

ASPECTOS NUTRICIONAIS ENVOLVIDOS NA OCORRÊNCIA DE DOENÇAS COM ÊNFASE PARA A FERRUGEM (*Puccinia psidii*) DO EUCALIPTO

Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira¹

Marta Regina Almeida Muniz²

Cláudio Roberto Silva³

Fausto Rodrigues Alves de Camargo³

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo abordar os principais efeitos dos nutrientes na ocorrência de doenças fúngicas, com ênfase para a ferrugem do eucalipto. As deficiências e excessos nutricionais alteram as estruturas anatômicas como também as propriedades bioquímicas, diminuindo assim a resistência das plantas ao ataque de fungos patogênicos. As principais mudanças anatômicas e bioquímicas que aumentam a severidade e a incidência de doenças são: paredes celulares e cutículas mais finas; acúmulo de compostos solúveis como açúcares simples e aminoácidos; menor suberização, silificação e lignificação dos tecidos; menor síntese e acúmulo de compostos fenólicos e maior abertura ou mais tempo aberto dos estômatos.

O silício é um elemento que proporciona aumento da resistência das plantas ao ataque de patógenos. Outros nutrientes que estão fortemente relacionados com a ocorrência de doenças são: potássio, cálcio, boro, cobre e manganês. Em relação a ferrugem do eucalipto, os resultados preliminares mostram que tanto a deficiência de boro como o excesso de manganês aumentaram a severidade da doença.

¹ Consultor do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, ESALQ/USP, na área de Solos e Nutrição de Plantas. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba/SP, CEP 13400-970. rlvasilv@carpa.ciagri.usp.br

² Engenheira Florestal, ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba/SP, CEP 13400-970. mramuniz@carpa.ciagri.usp.br

³ Engenheiros Florestais da Votorantim Celulose e Papel S/A. Rodovia General Euryale de Jesus Zerbini, km 66, São Silvestre, Jacarei/SP, CEP 12300-000.

ABSTRACT

The aim of the present work is to approach the main effects of the nutrients in the incidence of diseases caused by fungi, with emphasis in the eucalyptus rust. The nutritional deficiencies and excesses modify the anatomical structures as well as the biochemical properties, decreasing like the resistance of the plants to the attack of pathogenic fungi. The main anatomic and biochemical changes which increase the severity and the incidence of diseases are: : thinner cellular walls and cuticles; accumulation of soluble compounds such simple sugars and amino acids; tissue lower suberization, silification and lignification; lower synthesis and accumulation of phenolic compounds, and larger opening or more time open of the stomatic. The silicon is an element that provides increase of the resistance of the plants to the pathogens attack. Other nutrients that are strongly related with the occurrence of diseases are: potassium, calcium, boron, copper and manganese. In relation to eucalyptus rust, the preliminary results show that so much the boron deficiency as the excess of manganese increased the severity of the disease.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos cinco anos tem ocorrido um significativo aumento na incidência de ferrugem, causada por *Puccinia psidii*, nos povoamentos de *Eucalyptus* implantados nas regiões do Vale do Paraíba e sul do Estado de São Paulo. Levantamentos efetuados tem revelado incidências de até 35% das árvores em plantios de *E. grandis*, com idade em torno de 6 meses. As plantas altamente infectadas apresentam reduções médias de 25-35% em altura e diâmetro quando comparada com as sadias (Silveira et al., 1998b).

A evolução da doença, embora variável em função do material genético (procedências, progênies e clones), da qualidade do sítio, da idade das plantas e da época do ano, deve estar ligada a um importante fator, que é a adaptação genética do fungo ao material plantado, com aumento gradativo do seu inóculo na região. Dentro desse contexto, as medidas de controle químico tornam-se inviáveis economicamente, sendo os caminhos mais promissores a seleção genética de materiais resistentes a *Puccinia psidii* e a melhoria do estado nutricional das árvores.

As deficiências e desequilíbrios nutricionais provocam mudanças morfológicas e bioquímicas na planta, podendo tornar certos materiais genéticos mais suscetíveis à infecção por *Puccinia psidii*. Então, o uso eficiente das adubações aliado à resistência dos

materiais genéticos, pode reduzir o nível de severidade e de incidência da ferrugem do eucalipto.

2 EFEITOS DA NUTRIÇÃO MINERAL SOBRE A OCORRÊNCIA DE DOENÇAS

2.1 Princípios da infecção e a sua relação com a nutrição mineral

Vários estudos mostram os efeitos da nutrição mineral sobre o crescimento e a produtividade, com ênfase para a função dos nutrientes no metabolismo das plantas. No entanto, a nutrição mineral pode também ter um efeito secundário sobre a resistência de plantas ao ataque de pragas e doenças (Marschner, 1995).

A resistência das plantas a pragas e doenças pode ser diminuída ou aumentada pelo efeito da nutrição mineral sobre as estruturas anatômicas como por exemplo: células epidérmicas e cutículas mais finas, parede celular com menor grau de silificação, suberização e lignificação. Além disso, a nutrição pode afetar as propriedades bioquímicas como redução de compostos fenólicos que atuam como inibidores do desenvolvimento de pragas e doenças ou acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular (glicose, sacarose e aminoácidos) resultado da maior atividade de enzimas decompositoras como amilase, celulase, protease e sacarase, muito comum na deficiência de potássio (Ellet, 1973; Huber & Arny, 1985; e Perrenoud, 1990; Marschner, 1995).

A germinação dos esporos de fungos nas folhas, raízes e caule é estimulada pela presença de exsudados da planta. O fluxo de exsudados contribui para o sucesso da infecção na maioria das doenças. A velocidade do fluxo e a composição dos exsudados dependem da concentração destes nas células e do gradiente de difusão (Figura 1). Por exemplo, em plantas deficientes em potássio a concentração de açúcares solúveis e aminoácidos nas folhas é alta, podendo aumentar a eficiência de germinação dos esporos em relação as plantas saudáveis. A concentração desses assimilados solúveis (compostos de baixo peso molecular) no apoplasto do hospedeiro determina o crescimento do patógeno durante a penetração e principalmente nas fases pós penetração. Em relação as barreiras anatômicas, a lignificação e o acúmulo de sílica nas paredes constituem-se numa efetiva barreira física contra a penetração das hifas (Figura 1). Esses processos resultam na principal resistência estrutural das plantas às doenças (Scherwood e Vance, citado por Marschner, 1995). Deve-se considerar que tanto a silificação como a lignificação são

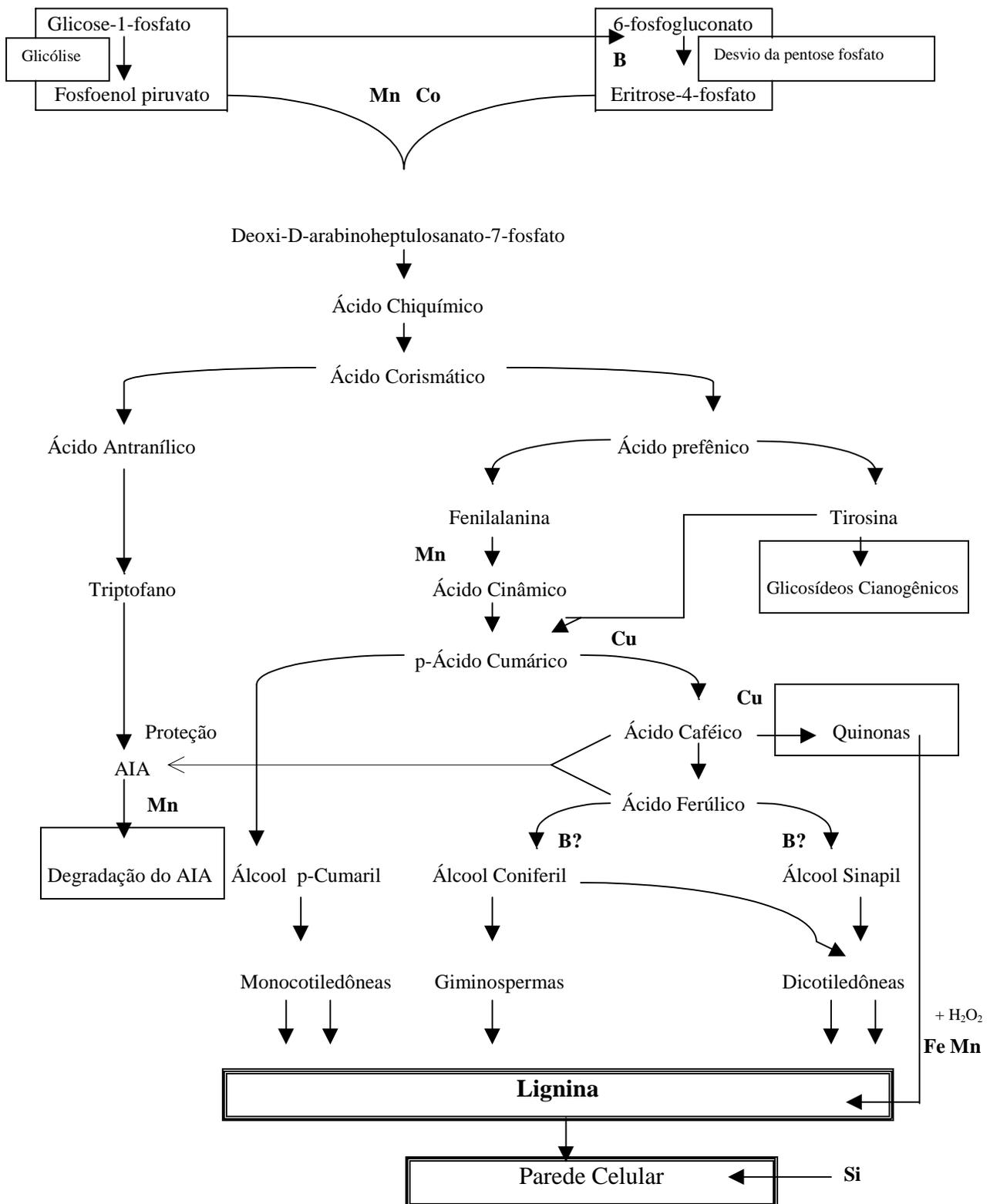


Figura 2. Caminhos para a síntese de lignina e fenóis a partir do ácido chiquímico. Fonte: Graham & Webb (1991).

O fósforo, magnésio e enxofre são macronutrientes que menos relação apresentam com ocorrência de doenças. A carência destes nutrientes altera pouco as barreiras mecânicas e a síntese de toxinas como as fitoalexinas.

O boro, cobre e manganês são os micronutrientes que mais atuam no processo de defesa das plantas contra patógenos. Como descrito anteriormente, esses elementos participam diretamente da síntese da lignina (Figura 2).

A deficiência de Zn pode favorecer a incidência de fungos *Phytophthora*. Dell & Webb (1982), citados por Graham & Webb (1991), verificaram que *Eucalyptus marginata* e *Eucalyptus sieberi* carentes em zinco atraíam mais zoósporo de *Phytophthora* as raízes que plantas com zinco adequado. Os autores observaram ainda que o aumento da população de zoósporo deve-se ao fato de que plantas deficientes em Zn acumulam mais carboidratos e aminoácidos. O sucesso da infecção, neste caso, estaria ligado a uma maior quantidade de esporos na superfície das raízes deficientes.

A carência de boro causa paredes celulares mais finas e desestruturadas. Além disso, provoca um menor transporte de açúcares solúveis das folhas para o caule. Portanto, as plantas deficientes em boro apresentam tecidos com menor barreira mecânica favorecendo a penetração das hifas. Também ocorre alta concentração de açúcares nas folhas, que servem de fonte de nutrientes para os patógenos na fase de colonização dos tecidos.

Apesar do silício não ser considerado um nutriente essencial para o crescimento das plantas, tem-se constatado efeito benéfico desse elemento no controle de doenças de plantas (Volk et al., 1958; Gangopadhyay & Chattopadhyay, 1975; Datnoff et al., 1991; Menzies et al., 1991; Chérif e Bélanger, 1992; Samuels et al., 1994; Bélanger et al., 1995; Korndörfer & Datnoff, 1995; Vitti et al., 1997; Lima Filho et al., 1998 e 1999; Epstein et al., 1999; Savant et al., 1999). O silício proporciona mudanças anatômicas nos tecidos como células epidérmicas mais grossas, deposição de sílica nas células da camada epidérmica, proporcionando resistência física a penetração dos patógenos. Além da função estrutural, o silício exerce a função de ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa. Os locais de penetração dos fungos apresentam maior acúmulo de silício (Figura 3). Nesses pontos de infecção ocorre um aumento da síntese de compostos fenólicos, que atuam como substâncias inibidoras ao desenvolvimento dos fungos.

Tabela 1. Alterações morfológicas e bioquímicas causadas pelas deficiências e excessos nutricionais

Nutrientes	Alterações morfológicas ou bioquímicas que favorecem a infecção por patógenos
Excesso de N	Reduz compostos fenólicos, lignina nas folhas e tecidos menos enrijecidos
Deficiência de K	Acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, açúcares solúveis, diminuí a velocidade de cicatrização das injúrias, menor suberização, lignificação, espessura da cutícula e parede celular, maior abertura ou mais tempo aberto dos estômatos, menor síntese e acúmulo de compostos fenólicos
Deficiência de Ca	Menor quantidade de cálcio na lamela média, diminuindo a estabilidade da parede celular, facilitando a ação de enzimas liberadas pelos fungos na dissolução da lamela média
Deficiência de S	Acúmulo de frações nitrogenadas solúveis – nitrato, menor síntese protéica
Deficiência de B	Acúmulo de açúcares nas folhas, paredes celulares mais finas, menor lignificação dos tecidos e menor síntese de calose
Deficiência de Cu	Menor lignificação dos tecidos
Alta concentração de Si	Maior silificação e lignificação dos tecidos, presença de compostos organosilicatados aumenta a estabilidade da parede celular contra a degradação enzimática de patógenos, maior síntese de compostos fenólicos (fitoalexinas)
Deficiência de Mn	Menor síntese de lignina
Deficiência de Mo	Acúmulo de nitrato
Excesso de Mn	Menor deposição de cálcio na lamela média, resultando em menor estabilidade da parede celular

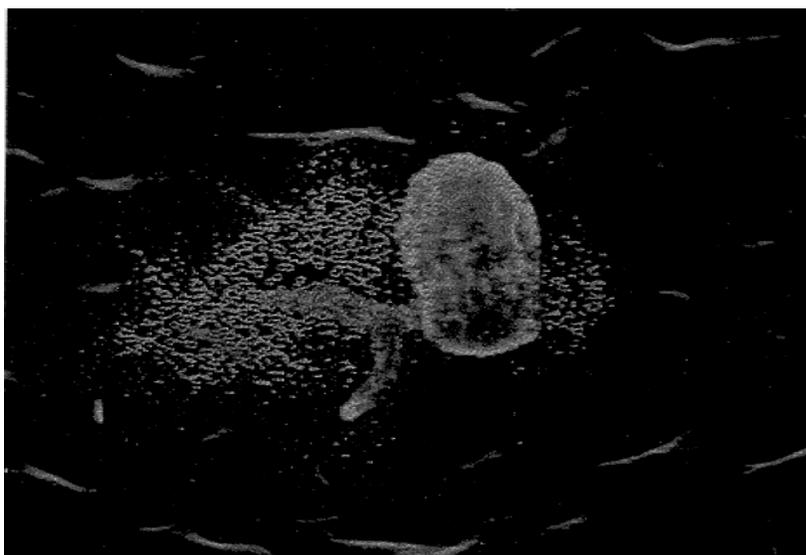


Figura 3. Germinação de conídio de *Sphaerotheca fuliginea*, em pepineiro, 24 horas após inoculação, com a distribuição do Si (pontilhado claro) ao redor do fungo. (Samuels et al., 1994)

O silício está presente em grandes quantidades nas plantas, principalmente nas gramíneas. As quantidades de silício em algumas culturas é superior as quantidades de nitrogênio, potássio e cálcio. No entanto, pouco são as informações referentes a esse elemento no eucalipto como: quantidade acumulada nas árvores e exportada pela colheita da madeira, efeitos sobre o crescimento, qualidade do produto e a ocorrência de doenças.

Deve-se considerar que o silício e o boro são os nutrientes que apresentam as maiores variações em relação a exigência dos materiais genéticos. Existem materiais que apresentam maior facilidade de transportar o silício das raízes para a parte aérea, sendo considerados assim mais eficientes.

Na tabela 2 são apresentadas algumas relações entre o estado nutricional das plantas e a ocorrência de doenças.

Tabela 2 . Efeito dos nutrientes na ocorrência de doenças em diversas culturas.

Nutrientes	Hospedeiro	Patógeno	Referência
↓ Ca	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Corden (1965)
	Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	<i>Botrytis cinerea</i>	Elad et al. (1993)
	<i>Ruscus hypoglossum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Elad & Kirshner (1992)
	Diversos	<i>Rhizoctonia solani</i>	Kiraly (1976) citado por Marschner (1995)
↓ Zn	<i>Eucalyptus marginata</i> e <i>Eucalyptus sieberi</i>	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Dell & Webb (1982) citado por Graham & Webb (1991)
	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Rhizoctonia root</i>	Thongbai et al. (1993)
	Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	<i>Oidium</i>	Bolle Jones & Hilton (1956)
		<i>Phytophthora</i> sp	Malavolta et al.(1997)
↓ B	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Botryosphaeria ribis</i> e <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Silveira et al. (1996) Silveira et al. (1998a)
	Girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	<i>Erysiphae cichoracearum</i>	Malavolta et al. (1997)
	Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)	<i>Phoma betae</i>	Malavolta et al. (1997)
	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Puccinia triticina</i> e <i>Puccinia glumarum</i>	Malavolta et al. (1997)
	Couve-flor (<i>Brassica oleracea</i>)	<i>Botrytis</i> sp.	Malavolta et al. (1997)
		<i>Plamodiophora brassica</i>	Dixon et al. (1996)
↓ K	Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Phomopsis</i> spp	Ito et al. (1994)
		<i>Cercospora kikuchii</i>	Ito et al. (1993)
	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	<i>Helminthosporium sigmoideum</i>	Marschner (1995)
↓ Mn	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Rengel et al. (1993)
↑ N	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Puccinia graminis</i> subsp. <i>tritici</i>	Kiraly (1976) citado por Marschner (1995)
↓ N e ↓ P	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Phaeoseptoria eucalypti</i>	Nichol et al. (1992)
	<i>Eucalyptus pilularis</i> e <i>Eucalyptus maculata</i>	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Halsall et al. (1983)
↓ B, Cu e Mn	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Ahmed et al. (1987)
↑ N e ↓ K	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.)	<i>Puccinia melanocephala</i>	Peros (1990)
	<i>Pinus nigra</i>	<i>Sphaeropsis sapinea</i>	Kam et al. (1991) e Huber (1980)
↓ K e ↓ B	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) e Cereais	<i>Puccinia graminis</i> <i>Puccinia recondita</i> <i>Puccinia striiformis</i>	Huber (1980)
↓ Si	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	<i>Helminthosporium oryzae</i>	Gangopadhyay & Chattopadhyay (1975) e Datnoff et al. (1991)
		<i>Pyricularia oryzae</i>	Volk et al. (1958)
Diversos	Diversos	Vários fungos	Vitti et al. (1997), Lima Filho et al. (1998 e 1999) e Esptein (1999)
		<i>Uncinula necator</i>	Bowen et al. (1992)
		<i>Sphaerotheca pannosa</i> e <i>Peronospora sparsa</i>	Voogt (1991) e Voogt & Elderen (1992)
		<i>Pythium ultimum</i>	Bélanger et al., 1995).
		<i>Pythium ultimum</i>	Menzies et al. (1991) e Chérif e Bélanger (1992)
		<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Samuels at al. (1994) e Bélanger et al., (1995)
Cana de Açúcar (<i>Saccharum</i> spp.)	<i>Leptosphaeria sacchari</i>	Raid et al. (1992)	
↓ Cu ↑ P e ↑ NNH_4^+	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Duffy & Défago (1999)
↑ Cl	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Puccinia recondita</i>	Engel et al. (1994)
↓ N	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Puccinia psidii</i>	Silveira et al. (1998b)
↑ Mn ↓ K e ↓ B	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Puccinia psidii</i>	Muniz et al. (1997)

3 RELAÇÃO ENTRE O ESTADO NUTRICIONAL DO EUCALIPTO E A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM

Os reflexos da nutrição mineral sobre a ocorrência da ferrugem são mais evidentes em materiais de resistência moderada (Tabela 3). Nestes materiais, melhorias no estado nutricional da planta promovem aumento na resistência da planta ao patógeno. Nos materiais altamente suscetíveis a *Puccinia psidii*, os efeitos dos nutrientes passam a ser pequeno ou muitas vezes inexistentes.

Tabela 3. Efeito da nutrição mineral sobre a ocorrência de *Puccinia psidii* em materiais de eucalipto com diferentes níveis de resistência.

Resistência dos materiais genéticos	Efeito da nutrição mineral	Nutrientes associados ao aumento da resistência
Altamente suscetível	Pequeno ou Nulo	Si (?)
Moderadamente suscetível	Médio a Alto	K, B, Cu, Mn e Si (?)
Resistente	Nulo	-

Silveira et al. (1997) estudaram a composição mineral das folhas através de um esquema fatorial com 2 condições de manejo (plantio e rebrota) x 2 níveis de incidência de *P. psidii* (ausência e presença). Não houve interação entre esses fatores para a concentração foliar dos nutrientes. Verificou-se efeito do tipo de floresta para a concentração de todos os macronutrientes, com exceção do magnésio. As maiores concentrações de N, P, K e S foram encontradas em florestas de 1ª rotação, somente o cálcio teve as concentrações mais altas na condição de rebrota. Ao contrário dos macronutrientes, constatou-se efeito da rotação somente para a concentração de Zn, sendo maior na floresta de plantio (Tabela 4).

As plantas infectadas com ferrugem apresentaram maior concentração de P, Ca e S quando comparadas com as plantas não infectadas (Tabela 5). Independente da incidência da ferrugem, as concentrações de Ca e S encontravam-se dentro da faixa considerada por Silveira et al. (2000).

Tabela 4. Concentração dos nutrientes nas folhas em função do tipo de floresta de *Eucalyptus grandis* com 12 meses de idade.

Nutrientes	Plantio	Rebrota
N	29,9 a	25,8 b
P	1,4 a	1,1 b
K	11,9 a	10,2 b
Ca	8,5 b	9,7 a
Mg	2,4 a	2,4 a
S	2,1 a	1,7 b
mg kg ⁻¹		
B	10 a	11 a
Cu	8,4 a	7,0 a
Fe	117 a	116 a
Mn	632 a	663 b
Zn	28,5 a	24,2 b

Em relação aos micronutrientes, observou-se que as árvores atacadas apresentaram maior concentração de boro, manganês e zinco. Independente da infestação de *P. psidii*, nota-se que as concentrações obtidas de boro estavam extremamente deficientes. Esses resultados são concordantes com aqueles obtidos por Muniz et al. (1997). Estudando o efeito das deficiências e excessos nutricionais sobre a severidade de *Puccinia psidii* em materiais genéticos considerados resistentes e suscetíveis, Muniz et al. (1997) verificaram que o clone suscetível apresentou menor resistência a ferrugem quando submetido ao excesso de Mn (4 Mn) e a carência de boro isolada ou múltipla com potássio e zinco. Em relação ao material considerado resistente, observou-se uma severidade bem menor do fungo em relação ao material suscetível, sendo que a carência de potássio isolada ou conjunta com a de boro e de zinco predispôs a ocorrência de *P. psidii* (Figura 4).

Muniz et al. (1997) também observaram que o aumento foliar de Mn em clones de *Eucalyptus* proporcionava maior severidade da doença. Estes resultados discordam da hipótese proposta por Graham & Webb (1991), sobre a qual, baixo nível de Mn na planta

tende a favorecer a penetração dos patógenos, devido a uma menor síntese de compostos fenólicos e conseqüentemente lignina.

Tabela 5. Concentração dos nutrientes nas folhas em função da ocorrência de *Puccinia psidii* em *Eucalyptus grandis*, aos 12 meses de idade.

Nutrientes	Com ferrugem	Sem ferrugem	Faixa adequada Silveira et al. (2000)
$g\ kg^{-1}$			
N	29,9 a	26,8 a	22-27
P	1,4 a	1,1 b	1,7-2,2
K	11,4 a	10,6 a	8,5-9,0
Ca	9,8 a	8,3 b	7,1-11,0
Mg	2,6 a	2,6 a	2,5-2,8
S	2,0 a	1,7 b	1,5-2,1
$mg\ kg^{-1}$			
B	12,4 a	8,6 b	34-44
Cu	7,7 a	7,6 a	6-7
Fe	107 b	126 a	65-125
Mn	720 a	576 b	200-840
Zn	27 a	25 b	15-20

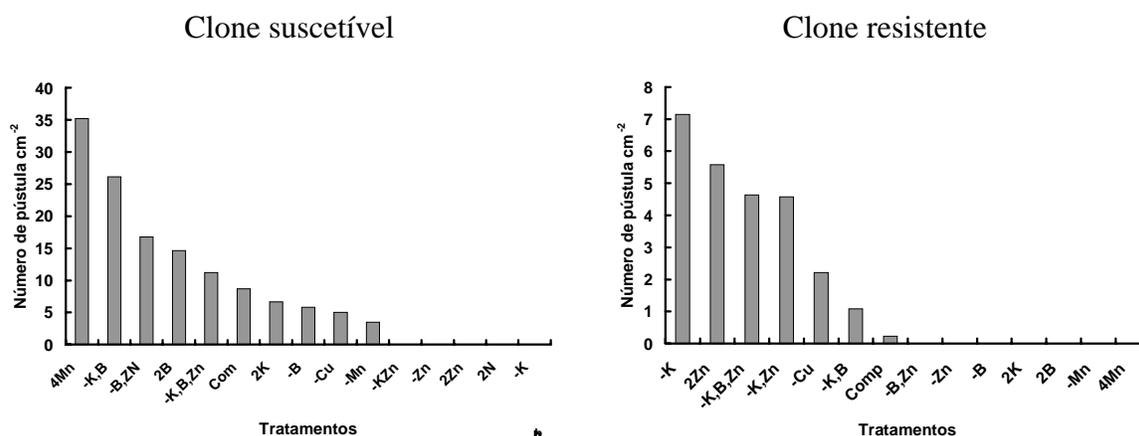


Figura 4. Efeito de tratamentos nutricionais sobre a severidade de *Puccinia psidii* em clones de *Eucalyptus grandis*.

Silveira et al. (1998b) estudaram o efeito das deficiências de micronutrientes e excesso de manganês na ocorrência da ferrugem em *Eucalyptus grandis*, na região do Vale do Paraíba, e observaram que o número de árvores severamente atacadas foi maior na omissão de boro, omissão e excesso de manganês (Figura 5). Quando considerou as árvores atacadas, independente do nível de severidade, verifica-se que no excesso de Mn houve maior porcentagem de árvores com ferrugem. Este resultado é concordante com os obtidos em clone suscetível, por Muniz et al. (1997).

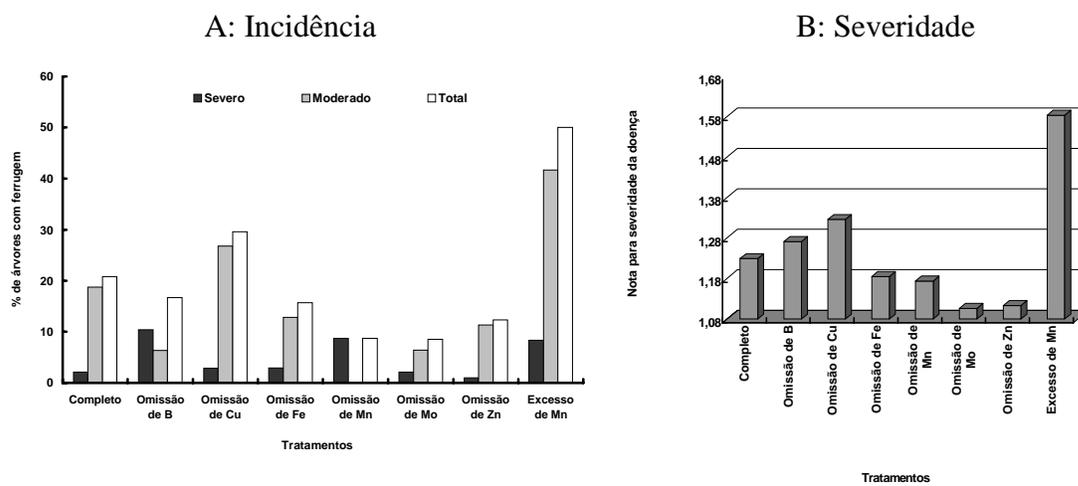


Figura 5. Efeitos dos tratamentos nutricionais sobre a ocorrência de *Puccinia psidii*, em *Eucalyptus grandis*, procedência Paraibuna, aos 11 meses de idade. A: Porcentagem de árvores atacadas; B: Severidade do ataque.

Estudando o efeito de doses de N (0, 40 e 80 kg ha⁻¹) x K₂O (0,40 e 80 kg ha⁻¹) sobre o crescimento e a ocorrência de ferrugem em *Eucalyptus grandis* no Vale do Paraíba, (Silveira et al., 1998b) observaram efeito somente das doses de N sobre a incidência e a severidade da ferrugem. Nas doses de 40 e 80 kg de N ha⁻¹ ocorreram menores incidências e agressividades do fungo em relação a testemunha (Figura 6 A-C). Provavelmente, os efeitos positivos do N foram indiretos, uma vez que a aplicação de N proporcionou maior velocidade de lançamento das novas brotações, dificultando assim o estabelecimento e sucesso da infecção de *P. psidii*. Em relação a aplicação de potássio não houve qualquer efeito sobre a ocorrência da doença e o crescimento das plantas.

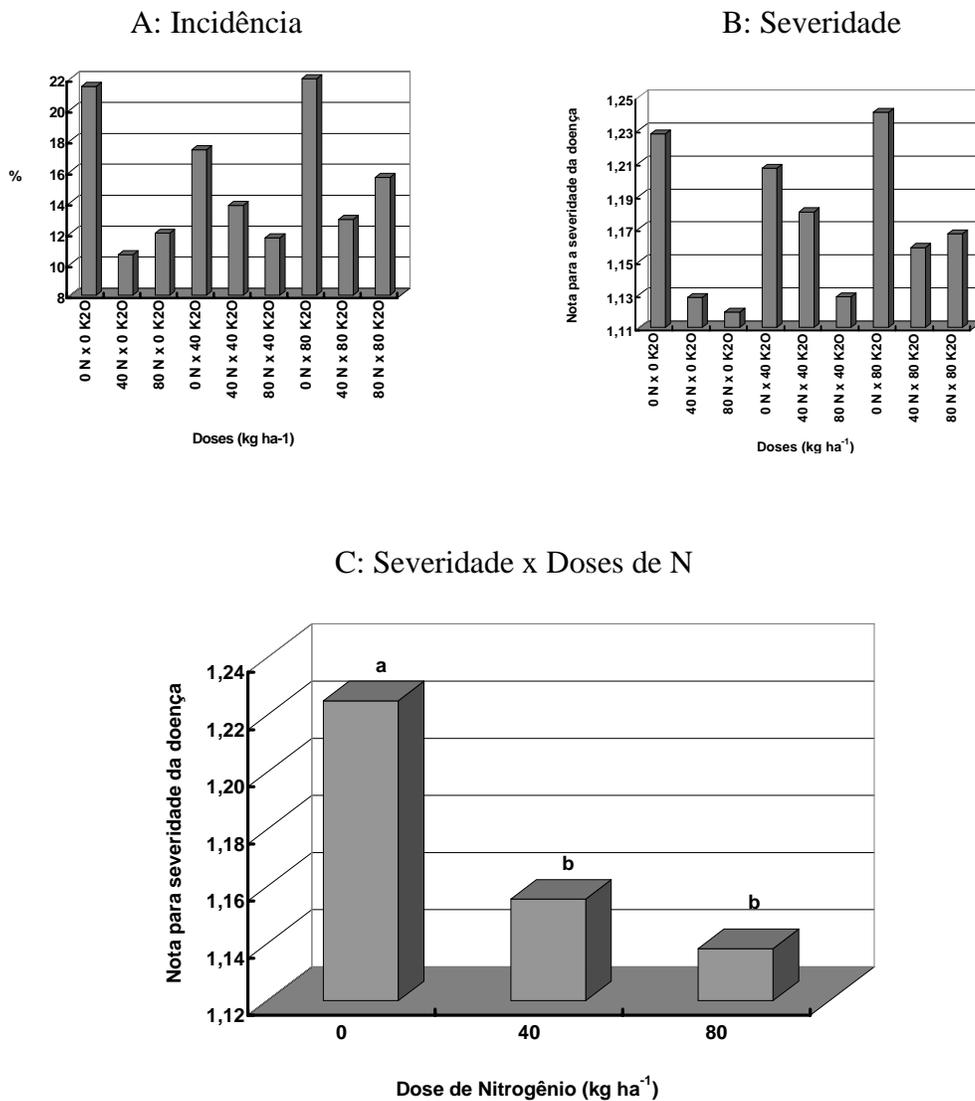


Figura 6. Efeitos da aplicação de nitrogênio e potássio sobre a ocorrência de *Puccinia psidii*. A: Porcentagem de árvores atacadas; B: Severidade ; C: Severidade em função das doses de nitrogênio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As deficiências e desequilíbrios nutricionais provocam mudanças nas estruturas anatômicas e nas reações bioquímicas tornando as plantas mais suscetíveis ao ataque de fungos;
- O silício é um elemento que aumenta a resistência das plantas à doenças;
- Existem evidências que a deficiência de boro e a toxicidade de manganês podem aumentar a severidade da ferrugem;

- d) Pesquisas envolvendo nutrição mineral e a severidade da ferrugem devem ser realizadas para verificar, principalmente, os efeitos do boro, manganês e silício sobre a ferrugem.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, B.Y.; SARHAN, A.R.T.; SHARIF, F.M. Effect of micronutrients on *Fusarium* wilt of tomato. **Journal of Agriculture and Water Resources Research Plant Production**, v.6, n.1, p.13-28, 1987.
- BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble Silicon: Its Role in Crop and Disease Management of Greenhouse Crops. **Plant Disease**, v.79, n.4, p.329-35. 1995.
- BOLLE-JONES, E.W.; HILTON, R.N. Zinc-deficiency of *Hevea brasiliensis* as a predisposing factor to *Oidium* infection. **Nature**, v.177, p.619-620, 1956.
- BOWEN, P.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; SAMUELS, L.; GLASS, A.D.M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.117, p.906-912, 1992.
- CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Phythium ultimum* on long English cucumber. **Plant Disease**, v.76, p.1008-1011. 1992.
- CORDEN, M.E. Influence of calcium nutrition on *Fusarium* wilt of tomato and polygalacturonase activity. **Phytopathology**, v.55, p.222-224, 1965.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Diseases**, v.75, p.729-732. 1991.
- DIXON, G.R.; DIAS, J.S.; CRUTE, I.; MONTEIRO, A.A. Repression of the morphogenesis of *Plasmodiophora brassicae* Wor. by boron: a review. **Acta-Horticulturae**, n.407, p.393-401, 1996.
- DUFFY, B.K.; DÉFAGO, G. Macro-and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in soilless production system. **Hortscience**, v.34, n.2, p.287-291, 1999.
- ELAD, Y.; KIRSHNER, B. Calcium reduces *Botrytis cinerea* damage to plants of *Ruscus hypoglossum*. **Phytoparasitica**, v.20, n.4, p.285-291, 1992.

- ELAD, Y.; YUNIS, H.; VOLPIN, H. Effect of nutrition on susceptibility of cucumber, eggplant and pepper crops to *Botrytis cinerea*. **Canadian Journal of Botany**, v.71, n.4, p.602-608, 1993.
- ELLET, C.W. **Soil Fertility and Disease Development**. Better crops with plant food, v.57, p. 6-8, 1973.
- ENGEL, R.E., ECKHOFF J., BERG, R.K. Grain-yield, kernel weight, and disease response of winter wheat cultivars to chloride fertilization. **Agronomy Journal**, v.86, n.5, p.891-896, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.
- GANGOPADHYAY, S.; CHATTOPADHYAY, S.B. Total de silica and brown spot disease development of rice under varying levels of nitrogen. **Current Science**, v.44, n.3, p. 92-94. 1975.
- GRAHAM, R.D.; WEBB, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M. (eds), **Micronutrients in Agriculture**, 2ed. Soil Science Society of America. 1991. p.329-370.
- HALSALL, D.M.; FORRESTER, R.I.; MOSS, T.E. Effects of nitrogen, phosphorus and calcium nutrition on growth of eucalypt seedlings and on the expression of disease associated with *Phytophthora cinnamomi* infection. **Australian Journal of Botany**, v.31, n.4, p.341-355, 1983.
- HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in defense. In :Horstall, J.G. & Cowling, E.B.(eds). **Plant disease an advanced treatse**, v.5. Academic Press Inc, ed. 1980. p. 381-.406.
- HUBER, D.M.; ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA, CSSA and SSA, 1985. p.467-488.
- ITO, M.F.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, M.A.S.; DUDIENAS, C.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; MIRANDA, M.A.C. Efeito residual da adubação potássica e da calagem sobre a incidência de *Phomopsis* spp. em sementes de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.19, n.1, p.44-49, 1994.

- 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 Phytopathologica**, v.19, n.1, p.21-23, 1993.
- KAM, M.; VERSTEEGEN; C.M.; BURG Van-Den, J.; WERF Van Der D.C. Effects of fertilization with ammonium sulphate and potassium sulphate on the development of *Sphaeropsis sapinea* in Corsican pine. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v.97, n.5, p.265-274, 1991.
- KORNDORFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, POTAFOS, n.70, p.1-3, 1995.
- LIMA FILHO, O.C.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. Supressão de patógenos em solos induzida por agentes abióticos: o caso do silício. **Informações Agronômicas**, n.87, 1999. p.8-12. (Encarte técnico).
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças. **Boletim Informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”**, n.2, p.10-11, 1998.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888p.
- MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. Effects of silicon soluble on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, v.81, p.84-88. 1991.
- MUNIZ, M.R.A.; KRUGNER, T.L.; SILVEIRA, R.L.V.A. **Influência do estado nutricional do hospedeiro sobre a severidade da ferrugem do eucalipto causada por *Puccinia psidii***. Piracicaba. Universidade de São Paulo. 18p. 1997.
- NICHOL, N.S.; WINGFIELD, M.J.; SWART, W.J. The effect of site preparation and fertilization on the severity of *Phaeoseptoria eucalypti* on *Eucalyptus* species. **European of Forest Pathology**, v.22, n.6-7, p.424-431, 1992.

- PEROS, J.P. Relationships between the mineral contents of sugarcane leaf laminae and *Puccinia melanocephala* infection .1. pot trials. **Agronomie Tropicale**, v.45, n.3, p.205-212, 1990.
- PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berne, International Potash Institute, 1990. 363p.
- RAID, R.N.; ANDERSON, D.L.;UELOA, M.F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugarcane. **Crop Protection**, v.11, n.1, p.84-88, 1992.
- RENGEL, Z.; GRAHAM, R.D.; PEDLER, J.F. Manganese nutrition and accumulation of phenolics and lignin as related to differential resistance of wheat genotypes to the take all fungus. **Plant and Soil**, v.151, n.2, p.255-263, 1993.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L. Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.44, p.237-42. 1994.
- SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.12, p.1853-1903, 1999.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, F.R.A.; SILVA, C.R. **Influência do cultivo mínimo e da fertilização sobre a ocorrência de ferrugem em plantios de *Eucalyptus grandis* na VCP**. Relatório Técnico. 14p. 1997. (dados não publicados).
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; KRUGNER, T.L. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. **Scientia Forestalis**, n.53, p.57-70, 1998a.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; CAMARGO, F.R.A.; SILVA, C.R. **Resultados Preliminares do Projeto “Influência do Estado Nutricional do *Eucalyptus* na Predisposição à Ocorrência da Ferrugem (*Puccinia psidii*)**. Relatório Técnico. 44p. 1998b (dados não publicados).
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (eds). **Nutrição e Fertilização Florestal**, IPEF, 2000. p.79-104.

- SILVEIRA, R.L.V.A.; KRUGNER, T.L.; SILVEIRA, R.I.; GONÇALVES, A.N. Efeito de boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromaiae*. **Fitopatologia Brasileira**, v.21, n.4, p.482-485, 1996.
- THONGBAI, P., GRAHAM, R.D., NEATE, S.M., WEBB, M.J. Interaction between zinc nutritional-status of cereals and *Rhizoctonia root* rot severity .2. Effect of Zn on disease severity of wheat under controlled conditions. **Plant and Soil**, v.153, n.2, p.215-222, 1993.
- VITTI, G.C.; OLIVEIRA, F.A.; PRATA, F.; OLIVEIRA Jr., J.A.; FERRAGINE, M.C. SILVEIRA, R.L.V.A. **Silício no solo e na planta**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 90p. 1997.
- VOLK, R.J.; KAHN, R.P.; WINTRAUB, R.L. Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus , *Piricularia oryzae*. **Phytopathology**, v.48, n.4, p.179-84. 1958.
- VOOGT, W. The effects of Si application on roses in rockwool. In: GLASSHOUSE CROPS RESEARCH STATION. **Annual Report 1992**. Naaldwijk, 1992, p.17-18.
- VOOGT, W.; ELDEREN, C.W.van. Mildew control in roses? Silicon in plant nutrition. **Vakblad voor de Bloemisterij**, v.46, n.8, p.52-53, 1991.
- YAMADA, T. A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças. **Informações Agronômicas**, n.72, 1995, p.1-3.