara úmida por 12 horas. Essas plantas foram mantidas em casa-de-vegetação para coleta de urediniosporos, os quais foram armazenados em nitrogênio líquido (-196°C) e utilizados posteriormente.

4.2 Experimento 1

4.2.1 Teste de germinação *in vitro*

Para o teste de germinação, preparou-se suspensão de 2×10^4 urediniosporos/mL em água destilada e tween 20 (0,05%). Pipetaram-se 50 µL dessa suspensão e espalhando-os em placas de petri contendo ágar-água 2% com

os tratamentos: chlorothalonil (750 i.a), epoxiconazole (50 g/L), epoxiconazole + pyraclostrobin (133g/L), testemunha (sem fungicida) e doses de silicato de cálcio (63% SiO₂) correspondente a 0; 112; 224; 336 e 448 mg de Si, totalizando 20 tratamentos. Para isso, as diferentes doses de Si foram colocadas, separadamente, em béquer contendo água destilada e a mistura foi agitada por 5 minutos. Em seguida, realizaram-se quatro leituras de pH para cada uma das doses de Si. As placas contendo os devidos tratamentos foram colocadas em BOD sob temperatura de 23° C por 4 horas, em regime de luz. Após esse período, avaliou-se a porcentagem de urediniósporos germinados com microscópio de luz. Para isso, as placas foram divididas em quatro compartimentos e, em cada um destes, contaram-se 50 esporos ao acaso. Foram considerados germinados os urediniósporos que apresentavam comprimento do tubo germinativo maior do que o menor diâmetro do esporo.

4. 2. 2 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições, sendo cada placa uma repetição. A análise de variância foi em esquema fatorial 5x4, ou seja, 5 doses de silício, 3 fungicidas e testemunha (sem fungicida). A análise estatística do experimento foi realizada no programa SISVAR, versão 4.6 (Build 6.1). As variáveis significativas no teste F foram submetidas ao teste de Tukey e ao ajuste de modelos de regressão.

4. 3 Experimento 2

4. 3. 1 Instalação e condução do experimento em casa-de-vegetação

Foi utilizado Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) coletado em Lavras, MG. Após secagem, esse substrato foi coberto com lona plástica preta e fumigado com brometo de metila (150 mL m⁻³ de solo), por sete dias. Esse solo foi, então, separadamente, colocado em sacos plásticos com capacidade para 10

litros, recebendo doses de silicato de cálcio correspondente a 0; 112; 224; 336 e 448 mg de Si kg⁻¹ de solo + CaCO₃ e misturado de forma homogênea. Em seguida, despejou-se essa mistura em vasos com capacidade para 5 litros e adicionou-se água destilada até a capacidade de campo.

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

TABELA 1. Atributos químicos do solo utilizado no experimento. Laboratório de Análise de Solos. DCS/UFLA, 2005.

Atributos	To
pH	5,3
Al (cmolc dm ⁻³)	0,0
H + Al (cmolc dm ⁻³)	2,3
SB (cmolc dm ⁻³)	0,5
T (cmolc dm ⁻³)	2,8
t (cmolc dm ⁻³)	0,5
V (%)	18,1
P (mg dm ⁻³)	0,6
K (mg dm ⁻³)	3
Ca ⁺² (cmolc dm ⁻³)	0,4
Mg ⁺² (cmolc dm ⁻³)	0,1
Si (mg dcm ⁻³)	11,6

pH em água, KCl e CaCl₂ 1:2,5; P e K- extrator mehlich 1; Ca, Mg e Al- extrator KCl 1N; H + Al: extrator SMP; SB= soma de bases trocáveis; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T)= capacidade de troca catiônica a PH 7,0; V= índice de saturação por bases.

Essa NC calculada corresponde ao tratamento 1 (100% de CaCO_3). Calculou-se quanto de CaO (elemento comum aos dois produtos utilizados, CaSiO_3 e CaCO_3 encontra-se nesse tratamento (1).

Em seguida, calculou-se a porcentagem correspondente para os outros tratamentos, obtendo-se assim a mesma concentração de CaO para todos os tratamentos. Dessa forma, os tratamentos tiveram as proporções de substituição do CaCO_3 (56% de CaO) por CaSiO_3 (16% de CaO), com base no teor de CaO desses produtos. Portanto o nível de saturação por bases e a quantidade de cálcio foram iguais em todos os tratamentos, variando somente a dose de silício.

Os tratamentos foram incorporados ao solo 30 dias antes da semeadura da soja. Após esse período, sementes de soja cultivar MG BR-46 (Conquista) foram semeadas manualmente colocando quatro sementes por vaso. Após a emergência realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. A adubação das plantas foi realizada de acordo com recomendação de Malavolta (1980) para adubações em vasos para experimento em casa de vegetação. Utilizaram-se 300 mg.dm^{-3} de N, 300 mg.dm^{-3} de K, 200 mg.dm^{-3} de P, 30 mg.dm^{-3} de Mg, 50 mg.dm^{-3} de S, $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ de B, $1,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Cu, $3,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Mn, $0,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Mo, $5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Zn.

Trinta e cinco dias após semeadura, dois pares de folhas trifolioladas do terço médio da planta foram inoculados com uma suspensão de 2×10^4 urediniósporos mL^{-1} de água + Tween 20 a 0,05%, preparada no momento da inoculação. A inoculação foi realizada na face inferior dos folíolos já completamente expandidos. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com sacos plásticos, sob temperatura de 25°C , por 12 horas. Nos estádios V4 (dois dias antes da inoculação) e R1 aplicou-se chlorothalonil (fungicida protetor) e nos estádios V4 (cinco dias após inoculação) e R1 foram aplicados fungicidas sistêmicos: triazol (epoxiconazole) e triazol + estrobilurina

(epoxiconazole + pyraclostrobin). As plantas de soja foram mantidas em casa-de-vegetação durante toda a condução do ensaio.

4.3.2 Avaliação da doença

A avaliação da intensidade da ferrugem teve início aos nove dias após a inoculação (estádio V6). Foram realizadas seis avaliações semanais da incidência e da severidade. A incidência foi avaliada pelo número de folhas com lesões por planta em relação ao total de folhas. A severidade foi quantificada pela contagem do número de pústulas/cm² em folhas do terço médio das plantas. Para isso, as folhas foram marcadas fazendo-se um quadrado de 1cm² de área, nos dois lados do limbo foliar. Ao final das avaliações, os dados de incidência e de severidade foram integrados utilizando-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para incidência (AACPI) e para severidade (AACPS), de acordo com Campbell & Madden (1990), calculadas pela seguinte fórmula:

$$AACPD = \sum_i^{n-1} [(x_i + x_{i+1}) / 2 * (t_{i+1} - t_i)]$$

em que, n é o número de avaliações, x é a proporção da doença e (t_{i+1} - t_i) é o intervalo entre avaliações.

4.4 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo cada dois vasos considerados uma repetição. A análise de variância foi realizada em esquema fatorial 5x4, isto é, 5 doses de Si, 3 fungicidas e a testemunha (sem pulverização com fungicidas). A análise estatística do experimento foi realizada no programa SISVAR, versão 4.6 (Build 6.1), do qual foram obtidos análise de variância e ajuste de modelos, cujos resultados foram significativos no teste F, considerando significância fixada em 5%. As variáveis qualitativas significativas

no teste de F foram submetidas ao teste de Tukey e as variáveis quantitativas à análise de regressão para ajustar os modelos.

4.5 Temperatura e umidade relativa do ar

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar na casa-de-vegetação foi realizado durante toda a condução do ensaio com termohigrógrafo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1

5.1 Teste de germinação de urediniósporos *in vitro*

Houve interação significativa entre as doses de Si e os fungicidas. Em todas as doses de Si, os fungicidas foram eficazes, com diferença significativa na redução da germinação de urediniósporos, comparados com a testemunha sem fungicida (Tabela 1).

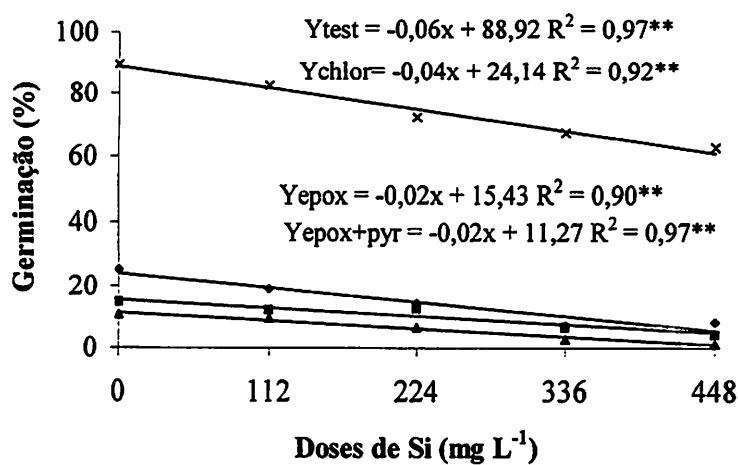
TABELA 1. Médias e % de redução da germinação de urediniósporos de *P. pachyrhizi*, em diferentes tratamentos

Doses de Si (mg kg ⁻¹)	Fungicidas			
	testemunha	chlorothalonil	epoxiconazole	epoxiconazole + pyraclostrobin
0	89,7 a	25,4 b	14,7 c	10,7 c
112	82,7 a	19,1 b	12,2 c	9,4 c
224	72,4 a	14,4 b	12,5 b	6,5 c
336	67,2 a	8,0 b	6,6 b	2,6 b
448	62,5 a	7,0 b	4,1 b	1,1 b
CV(%)	13			
Redução (%)	30,4	72,4	72,1	89,5

Médias com mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação.

Quando utilizaram-se 0 ou 112 mg de Si, os fungicidas epoxiconazole e epoxiconazole + pyraclostrobin não diferiram entre si, mas, apresentaram diferença significativa em relação ao fungicida protetor e testemunha. Nas doses 336 e 448 de Si, não houve diferença significativa entre os fungicidas, tanto protetores quanto sistêmicos.

Com o aumento das doses de Si (Figura 1), a germinação de urediniósporos reduziu linearmente, independente do fungicida utilizado e da testemunha. Furtado et al. (2004), em trabalhos com germinação de *in vitro*, utilizaram silicato de cálcio (37% de SiO₂) e também constataram redução na porcentagem de germinação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi*. De acordo com os autores, a concentração de 2% do produto (345,3 mg de Si) foi suficiente para inibir 100% da germinação.



♦ chlorothalonil ■ epoxiconazole ▲ epoxiconazole+pyraclostrobin × testemunha

FIGURA 1- Porcentagem de germinação de urediniósporos de *P. pachyrhizi* em função de doses de Si nos tratamentos com fungicidas e testemunha.

A maior concentração de Si (448 mg L⁻¹) inibiu a germinação em 30,36%, comparado com a testemunha absoluta. Quando a dose de Si variou de 0 a 448 mg L⁻¹, o fungicida protetor reduziu a germinação em 72%. Fungicidas sistêmicos aplicados sozinhos ou em mistura com silicato de cálcio apresentaram maior eficácia na redução da germinação.

O silicato pode ter interferido em algum processo metabólico, pois, existe a possibilidade do produto ter atuado como um sal. Sendo assim, pode ter ocorrido alteração do potencial osmótico do meio, reduzindo a absorção de água e inibindo a germinação dos urediniósporos. Por outro lado, à medida que aumentou-se a dose de Si no meio de cultura, houve aumento do pH do meio (Figura 2) até a dose 285,7 mg L⁻¹ de Si, reduzindo logo após essa dose. Sendo assim, o pH também pode ter interferido no processo de germinação dos urediniósporos, embora, entre 112 e 448 mg L⁻¹ de Si, não tenha havido grande variação do pH.

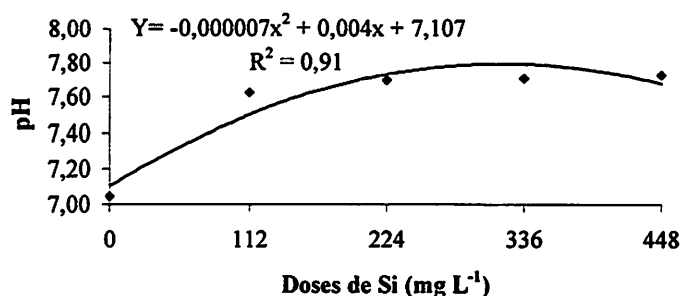


FIGURA 2- pH da solução de silicato de cálcio em água, com doses crescentes de Si.

Dessa forma, outros estudos devem ser realizados, inclusive com outras fontes de Si, para verificar o mecanismo de ação desse produto na germinação de esporos de *P. pachyrhizi*.

5. 2 Intensidade da ferrugem em função de fungicidas e doses de silício, em casa-de-vegetação

Foram observadas interações significativas entre as doses de Si e fungicidas em relação à incidência e à severidade da doença.

5. 2. 1 Incidência

As plantas tratadas com 448 mg de Si kg⁻¹ de solo, na ausência de fungicida, reduziram em 28,89% o número de folhas lesionadas (Tabela 2) comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). Para chlorothalonil, a incidência reduziu em 66% com aumento da dose de Si de 0 para 448 mg kg⁻¹ de solo, comparando-se a aplicação deste fungicida e a testemunha sem Si.

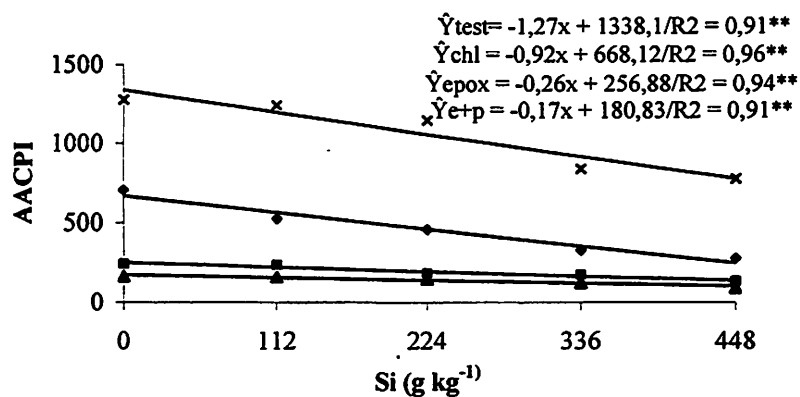
Quanto aos fungicidas sistêmicos, houve redução da incidência de 45% e 42,8%, quando a dose de Si variou de 0 a 448 mg kg⁻¹, para epoxiconazole+pyraclostrobin e epoxiconazole, respectivamente.

A área abaixo da curva de progresso para incidência (AACPI) apresentou diferença estatisticamente significativa para as diferentes doses de Si e fungicidas aplicados. Com o aumento das doses de Si de 0 para 448 mg kg⁻¹ de solo, a incidência da ferrugem reduziu linearmente (Figura 3).

TABELA 2. Médias e % de redução da incidência da ferrugem da soja, em diferentes tratamentos

Doses de Si (mg kg ⁻¹)	Fungicidas			
	testemunha	chlorothalonil	epoxiconazole	epoxiconazole + pyraclostrobin
0	59,6 a	39,1 b	12,0 c	8,4 d
112	58,3 a	26,9 b	9,3 c	6,6 c
224	56,9 a	23,9 b	9,2 c	6,3 c
336	42,8 a	15,8 b	6,7 c	4,9 c
448	42,38 a	13,3 b	6,6 c	4,8 c
CV(%)	8,4			
Redução (%)	28,9	66,0	45,0	43,0

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si, a 5% de probabilidade. CV= Coeficiente de variação.



♦ chlorothalonil ■ epoxiconazole ▲ epoxiconazole+pyraclostrobin x testemunha

FIGURA 3- Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem, em função de doses de Si nos tratamentos com fungicidas e testemunha.

O efeito do Si na redução da intensidade de doenças de plantas foi estudado em várias culturas. Em feijoeiro, silicato de cálcio reduziu em 7% a incidência da antracnose quando elevou-se a dose de Si de 0 para 882 mg kg⁻¹ de substrato. Observou-se também aumento no teor de lignina com doses superiores a 443,3 mg de Si kg⁻¹ de solo (Moraes, 2004). A dose de Si utilizada no presente ensaio foi, aproximadamente, metade da utilizada no ensaio conduzido por Moraes, (2004), ou seja, plantas pertencentes à mesma família (leguminosae) respondem à aplicação de silício de forma diferente.

5. 2. 2 Severidade

As diferentes doses de Si utilizadas influenciaram de forma significativa a severidade da ferrugem. Folhas das plantas de soja tratadas com 448 mg de Si kg⁻¹ de solo, na ausência de fungicida, apresentaram 45% menos pústulas/cm² (Tabela 3) comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). Para chlorothalonil, a severidade reduziu em 60,46% com o aumento da dose de Si de

0 para 448 mg kg⁻¹ de solo, comparando-se a aplicação deste fungicida com testemunha sem Si.

TABELA 3. Médias e % de redução da severidade da ferrugem da soja, em diferentes tratamentos

Doses de Si (mg kg ⁻¹)	Fungicidas			
	testemunha	chlorothalonil	epoxiconazole	epoxiconazole + pyraclostrobin
0	24,2 a	12,9 b	9,0 c	8,3 c
112	20,0 a	10,8 b	8,2 c	7,3 c
224	18,9 a	8,7 b	7,1 c	6,3 c
336	13,9 a	7,8 b	6,0 c	5,8 c
448	13,3 a	5,1 b	4,5 b	4,4 b
CV(%)	9,24			
Redução (%)	45,0	60,5	50,0	47,0

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si, a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação.

Quanto aos fungicidas sistêmicos, houve redução da severidade de 50% e 47% quando a dose de Si variou de 0 a 448 mg kg⁻¹, para epoxiconazole + pyraclostrobin e epoxiconazole, respectivamente.

A área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem diferiu estatisticamente para as diferentes doses de Si e fungicidas aplicados. Com o aumento das doses de Si de 0 para 448 mg kg⁻¹ de solo, a AACPS foi reduzida de forma linear, independente do fungicida utilizado (Figura 4). A mistura do Si com fungicidas contribuiu para reduzir tanto a

incidência quanto a severidade da ferrugem da soja, quando comparada com aplicações em separado desse produto.

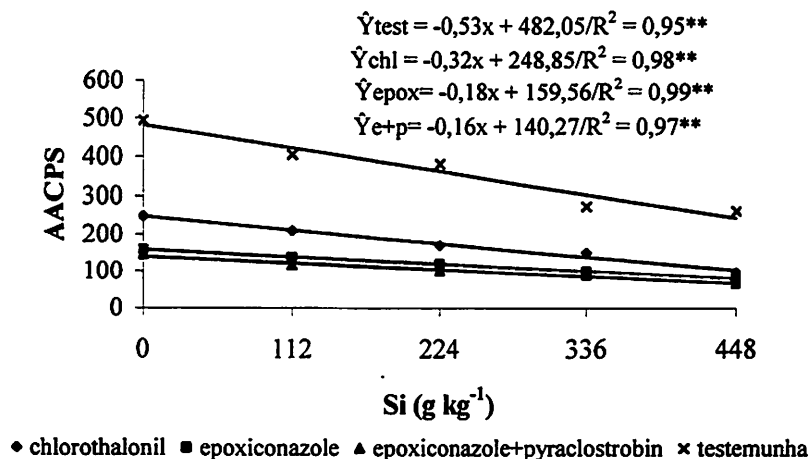


FIGURA 4- Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem, em função de doses de Si nos tratamentos com fungicidas e testemunha.

Em outro trabalho, plantas de soja pulverizadas com silicato de potássio (60g/L) apresentaram redução de 34% na severidade da ferrugem asiática, enquanto a mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e a mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + pyraclostrobin) reduziram a severidade da doença em 76% e 83,3%, respectivamente (Nascimento et al., 2005).

O silicato de cálcio altera o pH da rizosfera e tem efeito corretivo da acidez do solo. Esse aumento do pH promovido pelo silicato influencia a absorção de nutrientes essenciais (Marschner, 1995). Em dicotiledôneas, como a uva e o pepino, inoculadas com *Uncinula necator* e *Sphaerotheca fuliginea*,

respectivamente, observou-se o acúmulo de Si na superfície de folhas pulverizadas, impedindo o desenvolvimento das hifas do patógeno (Bowen et al., 1992; Samuels et al., 1991). Em outros trabalhos, a redução da intensidade da doença foi atribuída à indução de mecanismos de resistência. Em plantas de pepino supridas com 100 mg de Si L⁻¹ de solução nutritiva e inoculadas com *Sphaerotheca fuliginea* e *Pythium* sp., observou-se a produção de compostos fenólicos, quitinases e peroxidases comparadas com plantas não supridas com esse elemento (Chérif et al., 1994; Fawe et al., 1998). Diante destes resultados, realizou-se um outro ensaio, em solução nutritiva, para estudar alguns dos mecanismos de defesa envolvidos na redução da intensidade da ferrugem da soja.

5.3 Temperatura e umidade relativa do ar

A temperatura máxima média, durante o período de condução do ensaio, foi de 32°C e a mínima 18,3°C (Figura 5). A temperatura ideal para máxima germinação de urediniósporos encontra-se na faixa de 15°C a 25°C (Marchetti, et. al, 1976; Melching, 1989; Tschanz, 1989; Vale, 1985). No entanto, *P. pachyrhizi* adapta-se à ampla variação de temperatura (Melching, 1989). Sendo assim, esse intervalo entre temperatura máxima e mínima foi favorável ao patógeno. A umidade relativa média oscilou entre 79,6% e 34,9% (Figura 5).

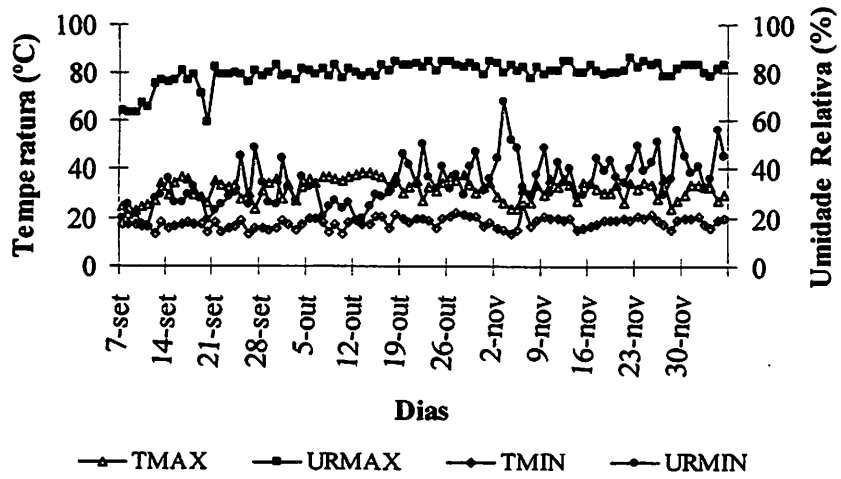


FIGURA 5- Variação da temperatura e da umidade relativa do ar, em casa-de-vegetação, durante condução do ensaio.

6 CONCLUSÕES

1. No ensaio *in vitro*, houve redução linear da germinação de urediniósporos de *P. pachyrhizi*, com aumento das doses de Si adicionadas ao meio ágar-água.
2. No ensaio em casa-de-vegetação, somente o Si, na ausência de fungicidas, reduziu em 28,2% e em 45,2% a incidência e a severidade da ferrugem asiática, respectivamente.
3. O silício associado com os fungicidas chlorothalonil, epoxiconazole e epoxiconazole + pyraclostrobin reduziu a incidência em 66%; 42,8% e 45% e a severidade em 60,5%; 46% e 50%, respectivamente, quando variou-se a dose de Si no solo, de 0 a 448 mg kg⁻¹.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2005. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP: Consultoria & Comércio, 2005.
- BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHAREK, T. A.; NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 4, p. 338- 344, Apr. 2004.
- BOWEN, P.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 906-912, Nov. 1992.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990. 532 p.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, Mar. 1994.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo alto, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon - mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopatology**, St Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, May 1998.
- FURTADO, G. Q.; ALVES, S. A. M.; MASSOLA JR, N. S. Efeito in vitro na germinação dos urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 209, ago. 2004. Suplemento.
- HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hort Science**, Alexandria, v. 38, n. 4, p. 552-554, July 2003.

BIBLIOTECA CENTRAL - UFLA

KIMATI, H. Resistência de fungos fitopatogênicos a substâncias químicas usadas no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 13, p. 72-74, 1987. (Congresso Paulista de Fitopatologia, 10., 1987, Piracicaba).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 66, n. 4, p. 461-463, Apr. 1976.

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

MELCHING, J. S. Effects of Duration, Frequency, and Temperature of Leaf Wetness Periods on Soybean Rust. **Plant Disease**, St. Paul, v. 73, n. 2, p. 117-122, Feb. 1989.

MORAES, S. R. G. **Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro**. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of potassium silicate combined or not with systemic or protector fungicides on the control of asian soybean rust. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 121.

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

TSCHANZ, T. A. Rust. In: SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 3. ed. Saint Paul: APS Press, 1989. p. 24-27.

VALE, F. X. R. do. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) da soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1985. 104 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CAPÍTULO 3

**Efeito do silício na intensidade da ferrugem asiática e nutrição das plantas
soja**

1 RESUMO

LIMA, Luciana Maria. Efeito do silicato de potássio na intensidade da ferrugem asiática e nutrição da soja. In: **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Os objetivos deste ensaio foram avaliar o efeito de doses de silício utilizando, como fonte, silicato de potássio, em solução nutritiva, na intensidade da ferrugem da soja, quantificar os teores de clorofilas a, b e carotenóides e analisar a influência das doses de Si no teor nutricional de plantas de soja. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia/UFLA, utilizando delineamento em blocos casualizados com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistiram de doses de silicato de potássio correspondentes a 0; 56; 112; 168; 224 e 280 mg de Si por litro de água. As plantas foram inoculadas no estágio V4 e, 9 dias após a inoculação, iniciaram-se as avaliações, totalizando 5 avaliações de incidência e severidade da ferrugem da soja. Ao final do experimento, os dados foram integrados ao longo do tempo, obtendo-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS). No final do experimento, determinou-se o peso da matéria seca da parte aérea e raízes e análise de macro e micronutrientes da parte aérea. Observaram-se decréscimo linear da AACPS com aumento das doses de Si na solução nutritiva, aumento no conteúdo de clorofila b e carotenóides e do conteúdo de lignina. Análise foliar de macro e micronutrientes indicou que os teores de P, Ca, S e Zn, na parte aérea, foram influenciados pelas doses de Si. Por meio de microscopia eletrônica de varredura, verificou-se camada de cera epicuticular mais desenvolvida nas plantas que receberam Si na solução, comparadas com plantas não supridas com esse elemento.

Comitê de Orientação: Dr. Edson Ampélio Pozza (Orientador), Dr^a. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora).

2 ABSTRACT

LIMA, Luciana Maria. Effect of potassium silicate on the intensity of asian rust and nutrition of soybean. In: **Management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) with fungicides and silicon**. 2006. 81 p. Dissertation (Master's degree in Phytopathology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.

The objectives of this assay were to evaluate the effect of silicon doses using as source potassium silicate, in a nutritious solution, on the intensity of soybean rust, to quantify the levels of *a* and *b* chlorophylls and carotenoides and to analyze the influence of the doses of Si on the nutritional level of soybean plants. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Phytopathology/UFLA, using a random block layout with 6 treatments and four repetitions. The treatments consisted of doses of potassium silicate corresponding to (0; 56; 112; 168; 224 and 280 mg of Si per liter of water). The plants were inoculated at the V4 stage and 9 days after the inoculation the evaluations began, totaling 5 evaluations of incidence and severity of the soybean rust. At the end of the experiment, the data were integrated with time obtaining the area below the curve of progress of incidence (AACPI) and area below the curve of progress of severity (AACPS). In the end of the experiment the dry matter weight of the aerial part and roots and analysis of macro and micronutrientes of the aerial part was determined. A lineal decrease of AACPS with an increase of Si doses in the nutritious solution, an increase in the *b* chlorophyll content and carotenoides and lignin content was observed. Foliar analysis of macro and micro nutrients indicated that the levels of P, Ca, S and Zn, in the aerial part, were influenced by the doses of Si. Through scanning electron microscopy it was verified that the epicuticular wax layer was more developed in plants that received Si in the solution compared with plants not supplied with that element.

¹Adviser Committee: Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza (Advisor), Dr^a. Janice Guedes de Carvalho (Co-advisor).

3 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores limitantes do potencial de rendimento da soja são as doenças. Atualmente, a ferrugem asiática tornou-se séria ameaça a esta cultura por ser altamente destrutiva. Existem poucos estudos referentes a formas alternativas de controle da doença, sendo este limitado à aplicação de fungicidas. A nutrição mineral pode contribuir para reduzir a taxa de progresso da doença e retardar o início da epidemia. Entre os elementos minerais, o Si proporcionou redução de doenças em várias culturas, tanto em mono quanto em dicotiledôneas.

Porém, existem poucos estudos envolvendo o efeito do Si sobre o metabolismo das plantas. Gong et al. (2005) relataram que plantas de trigo fertilizadas com Si apresentaram aumento da atividade fotossintética e também aumento nos teores de clorofila a, b, a+b e carotenóides. Adata & Besford (1986) também relataram aumento no teor de clorofila e atividade da ribulose bifosfato carboxilase em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva com Si. Segundo Epstein (1999), os mecanismos de defesa potencializados pelo Si incluem acúmulo de lignina, fitoalexinas, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases.

A interação patógeno x nutrição da planta hospedeira é complexa. Em condições controladas, como cultivo em solução nutritiva, é possível isolar o efeito dos nutrientes minerais. Assim, o cultivo da soja nestas condições, utilizando fonte solúvel, como silicato de potássio, pode possibilitar o estudo dessa interação e sua relação com a intensidade da doença. O conhecimento do efeito do Si sobre a suscetibilidade da soja à ferrugem pode promover a redução das aplicações de fungicidas para o controle dessa doença.

Diante do exposto, esse ensaio teve como objetivos: avaliar o efeito do Si utilizando, como fonte desse elemento, o silicato de potássio em solução nutritiva, na intensidade da ferrugem da soja, quantificar os teores de clorofilas a, b e carotenóides em plantas de soja suplementadas com silicato de potássio e analisar a influência de doses de silicato de potássio no teor nutricional de plantas de soja.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Produção das plantas de soja e solução nutritiva

As plantas foram obtidas de sementes de soja cultivar MG BR-46 (Conquista) germinadas em vermiculita. Após a emergência, as plântulas foram transferidas para bandejas com capacidade para 10 litros contendo solução básica de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950), a 20% da força iônica (Tabela 1) e sob aeração contínua, realizada com o auxílio de um conjunto compressor, kitasato e mangueiras, onde permaneceram 15 dias para adaptação.

TABELA 1. Volume de solução estoque (mL L⁻¹) necessário para a elaboração da solução de adaptação.

Soluções estoque	Solução de adaptação
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O - [1 mol L ⁻¹]	1
KNO ₃ - [1 mol L ⁻¹]	1
MgSO ₄ .7H ₂ O - [1 mol L ⁻¹]	0,4
KH ₂ PO ₄ - [1 mol L ⁻¹]	0,2
Micro ¹	0,2
Fe-EDTA ²	0,2

¹ Solução coquetel completa de micronutrientes: dissolvidos separadamente 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,22 g ZnSO₄.7H₂O; 0,08 g CuSO₄.5H₂O e 0,02 g H₂MoO₄.H₂O e, em seguida misturou-se e completou o volume para 1000 mL.

² Solução Fe-EDTA: (a) Solução A - 33,3 g de Na₂-EDTA dissolvida em 500 mL de água destilada a 30°C contendo 100,4 mL de NaOH 1 mol_c L⁻¹; (b) Solução B - 24,9 g de FeSO₄.7H₂O dissolvido em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl 1 mol_c L⁻¹; misturaram-se as soluções A e B, completou-se o volume para 1000 mL com água destilada e colocou-se sob aeração constante por 12 horas. A solução foi acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

Após esse período, as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade de tamanho. Duas plantas foram transplantadas por recipiente plástico com capacidade para 5,5 litros com a solução de Hoagland a 100% da

força iônica com o devido tratamento (Tabela 2), recebendo aeração constante. Os tratamentos consistiram de doses de silicato de potássio correspondentes a 0, 56, 112, 168, 224 e 280 mL de Si L⁻¹ de água. O potássio foi equilibrado na solução para isolar o efeito deste nutriente, conforme Tabela 2. Três vezes por semana, realizou-se o monitoramento do pH da solução nutritiva, mantendo-o entre 5,0 e 5,5 com a adição de HCl 0,1 mol L⁻¹ ou NaOH 0,1 mol L⁻¹. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água destilada. A troca da solução nutritiva foi realizada nos diferentes tratamentos, quando a condutividade elétrica atingiu 30% do valor inicial.

TABELA 2. Volume de solução estoque (mL L⁻¹) necessário para a elaboração dos tratamentos com as concentrações de Si na solução nutritiva.

Soluções estoque	Concentrações de Si na solução nutritiva (mg L ⁻¹)					
	5	5	5	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O - [1 mol L ⁻¹]	5	5	5	5	5	5
KNO ₃ - [1 mol L ⁻¹]	5	4	3	2	1	-
MgSO ₄ .7H ₂ O - [1 mol L ⁻¹]	2	2	2	2	2	2
NH ₄ H ₂ PO ₄	0	0,5	0,4	0,6	0,8	1
KH ₂ PO ₄ - [1 mol L ⁻¹]	1	0,8	0,6	0,4	0,2	-
Silicato Potássio - [202,6 mL L ⁻¹]	-	0,45	0,9	1,36	1,81	2,26
NH ₄ NO ₃ - [1 mol L ⁻¹]	-	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Micro ¹	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA ²	1	1	1	1	1	1

¹ Solução coquetel completa de micronutrientes: dissolveram-se separadamente 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂.4H₂O; 0,22 g ZnSO₄.7H₂O; 0,08 g CuSO₄.5H₂O e 0,02 g H₂MoO₄.H₂O e, após mistura, completou-se o volume para 1000 mL.

² Solução Fe-EDTA: (a) Solução A - 33,3 g de Na₂-EDTA dissolvidos em 500 mL de água destilada a 30°C contendo 100,4 mL de NaOH 1 mol_c L⁻¹; (b) Solução B - 24,9 g de FeSO₄.7H₂O dissolvida em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl 1 mol_c L⁻¹; misturaram-se as soluções A e B, completou-se o volume para 1000 mL com água destilada e coloca sob aeração constante por 12 horas. A solução foi acondicionada em vasilhames âmbar recobertos por papel alumínio para a proteção contra a luz.

4.2 Inoculação do patógeno

Após a transferência das plantas (estádio V4) para solução nutritiva (100% da força iônica), as mesmas foram inoculadas com suspensão de 2×10^4 urediniósporos mL^{-1} em dois pares de folhas trifolioladas na face inferior dos folíolos. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com saco plástico para fazer câmara úmida e ficaram incubadas por 12 horas.

4.3 Avaliação da doença

A avaliação da intensidade da ferrugem iniciou-se no nono dia após a inoculação (estádio V6). Foram realizadas cinco avaliações semanais da incidência e da severidade da ferrugem. A incidência foi avaliada pelo número de folhas com lesões por planta em relação ao total de folhas. A severidade foi quantificada pela contagem do número de pústulas/ cm^2 em folíolos centrais de trifólios do terço médio das plantas. Para isso, os folíolos foram marcados, fazendo-se um quadrado de 1 cm^2 de área, nos dois lados do limbo foliar. Após cinco avaliações, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença em cada tratamento, seguindo-se a seguinte fórmula:

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(x_i + x_{i+1}) / 2 * (t_{i+1} - t_i)]$$

em que x = intensidade da doença, t = tempo e n = número de avaliações no tempo (Campbell & Madden, 1990).

4.4 Coleta e armazenamento das amostras para quantificação de lignina e pigmentos

Cinco folhas de cada tratamento foram coletadas e armazenadas em freezer, a -20°C , até o procedimento de determinação de clorofila a, b, carotenóides e lignina.

4.5 Quantificação de pigmentos

A partir do material vegetal armazenado, foram pesados 0,2g de tecidos foliares de cada tratamento, com quatro repetições. Os tecidos foliares foram macerados em nitrogênio líquido e extraídos em acetona 85%, por 24 horas. Em seguida, o material foi centrifugado a 8000 x g por 15 minutos. O sobrenadante foi coletado e o conteúdo de clorofila a, b e carotenóides foram determinados em espectrofotômetro pelas seguintes fórmulas:

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

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

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

4.6 Determinação de lignina

Para o conteúdo de lignina, utilizou-se metodologia descrita por Stadnik (1999), por meio do ensaio com tioglicólico (Monties, 1989), em que 0,2 gramas de tecidos foliares foram macerados em almofariz e incubados, por 24 horas, em solução acetona 85%. Em seguida, os tecidos foram secos à temperatura ambiente. Uma mistura de ácido tioglicólico e ácido clorídrico 2N (1.10 v/v) foi adicionada à amostra de tecido foliar e homogeneizada (5mL para 15 mg de tecidos), por 4 horas, a 100°C. Após esse procedimento, realizou-se uma lavagem em água destilada e, em seguida, extraiu-se o ácido lignotioglicolítico a partir do precipitado com 5 mL de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 N), por 18 horas. As amostras foram então centrifugadas, acidificadas com HCl concentrado e incubadas, a 4°C, por quatro horas. Em seguida, procedeu-se nova centrifugação e o precipitado foi ressuspense em NaOH 0,5 N e a absorbância dessa solução foi determinada a 280 nm. O teor de lignina foi determinado pela seguinte fórmula:

$$\text{Lignina} = \text{Abs}_{280\text{nm}} * 144,93 * \text{diluição} (8 \text{ mL}) / 200 (\text{mg de tf})$$

Abs = absorbância, tf = tecido foliar.

4.7 Área foliar total

A área foliar de cada planta foi determinada ao final do experimento, com medidor laser de área foliar (Laser Area Meter CI 203- CID Incorp.).

4.8 Matéria seca e análise nutricional das plantas

Após o término das avaliações, a parte aérea e as raízes foram lavadas em água destilada e acondicionadas separadamente em sacos de papel e secos em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante. Procedeu-se à pesagem e à moagem da matéria seca da parte aérea e raízes. Em seguida, determinaram-se os teores de macro e micronutrientes de cada amostra. A parte aérea da planta e as raízes foram utilizadas para a determinação dos teores de silício pelo método colorimétrico do “azul-de-molibdênio” proposto por Furlani & Galo (1978) e N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para a determinação de macro e micronutrientes, exceto N e B, as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica. Para N e B, as amostras foram submetidas à digestão via seca. As concentrações de cálcio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, potássio por espectrofotometria de chama, fósforo e boro por calorimetria, enxofre por turbidimetria e nitrogênio pelo método Kjeldahl (Malavolta, 1997).

4.9 Temperatura e umidade relativa do ar

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar na casa-de-vegetação foi realizado durante toda condução do ensaio com termohigrógrafo.

4.10 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo cada recipiente plástico, com duas plantas, considerado uma unidade experimental. Os tratamentos consistiram de 6 doses de silicato de potássio e 5 repetições. A

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

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

O preparo e a observação das amostras em microscópio eletrônico de varredura foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Quatro horas após a inoculação, coletou-se o terceiro par de folhas do tratamento com melhor resposta à aplicação de silício e das plantas sem aplicação de silício. Depois de coletadas, as folhas foram cortadas em discos de 1 cm de diâmetro e imersas em solução fixativa Karnovsky, pH 7,2, por período de 24 horas. Em seguida, esses fragmentos foram transferidos para uma solução de tetróxido de ósmio 1%, em água por 1 hora e, subsequentemente desidratadas em série de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%, por três vezes) e, depois, levadas para o aparelho de secagem ao ponto crítico.

Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio “stubs” com de fita de carbono colocada sobre película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40 (Alves, 2005). Diversas imagens foram geradas e registradas digitalmente, com aumentos variáveis, para cada amostra, atentando-se para a camada de cera epicuticular em folhas de soja.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Silício na intensidade da ferrugem da soja

Embora não tenha ocorrido diferença significativa, como no primeiro experimento em solo, pôde-se observar menor AACPI com doses superiores a 112 mg de Si L⁻¹ de solução (Figura 1). A incidência da ferrugem reduziu em 1,1% quando elevou-se a dose de Si de 0 para 280 mg L⁻¹.

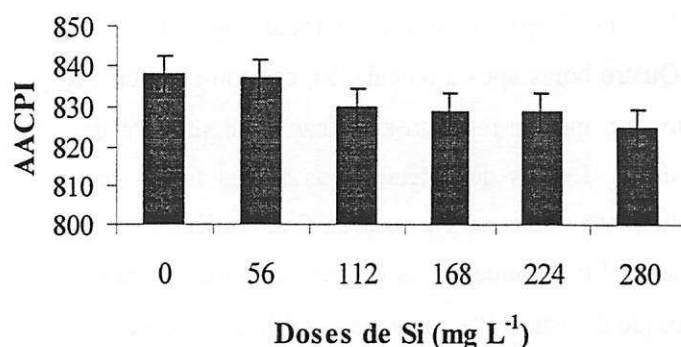


FIGURA 1- Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

As menores doses de Si utilizadas neste ensaio (0-280 mg L⁻¹), comparadas às doses do ensaio anterior (0-448 mg kg⁻¹), podem não ter sido suficientes para reduzir significativamente a AACPI da ferrugem. A área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) reduziu de forma linear com o aumento das doses de Si na solução de 0 para 280 mg L⁻¹ de solução (Figura 2). Houve redução da AACPS em 24,5%, comparando-se plantas supridas com 280 mg L⁻¹ Si com plantas sem Si, na solução nutritiva.

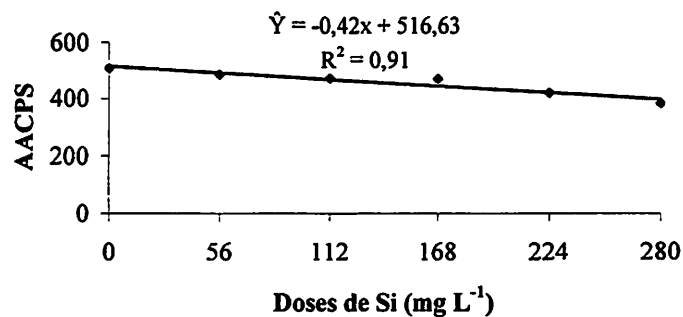


FIGURA 2- Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

A severidade da ferrugem aumentou de forma linear a partir da segunda avaliação (Figura 3).

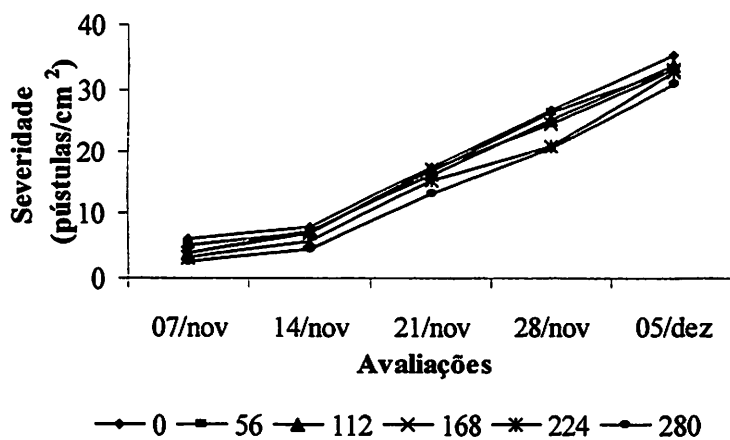


FIGURA 3- Curva de progresso da severidade da ferrugem avaliada de novembro a dezembro de 2005.

Em relação às taxas de progresso absolutas, houve aumento a partir da segunda avaliação em 14 de novembro. Em 21 e 28 de novembro foram observadas menores taxas nos tratamentos com 224 e 280 mg L⁻¹ Si.

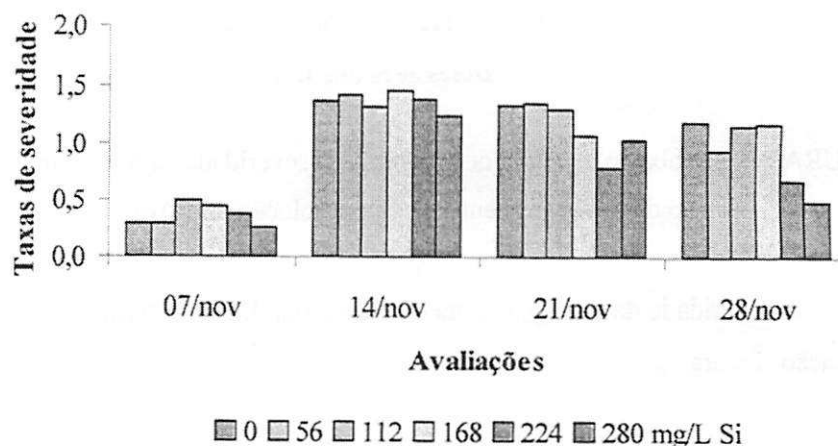


FIGURA 4- Taxas absolutas de severidade da ferrugem, em função do intervalo entre avaliações .

O efeito do Si no controle de doenças de plantas foi relatado em várias culturas, inclusive para dicotiledôneas, como a soja, pepino e feijão. No entanto, faltam estudos referentes aos mecanismos de ação desse semimetal interferindo na proteção de plantas contra doenças.

Em plantas de soja, cultivadas em solução nutritiva e inoculadas com *Diaphorthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, observou-se redução linear de 90% da lesão com adição de até 40 mg de Si L⁻¹ de solução nutritiva. O Si na solução nutritiva aumentou a resistência das plantas de soja ao cancro da haste (Lima, 1998).

Plantas de pepino cultivadas com silicato de sódio em solução nutritiva e inoculadas com *Sphaeroteca fuliginea* apresentaram menor número de colônias por folha, menor área da colônia e redução do poder germinativo dos conídios comparadas com plantas não supridas com Si (Menzies et al., 1991).

Devido a essa redução na severidade, já detectada em experimentos anteriores, realizaram-se avaliações para se estudar os mecanismos de defesa envolvidos.

5. 2 Determinação de pigmentos

Não houve efeito significativo das doses crescentes de Si na solução nutritiva quanto ao teor de clorofila *a*, mas o teor de clorofila *b* e carotenóides foram positivamente influenciados pelas doses crescentes de Si (Figura 5). Com o aumento da concentração de Si de 0 para 280 mg L⁻¹ de solução nutritiva, a quantidade de clorofila *b* e de carotenóides aumentou até a dose 146,7 e 154,4 mg de Si L⁻¹, respectivamente, reduzindo logo após essa dose. Essa redução no teor de clorofila *b* e carotenóides pode ser explicada pela menor área foliar da plantas que receberam doses mais elevadas de Si na solução (Figura 7).

Em pepineiro, Adatia & Besford (1986) citam o aumento no conteúdo de clorofila total, ou seja, *a* + *b*, nas folhas das plantas cultivadas em solução nutritiva suplementadas com 46 mg L⁻¹ de Si. Em cafeeiro, plantas inoculadas e não inoculadas com *Hemileia vastatrix* e pulverizadas com ácido salicílico (0,2 g L⁻¹ de água) também apresentaram maiores teores de clorofila *b* e carotenóides em relação às testemunhas (Nojosa, 2003).

Pigmentos como clorofilas e carotenóides são importantes, pois participam de processos na absorção de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP (Malkin & Niyogi, 2000). Os carotenóides podem funcionar como antioxidantes, protegendo o processo fotossintético contra radicais livres (Bray, 2000).

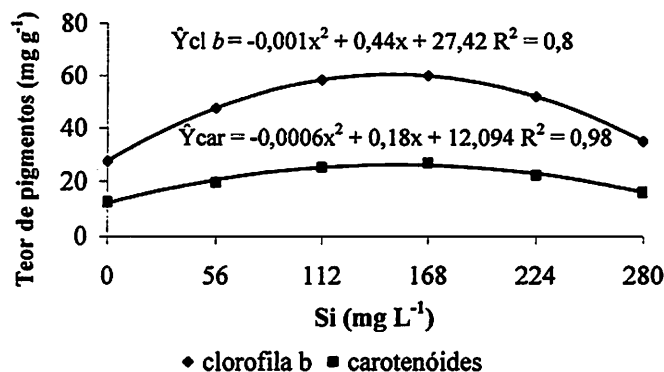


FIGURA 5- Teor de clorofila b e carotenóides na folha, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Garcia et al. (1993) relatam a toxidez promovida por carotenóides contra uredósporos de *Hemileia vastatrix*, agente etiológico da ferrugem do cafeeiro. No presente ensaio, o aumento do conteúdo desses pigmentos pode estar relacionado com a redução da severidade da ferrugem da soja (Figura 2).

5.3 Lignina

As diferentes doses de Si, acrescidas à solução nutritiva, influenciaram significativamente o teor de lignina nas folhas, sendo os dados ajustados ao modelo linear (Figura 6). Com o aumento da dose de Si, houve aumento no teor de lignina.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Santos et al. (2005) em mudas de café tratadas com silicato de cálcio e inoculadas com *Cercospora coffeicola*. Nesse patossistema, verificou-se aumento do teor de lignina nas folhas até a dose de 0,52 g SiO₂ kg⁻¹ (243 mg Si kg⁻¹) de substrato, reduzindo logo após essa dose.

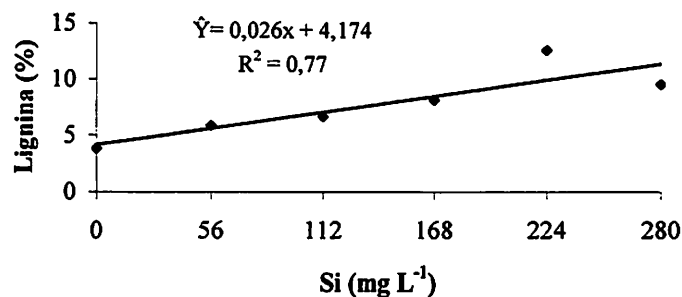


FIGURA 6- Teor de lignina nas folhas, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Cultivares de pepino crescidas em solução nutritiva contendo metassilicato de potássio e inoculadas com *Sphaerotheca fuliginea* apresentaram maior atividade das enzimas peroxidases, polifenoloxidasas e quitinases. As plantas inoculadas e tratadas com silicato de potássio apresentaram maior atividade dessas enzimas, comparadas com plantas supridas com Si e não inoculadas com o patógeno (Liang et al., 2005).

O Si pode favorecer o acúmulo de lignina, importante componente na resistência das plantas aos patógenos (Epstein, 1999). O aumento do teor de lignina pode ter favorecido a redução da severidade da ferrugem da soja. Contudo, os resultados obtidos são iniciais e, portanto, são necessários estudos mais aprofundados no que se refere à participação da lignina na interação *P. pachyrhizi* x soja.

5. 4 Área foliar

A área foliar das plantas foi influenciada pelas doses de Si adicionadas à solução nutritiva (Figura 7). Houve decréscimo linear da área foliar com o aumento das doses de Si na solução.

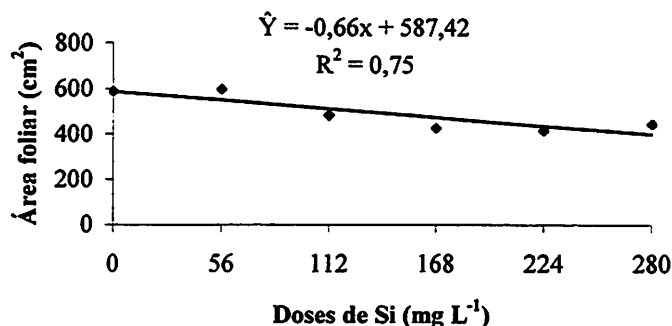


FIGURA 7- Área foliar, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Nas maiores doses de Si houve polimerização do silicato, isto é, a solução nutritiva tornou-se viscosa, dificultando a absorção inicial de nutrientes essenciais, pelas plantas de soja, resultando em redução no desenvolvimento das mesmas. Esta polimerização foi observada visualmente aos 8 dias após o transplântio das plântulas para a solução nutritiva com os tratamentos, quando, então, passou-se a corrigir o pH para 5,5 diariamente. Provavelmente, a redução do pH para 5,5 permitiu a absorção dos nutrientes essenciais, novamente, pois, a partir desse período, houve emissão de novas raízes e as plantas voltaram a crescer. Entretanto, essa absorção não foi suficiente para promover o desenvolvimento normal das plantas, realçado pela redução na área foliar.

5. 5 Produção de matéria seca da parte aérea e raiz

O peso da matéria seca de parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) foi influenciado significativamente pelas doses de Si acrescentadas à solução nutritiva (Figura 8). Com aumento das doses de Si, observou-se aumento da MSPA até a dose 101,75 mg L⁻¹ de solução e redução linear da MSR. Verificou-se redução de 8,3% para MSR e 6,93% para MSPA.

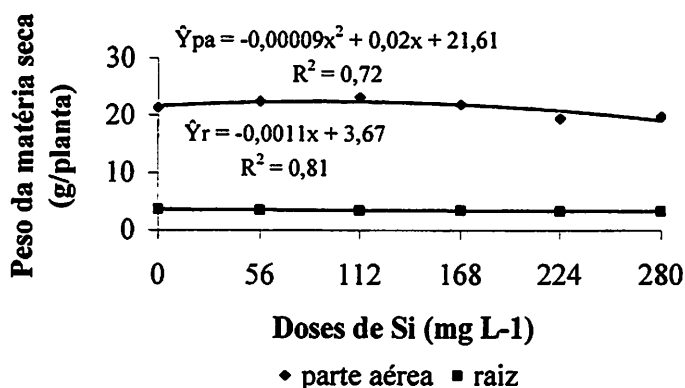


FIGURA 8- Peso de matéria seca da parte aérea e raiz, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Esse fato ocorreu devido à elevação do pH da solução nas maiores doses, prejudicando o desenvolvimento inicial das plantas, resultando em menor peso de parte aérea e raízes.

Em um outro ensaio, pepineiros cultivados em solução nutritiva com adição de 23 e 46 mg de Si na forma de silicato de potássio L⁻¹ de solução nutritiva aumentaram o peso da matéria seca da parte aérea e raízes das plantas inoculadas e não inoculadas com *Pythium ultimum* (Chérif & Bélanger, 1992). Nestes trabalhos não há relatos de polimerização de silicato de potássio em solução nutritiva, provavelmente porque as doses empregadas foram bem menores do que as deste ensaio.

5. 6 Análise nutricional da parte aérea de plantas de soja

5. 6.1 Macronutrientes

Os teores de nitrogênio, potássio e magnésio não foram influenciados pelas doses de Si. Entretanto, as análises dos teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e

enxofre (S), indicaram aumento destes nutrientes com aumento das doses de Si de 0 para 280 mg L⁻¹ de solução (Figura 9).

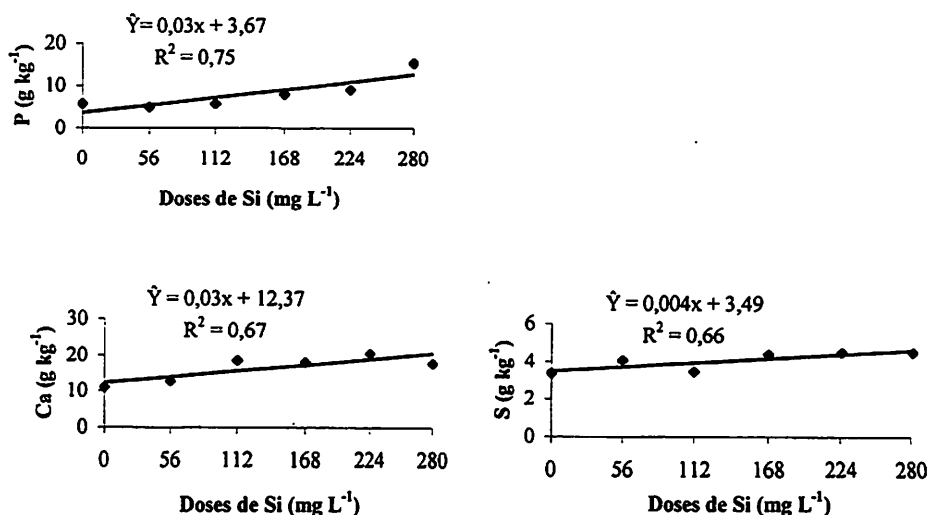


FIGURA 9- Teores foliares de fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S), em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Este resultado não era esperado, pois, estes nutrientes permaneceram equilibrados na solução nutritiva, ou seja, não variaram com a adição de silicato de potássio e os teores do silicato foram balanceados com KNO₃ e KH₂PO₄ (Tabela 2). O resultado indica que houve aumento na absorção de Ca, P e S, com o suprimento das doses de Si, entretanto, como o Si foi aplicado em solução nutritiva e não no solo, a explicação pode ser devido à melhoria na arquitetura das plantas, favorecendo a absorção destes nutrientes.

Os teores máximos e mínimos encontrados neste ensaio (Tabela 3) estão acima do valor considerado crítico para cultura da soja, somente o teor de N foi

próximo a esse valor. Os resultados encontrados neste ensaio assemelham-se, em parte, aos obtidos por Oliveira Júnior (1996). Em estudos com diferentes doses de manganês em plantas de soja cultivadas em solução nutritiva, o autor observou teores de P, K e Ca superiores aos considerados críticos para esta cultura.

TABELA 3. Teores de nutrientes encontrados na parte aérea de plantas de soja, folhas de soja e níveis críticos destes nutrientes para cultura da soja

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
1	57-61	5-16	19-27	12-18	3,9-5,3	3,6-4,6
2	38,2-41,6	8-12	23,3-29,2	15,3-18,6	2,4-2,5	1,7-2,1
3	45-55	2,6-5,0	17-25	4-2	3-10	2,5

1. Teores (máximo e mínimo) de nutrientes encontrados na parte aérea de plantas de soja em solução nutritiva com doses crescentes de Si.

2. Teores de nutrientes encontrados em folhas de soja cultivada em solução nutritiva (Oliveira Júnior, 1996).

3. Níveis críticos de macronutrientes para cultura da soja (Faquin, 2002).

Nitrogênio em altos níveis promove crescimento vigoroso, resultando em tecidos jovens e suculentos, além de prolongar o estágio vegetativo tornando as condições favoráveis aos patógenos. Por outro lado, plantas cultivadas com deficiência de N podem tornar-se debilitadas, apresentar crescimento lento e, conseqüentemente, serem mais suscetíveis aos patógenos (Zambolim & Ventura, 1993).

Quanto ao potássio, seu efeito no controle de doenças, geralmente relaciona-se com redução da suscetibilidade das plantas aos patógenos, pois aumenta a resistência dos tecidos e promove rápida recuperação das injúrias. A

BIBLIOTECA CENTRAL - UFLA

nutrição potássica adequada resultou em menor incidência da queima foliar em soja (*Cercospora kikuchii*) devido ao aumento da resistência à penetração e ao desenvolvimento do patógeno (Ito et al., 1993). Potássio em combinação com fósforo também reduziu a intensidade da cercosporiose em cafeeiro (Fernandes, 1998). O cálcio reduz a severidade de várias doenças por ser constituinte da lamela média da parede celular, presente, principalmente, na forma de pectatos de cálcio, conferindo resistência à colonização do patógeno (Agris, 2005).

Por outro lado, as diferenças observadas nos teores de P, Ca e S foram de pequena magnitude, não justificando a redução da doença por essa alteração.

5. 6. 2 Micronutrientes

A análise foliar para o elemento zinco (Zn) revelou efeito quadrático com aumento no teor deste micronutriente até as doses de 216 e 177,5 mg de Si L⁻¹ de solução, respectivamente (Figura 10). Para os demais nutrientes, ferro, cobre, manganês, as doses de Si aplicadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Esses resultados, são em parte, semelhantes aos obtidos por Moraes (2004) em trabalhos com feijoeiro, em que a fertilização com silicato de cálcio (0; 466; 933 e 1400 mg de Si kg⁻¹ de solo) também afetou a disponibilidade de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e zinco (Zn). Segundo essa autora, houve aumento do teor de potássio e magnésio até 0,92 g kg⁻¹ de SiO₂ incorporado ao solo (429,33 mg de Si kg⁻¹ de solo) e aumento no teor de enxofre até 1,02 g kg⁻¹ de SiO₂ (476 mg kg⁻¹ de Si).

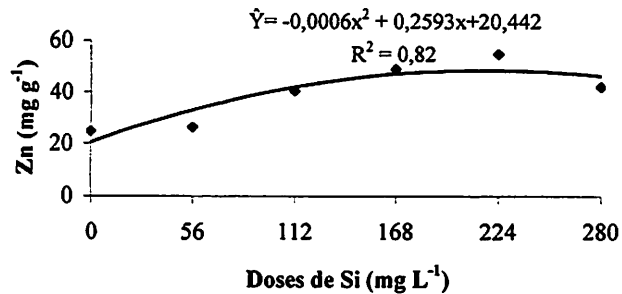


FIGURA 10- Teor de zinco na parte aérea, em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

Em mudas de café adubadas com silicato de cálcio e sódio (0; 140; 280 e 560 mg kg⁻¹ de Si), as concentrações de fósforo, potássio, enxofre, boro e zinco não foram influenciadas pelos tratamentos. No entanto, a aplicação de SiO₂ influenciou os teores de N, Ca e Mn (Santos, 2002).

5. 6. 3 Silício

O teor de Si na parte aérea foi influenciado pelas doses de Si em solução nutritiva (Figura 11). Houve aumento do teor de Si até a dose de 183 mg L⁻¹ de Si na solução, reduzindo em seguida. O aumento de Si na parte aérea contribuiu para o aumento da resistência das plantas à ferrugem.

Todavia, o mecanismo de ação do Si na redução desta doença ainda não é conhecido, mas, pode-se inferir que houve formação de barreira química devido à alteração no teor de lignina nas folhas. Porém, é preciso realizar estudos mais detalhados, a fim de se conhecer os mecanismos de defesa envolvidos, como por exemplo, a atividade de enzimas peroxidase, polifenoloxidase e quitinase, entre outras.

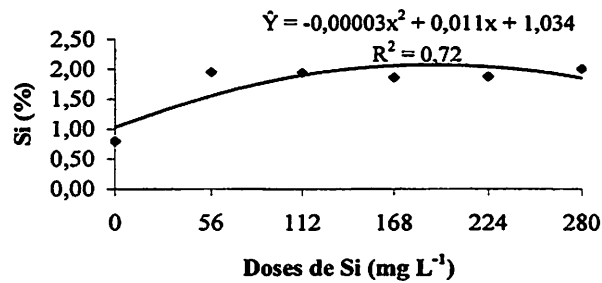


FIGURA 11- Teor de Si na parte aérea em função de doses crescentes de Si em solução nutritiva.

5. 7 Temperatura e umidade relativa do ar

A temperatura máxima média durante o período de condução do ensaio foi de 31°C e a mínima 18,7°C (Figura 12). O intervalo entre temperatura máxima e mínima foi favorável ao patógeno. A umidade relativa média oscilou entre 81,5% e 41,1%.

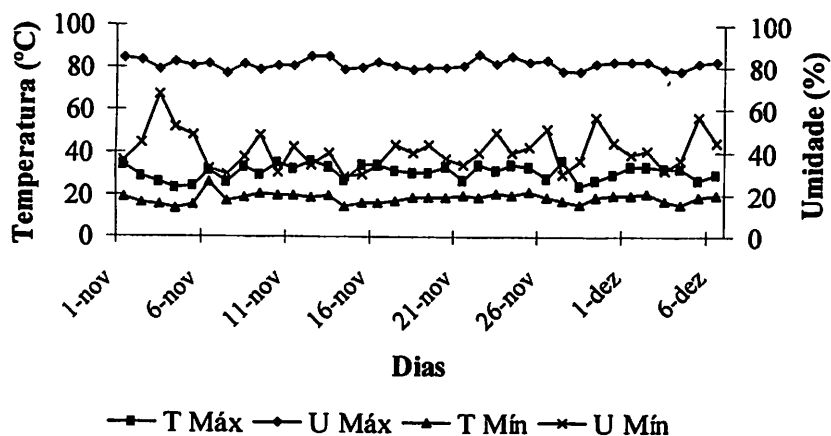


FIGURA 12- Variação da temperatura e da umidade relativa do ar, em casa-de-vegetação, durante condução do ensaio.

5. 8 Microscopia eletrônica de varredura

Plantas suplementadas com silicato de potássio via solução nutritiva apresentaram camada de cera epicuticular mais desenvolvida comparadas com plantas que não receberam Si na solução (Figura 13). Essa camada de cera mais desenvolvida nas plantas tratadas com Si pode ter interferido na germinação dos urediniósporos, pois, o patógeno precisa de água líquida para germinar e formar apressórios. A presença de cera impede a formação de um filme de água na superfície da folha e, conseqüentemente, pode afetar a germinação.

Em mudas de café inoculadas com *Cercospora coffeicola*, Pozza et al. (2004) também observaram presença de cutícula mais espessa na superfície inferior da folha das plantas tratadas com silicato de cálcio (298,7 mg de Si kg⁻¹). Segundo esses autores, a camada de cera pode ter tornado a superfície hidrofóbica, impedindo a formação de filme de água importante para processos vitais da patogênese.

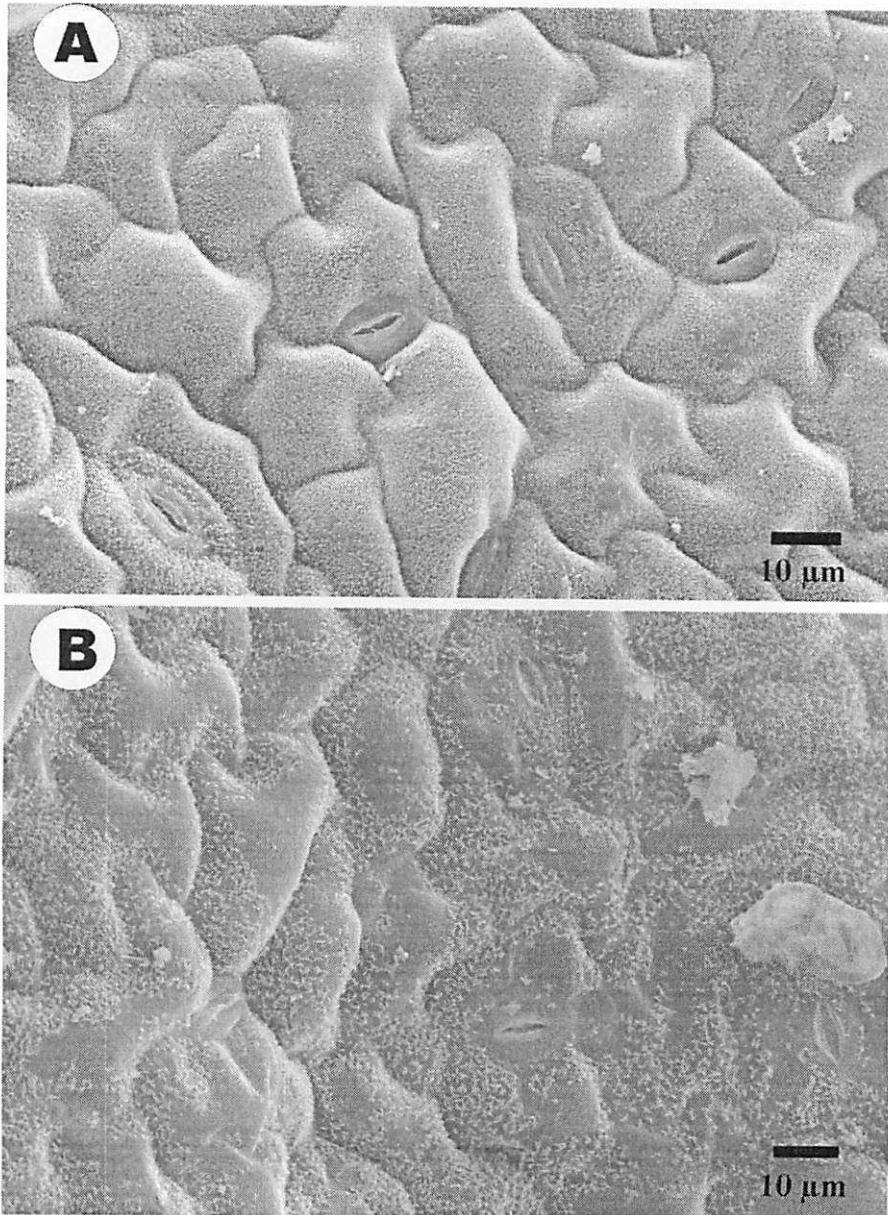


FIGURA 13- Eletromicrografias de varredura de folhas de soja indicando camada de cera epicuticular mais desenvolvida em plantas supridas com Si (A) e sem Si (B).

6 CONCLUSÕES

- 1. O silicato de potássio, em solução nutritiva, reduziu em 24,5% a severidade da ferrugem da soja e aumentou o conteúdo de clorofila b e carotenóides e o teor de lignina nas folhas.**
- 2. Os teores dos nutrientes fósforo, cálcio, enxofre e zinco na parte aérea foram influenciados pelas doses de silício na solução nutritiva.**
- 3. Plantas de soja supridas com silicato de potássio apresentaram camada de cera epicuticular mais desenvolvida, comparadas com plantas não supridas com silício.**

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da ferrugem da soja com silício e fungicidas demonstrou ser uma alternativa válida na redução da doença. O silício, na forma de silicato de cálcio, reduziu a incidência e a severidade da ferrugem. Em solução nutritiva utilizando como fonte silicato de potássio, também observou-se eficácia na redução da severidade da doença. Nesse último ensaio, foi possível observar alguns efeitos do Si no metabolismo das plantas de soja como aumento no teor de clorofila b, carotenóides e lignina. Além disso, a adição de Si à solução nutritiva influenciou os teores de fósforo, cálcio, enxofre, zinco e silício na parte aérea da plantas, indicando que o Si afetou, de alguma forma, a absorção desses nutrientes. Diante disso, pode-se inferir que o Si ativou mecanismos de defesa da planta, conferindo proteção às mesmas contra *P. pachyrhizi*. No entanto, os resultados obtidos neste ensaio são iniciais e, portanto, são necessários outros estudos como quantificação de enzimas peroxidases e polifenoloxidasas, importantes na rota da lignina, microscopia eletrônica de varredura para visualizar o processo de germinação dos urediniósporos na superfície de folhas de soja tratadas com Si e microscopia de transmissão para verificar a colonização do patógeno no tecido foliar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ALVES, E. **Curso introdutorio de microscopia eletrônica de varredura**. Lavras: UFLA, 2005. 43 p. Apostila.

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

BRAY, E. A. BAILEY- SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stress. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. (Ed.). **Biochemistry & Molecular Biology of plants**. Rockville : American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Willey, 1990. 532 p.

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

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

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 76p. Texto Acadêmico. (Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" Especialização á distância: Fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio).

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

FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Determinação de silício em material vegetal, pelo método colorimétrico do “azul-de-molibdênio”. *Bragantia*, Campinas, v. 37, n. 16, p. V-XI, dez. 1978. (Nota, n. 2).

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

GONG, H. J.; ZHU, X. Y.; CHEN, K. M.; WANG, S. M.; ZHANG, C. C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, Clare, v. 169, n. 2, p. 313-321, Aug. 2005.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil.** Berkeley: University Of California, 1950. 32 p.

ITO, M. F.; TANAKA, M. A . S.; MASCARENHAS, H. A . A . TANAKA, R. T.; DUDIENAS, C.; GALLO, P. B. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. *Summa Phytopathológica*, Piracicaba, v. 19, n. 1, p. 21-23, jan./mar. 1993.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; J. SI.; ROMHELD. Effects of foliar-and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology*, Oxford, v. 54, n. 5, p. 678-685, Oct. 2005.

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

MALKIN, R.; NIYOGI, K. In: BUCHANAN, B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R. (Ed). **Biochemistry & Molecular Biology of plants.** Berkeley: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 568-628.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*, **Physiology Molecular Plant Pathology**, London, v. 39, n. 6, p. 403-414, Dec. 1991.

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

MORAES, S. R. G. **Fontes e doses de silício na intensidade da antracnose do feijoeiro**. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NOJOSA, G. B. A. **Efeito de indutores de resistência de *Coffea arabica* L.** 2003. 102 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. **Efeitos do manganês sobre a soja em solução nutritiva e em solo de cerrado do Triângulo Mineiro**. 1996. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

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

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

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

STADINIK, 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 of Hohenheim, Stuttgart, Germany.

ZAMBOLIN, L.; VENTURA, J. A. **Resistência induzida pela nutrição de plantas**. Revisão Anual de Patologia de Plantas, Passo Fundo, v. 1. p. 275-318, 1993.

ANEXOS

		Páginas
TABELA 1A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da germinação de urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> em diferentes tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	78
TABELA 2A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), da área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS) UFLA, Lavras, MG, 2006.....	78
TABELA 3A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), da área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS), em função de doses crescentes de Si. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	78
TABELA 4A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de clorofila a, clorofila b e carotenóides, em mg g^{-1} , em função de doses de Si, em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	79
TABELA 5A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo (%) de lignina e Si, em função de doses de Si, em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	79
TABELA 6A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) da área foliar, cm^2 , do peso da matéria seca da parte aérea e raízes (g planta^{-1}), em função de doses de Si na solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	79

TABELA 7A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, g kg^{-1} , das análises químicas realizadas na parte aérea para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em função de doses de Si na solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	80
TABELA 8A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) das concentrações, mg kg^{-1} , das análises químicas realizadas na parte aérea para boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), em função de doses de Si na solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.....	80

TABELA 1A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da germinação de urediniosporos de *P. pachyrhizi*, em função dos tratamentos. UFLA, Lavras, 2006.

FV	GL	Germinação
Doses	4	731,59**
Fungicida	3	21134,88**
Doses x fungicida	12	52,03**
Bloco	3	35,09*
CV (%)	13,17	

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

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

^{ns} não significativo

TABELA 2A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), da área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS), em função de doses de Si.UFLA, Lavras, 2006.

FV	GL	AACPI	AACPS
Doses	4	219745,2**	45626,7**
Fungicida	3	3470155,9**	284345,2**
Doses x fungicida	12	42135,1**	4247,5**
Bloco	3	13054,3*	330,01*
CV (%)		8,39	8,76

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

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

^{ns} não significativo

TABELA 3A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência da doença (AACPI), da área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS), em função de doses de Si, em solução nutritiva.UFLA, Lavras, 2006.

FV	GL	AACPI	AACPS
Doses	5	47,05 ^{ns}	8561,3*
Blocos	3	365,52 ^{ns}	523,2 ^{ns}
CV(%)		2,14	3,09

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

* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade
^{ns} não significativa

TABELA 4A -Resumo da análise de variância (quadrados médios) do conteúdo de clorofila a, clorofila b e carotenóides, mg g⁻¹, em função de doses de Si, em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG,2006.

FV	GL	Clorofila a	Clorofila b	Carotenóides
Doses	5	4,55 ^{ns}	856,64**	107,60**
Blocos	3	0,31 ^{ns}	66,78 ^{ns}	19,94 ^{ns}
CV (%)		6,58	19,16	11,94

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

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

^{ns} não significativo

TABELA 5A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de lignina e silício, em função de doses de Si, em solução nutritiva.UFLA, Lavras, 2006.

FV	GL	Lignina	Silício
Doses	5	37,58**	0,91**
Blocos	3	1,65 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CV(%)		18,44	11,38

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

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

^{ns} não significativa

TABELA 6A- Resumo da análise de variância (quadrados médios), de área foliar, do peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso da matéria seca das raízes (MSR), função de doses de Si, em solução nutritiva. UFLA, Lavras, 2006.

FV	GL	Área foliar	MSPA	MSR
Doses	5	25756,71**	7,83*	0,06*
Blocos	3	2749,94 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,20 ^{ns}
CV (%)		8,61	2,87	4,06

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

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

^{ns} não significativa

TABELA 7A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores, g kg⁻¹, das análises químicas realizadas na parte aérea, para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em função das doses de Si adicionadas à solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Doses	5	189,74 ^{ns}	59,51*	13,14 ^{ns}	55,84*	0,01 ^{ns}	1,09*
Bloco	3	91,25 ^{ns}	1,38 ^{ns}	5,50 ^{ns}	7,29 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}
CV (%)		15,78	14,41	12,77	15,59	20,08	10,66

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

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

^{ns} não significativo

TABELA 8A- Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores, g kg⁻¹, das análises químicas para boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) em função das doses de Si adicionadas à solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2006.

FV	GL	B	Cu	Zn	Mn	Fe
Doses	5	94,91 ^{ns}	15,32 ^{ns}	724,62**	24788,73 ^{ns}	139824,15 ^{ns}
Blocos	4	96,11 ^{ns}	2,21 ^{ns}	37,62 ^{ns}	669,92 ^{ns}	21038,13 ^{ns}
CV (%)		16,38	13,75	18,57	23,14	65,59

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

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

^{ns} não significativo