

**HAILSON ALVES FERREIRA**

**SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM  
MELOEIRO (*Cucumis melo* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Fitopatologia.

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO, 2009**

**SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM  
MELOEIRO (*Cucumis melo* L.)**

**HAILSON ALVES FERREIRA**

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO**

**Professor Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento – Orientador**

**Professora Dr<sup>a</sup>. Rosa de Lima Ramos Mariano – Co-orientadora**

**Professora Dr<sup>a</sup>. Elineide Barbosa da Silveira – Co-orientadora**

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO, 2009**

**SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM  
MELOEIRO (*Cucumis melo* L.)**

**HAILSON ALVES FERREIRA**

**Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 27 de  
fevereiro de 2009.**

**ORIENTADOR:**

---

**Prof.º Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento**

**EXAMINADORES:**

---

**Dra. Luciana Melo Sartori Gurgel (IPA)**

---

**Prof.ª Dra. Elineide Barbosa da Silveira (UFRPE)**

---

**Prof.º Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes (UFERSA)**

**RECIFE – PE**

**FEVEREIRO, 2009**

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse caridade, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse caridade, nada seria”.

**Coríntios 13:1-2**

A Deus pelo seu imensurável amor, carinho e compreensão, pelo dom da vida a força de viver e alcançar a felicidade.

Aos meus amados pais, Samuel e Maria José Alves Ferreira e irmã Hailma Maria Alves Ferreira pelo carinho, amor, esforço, cumplicidade, dedicação, apoio financeiro e paciência ao longo de todas nossas jornadas e desafios vividos.

## **OFEREÇO**

À minha esposa Welka Preston, por todo companheirismo, compreensão, enorme paciência, ajuda, esforço, amor, felicidade e dedicação dispensados a minha pessoa. E ao professor Clístenes Williams por toda a colaboração dispensada para realização desse.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por seu imenso amor, pela saúde, força e paciência durante o decorrer do curso. Sem a sua imprescindível ajuda nada disso seria possível;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo acolhimento, serviços prestados e estrutura cedida para estudos, pesquisas e demais atividades. Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) pelo apoio financeiro fornecido durante o curso;

Aos meus orientadores professores Clístenes Williams Araújo Nascimento, Rosa de Lima Ramos Mariano e Elineide Barbosa da Silveira, pela parceria, valiosos ensinamentos, conselhos, paciência e dedicação. Agradecimento especial ao professor Clístenes Williams Araújo Nascimento sem ajuda do qual esse trabalho não teria nem iniciado e também por toda sua compreensão, amizade, esforço, apoio, incentivo e sua nunca negada receptividade, apesar de todas ocupações sempre esteve disposto a receber-me sendo mais que um orientador;

Aos membros da Banca examinadora, pelas sugestões e contribuições para a melhoria deste trabalho;

Aos professores do curso de Fitopatologia pelos significativos ensinamentos e amizade, em especial a Sami Jorge Michereff;

À UFERSA, antiga ESAM por ter proporcionado essa formação que tanto amo, respeito e admiro que é Agronomia. Aos professores dessa instituição, em especial ao Dr. Glauber Henrique pela fundamental ajuda no início e decorrer do curso e na construção dessa dissertação, ao professor Dr. Rui Sales por ter me iniciado na Fitopatologia e por todo incentivo prestado.

A todos funcionários do Departamento de Fitossanidade, em particular a Romildo, Ivanise (peça chave na realização desse trabalho, responsável por toda ajuda laboratorial necessária para parte fitopatológica), Adriana (sempre alegre e disposta a colaborar) e à Darci (alegria contagiante), na sua cantina as apreensões eram esquecidas. A todos funcionários do Departamento de Solos em especial à Socorro e Seu Noca.

Aos meus amigos do Departamento de Fitossanidade: Jean (grande companheiro e amigo), Cícero, Valéria Costa, Robson, Rosemberg (conterrâneo e grande amigo), Frank (amigo de longas jornadas), Leonardo (mineiro), Saulo e Tiago (os novos baianos), Denise, Kátia (companheiras e amiga de batalhas), Sarah, Alessandra, Kamila, Maria (Lila), Eliza e Edy, e a todos demais não citados, mas eternamente guardados em meu coração;

Aos meus amigos do Departamento de Solos: Edvan (amigo de longas datas), Laerte (estimável amigo), Michelângelo (Mikey) e Michelangelo (Michel), Eriberto, Karina, Caroline Biondi, Josângela e todos os demais;

À Carolina Malala Martins por toda amizade, parceria, constante disposição em ajudar, alegria e felicidade contagiante e pela transmissão de paz e serenidade e ainda por todos momentos bons e inesquecíveis vividos;

A Márcio Félix, eterno brother, figura mais transparente que já encontrei na face da terra, cem por cento de tranquilidade, no stress. A você meus agradecimentos pela maravilhosa amizade prestada e por toda colaboração concedida;

Ao grupo de pesquisa em Química Ambiental de Solos – UFRPE, e a todos componentes do Laboratório de Fertilidade dos Solos: Seu Josias, Bruno (grande amigo, sempre disposto a colaborar), Vinícius 1 e 2, Fernando (irmão), Xuxo, João Paulo, Adelazil (Zil) e Agenor;

A Airon pela excepcional ajuda, constante apoio, extrema dedicação e profissionalismo e também por toda amizade prestada;

A Renato (“silício é pau”) pela ajuda, dedicação e amizade;

A Zeca, o grande trator do Solos, por toda ajuda, e companheirismo, pela nossa parceria nas várias viagens à campo e pelos ótimos momentos de trabalho e descontração;

Aos meus amados pais e irmã, pessoas especiais e fundamentais em minha vida, sem as quais não teria obtido o êxito dessa vitória. Vocês são os maiores responsáveis por esse feito e os meus maiores amores;

A toda minha família pelo apoio e confiança. Aos meus avós paternos e maternos Agnelo Alves Ferreira e Agripina Alves Ferreira, Pedro Urbano e Maria Alves, a vocês minha eterna gratidão;

À minha esposa Welka Preston pelo amor e valiosa ajuda e, a sua família, em especial à minha sogrona Dona Rita;

Ao Laboratório de Proteínas Vegetais de Defesa da Universidade Federal do Ceará – UFC, pela grandiosa contribuição, ao professor Dr. José Tadeu, a todos os estagiários, a bióloga Juliana (Jú) e aos Doutorandos Hélio Filho e Darcy pela inestimável cooperação para realização deste;

Aos meus amigos, ilustres mossoroenses: Vingt-un Rosado (Vantanzinho), Fred (Eurico), Marcio, Sergio Roberto (Sergin), Enio Rêgo, Anax e Marcondes do Rosário e Isaias Porfírio (paraibano, mas mossoroense de coração) grandes companheiros de luta e de farras;

A todos que não foram citados, mas que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>vi</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>1. A CULTURA DO MELOEIRO E A MANCHA-AQUOSA (<i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>citrulli</i>).....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 A cultura do meloeiro.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Mancha-aquosa do meloeiro (<i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>citrulli</i>).....</b>	<b>16</b>
<b>2. SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Silício no solo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Silício na planta.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Silício como indutor ou potencializador de mecanismos de resistência de plantas à patógenos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1 Indução de resistência.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2 Ativação de mecanismos de defesa.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3 Ativação de mecanismos de defesa pelo silício.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO II – SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM MELOEIRO (<i>Cucumis melo</i> L.).....</b>	<b>51</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>52</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>53</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>TABELAS E FIGURAS.....</b>	<b>75</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>82</b>

## RESUMO

A mancha-aquosa do meloeiro, causada pela bactéria *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Aac) ocasiona consideráveis perdas a produção. Este trabalho objetivou (1) avaliar os efeitos de diferentes doses de silício (Si) no controle da mancha-aquosa do meloeiro analisando os atributos químicos do solo, os componentes epidemiológicos da doença, a nutrição e desenvolvimento da planta e o efeito direto sobre o patógeno; (2) avaliar a atividade enzimática em meloeiros suplementados ou não com Si, inoculados e não inoculados com o patógeno. O silicato de cálcio foi incorporado ao solo nas doses de 0,00; 0,25; 0,50; 1,50 e 3,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. Após 20 dias de incubação, realizou-se o transplântio de mudas de meloeiro híbrido amarelo AF 4945 e análises químicas do solo. Foram avaliados período de incubação, índice de doença, área abaixo da curva de progresso da doença e incidência aos 20 dias após inoculação. Avaliações de crescimento, desenvolvimento e acúmulo de nutrientes na planta foram realizadas após 45 dias de cultivo. A maior dose de SiO<sub>2</sub> utilizada promoveu alterações significativas nos atributos químicos do solo, na nutrição e desenvolvimento da planta, e reduziu significativamente o índice de doença, a área abaixo da curva de progresso da doença e a incidência, aumentando o período de incubação e controlando a mancha-aquosa. O silício não inibiu o crescimento de Aac *in vitro*. As proteínas solúveis totais e algumas isoformas da superóxido dismutase foram induzidas pela presença do Si, enquanto as peroxidase, peroxidase do ascorbato, quitinase, β-1,3 glucanase e fenilalanina amônia liase não foram influenciadas.

Palavras-chave: Indução de resistência, componentes epidemiológicos, PR-proteínas, *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*.

## ABSTRACT

Melon bacterial blotch caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Aac) is responsible for substantial yield losses in Northeastern Brazil. The research aimed at two main objectives: 1) evaluating the effects of silicon doses on the melon bacterial blotch control as a function of soil characteristics, disease epidemiological components, plant nutrition and development, and direct effect on the pathogen; and 2) evaluating the enzyme activity in melons supplied with silicon either inoculated or non-inoculated by the pathogen. Calcium silicate was added to soil at the rates 0.00; 0.25; 0.50; 1.50 e 3.00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. After a 20-day incubation period soil samples were taken and melon seedlings (AF 4945) were transferred to soil. The following characteristics were evaluated: incubation period, disease index, area below the progress curve of the disease, and incidence at 20 days after inoculation. Analysis of plant growth and development as well as nutrients accumulation were done in 45 days-old plants. The results demonstrated that the highest Si rate promoted significant alterations in soil chemical attributes and plant nutrition and development. This rate also reduced the disease index, the area below the progress curve of the disease and the incidence, hence increasing the incubation period and controlling the bacterial blotch. Silicon did not inhibit the *Acidovorax avenae* growth in vitro. Total proteins and superoxide dismutase isoforms were induced by Si whereas activity of peroxidase, ascorbate peroxidase, quitinase, β-1,3 glucanase, and phenylalanine ammonia-lyase were not changed by silicon.

Key words: resistance induction, epidemiological components, PR-proteins, *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*.

## **CAPÍTULO I**

---

---

### **INTRODUÇÃO GERAL**

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. A CULTURA DO MELOEIRO E A MANCHA-AQUOSA (*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*)

#### 1.1 A cultura do meloeiro

O meloeiro (*Cucumis melo* L.), pertencente ao gênero *Cucumis*, subtribo Cucumerinae, tribo Melothriaceae, subfamília Cucurbitoidae, família Cucurbitaceae, é uma espécie cujo centro de origem não está claramente estabelecido, sendo localizado por alguns autores na África, enquanto para outros no Oeste da Ásia, dispersando-se a partir da Índia para todas as regiões do mundo (ROBINSON; DECKER-WALTERS, 1997; BRANDÃO FILHO; VASCONCELOS, 1998). Foi trazido ao Brasil pelos escravos, sendo conhecido desde o século XVI. A segunda introdução foi feita pelos imigrantes europeus, iniciando-se de fato a expansão da cultura, sobretudo no Estado do Rio Grande do Sul, considerado primeiro centro de cultivo no país, depois em São Paulo, Pará e região Nordeste, principalmente nos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco (ALVARENGA; RESENDE, 2002; GRANGEIRO et al., 2002).

O meloeiro é uma dicotiledônea, perene na natureza, sendo explorada como planta anual. O sistema radicular é superficial e praticamente sem raízes adventícias; o caule é herbáceo, de crescimento rasteiro ou prostrado; as folhas são pecioladas, grandes, divididas em três a cinco lobos e com pilosidade de textura aveludada; as flores são amarelas constituídas por cinco pétalas e estão presentes como imperfeitas, perfeitas ou hermafroditas em pontos diferentes da planta. Os frutos são geralmente amarelos, amarelados ou verdes; e as sementes ovaladas e comprimidas (FONTES; PUIATTI, 2005).

É uma planta muito exigente quanto ao solo, preferindo os de textura média: franco-arenoso ou areno-argiloso, profundos, de fácil drenagem, com níveis adequados de nutrientes e com pH na faixa de 6,0 a 7,5 (GRANGEIRO et al., 2002).

O cultivo é feito em clima quente e seco, com temperatura ideal variando de acordo com o estágio fenológico da cultura. É propagado por sementes e a colheita ocorre entre 60 a 75 dias após o plantio, dependendo da cultivar utilizada (COSTA et al., 2001). O fruto é consumido “in natura”, com expressivo valor nutritivo na forma de

hidratos de carbono e vitaminas, além de fósforo e cálcio (COSTA et al., 2001), e tem propriedades estimulantes, diuréticas e laxativas (COSTA; GRANGEIRO, 2003).

As variedades botânicas foram agrupadas e os principais melões produzidos comercialmente pertencem hoje a dois grupos: *Cucumis melo* var. *inodorus* Naud. e *C. melo* var. *cantaloupensis* Naud., correspondendo respectivamente, aos melões inodoros e aos melões aromáticos. Os frutos pertencentes ao grupo *C. melo* var. *inodorus* são denominados melões de inverno, que apresentam casca lisa ou levemente enrugada, coloração amarela, branca ou verde escura. A polpa é geralmente espessa (20 a 30 mm), de coloração que varia de branco a verde-claro, com elevado teor de açúcares. Possuem longo período de conservação pós-colheita, são mais resistentes ao transporte à longa distância e ao armazenamento em temperatura ambiente e, geralmente, têm frutos maiores e mais tardios que os aromáticos (FERNANDES, 1996; FREITAS, 2003). Na região Nordeste, os mais cultivados são os híbridos comerciais de casca amarela.

Frutos pertencentes ao grupo *C. melo* var. *cantaloupensis* são muito aromáticos, sendo mais doces que os inodorus. Apresentam superfície reticulada, verrugosa ou escamosa, podendo apresentar gomos, e possuem polpa de coloração alaranjada, salmão ou às vezes, verde (FERNANDES, 1996). Necessitam de maiores cuidados no manejo cultural e na pós-colheita, principalmente em relação à cadeia de frio (FREITAS, 2003). Os tipos mais comuns são: Charentais (de casca lisa, de casca verde-escura e de casca reticulada), Gália, Cantaloupe (ALVES, 2000) e Orange flesh (FERNANDES, 1996).

Cerca de 70% do melão produzido e comercializado no Brasil é do tipo Amarelo do qual fazem parte diversas cultivares e híbridos, destacando-se como o principal tipo que se destina ao mercado externo. Tal preferência deve-se ao potencial produtivo e a maior resistência do melão amarelo ao transporte por longas distâncias e no armazenamento em temperatura ambiente (COSTA et al., 2001; BUAINAIN; BATALHA, 2007).

A produção mundial de melão em 2005 foi de cerca de 27,6 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores a China, Turquia, Estados Unidos, Irã e Espanha, que responderam por mais de 60% da produção. O Brasil ocupa a vigésima posição (FAO, 2006).

A produção de melão no Brasil é de cerca de 349 mil toneladas de frutos por ano, em área de 16.000 ha (IBGE, 2005). Todas as regiões brasileiras produzem melão, sendo cerca de 93,6% no Nordeste, 4,8% no Sul, 1,2% no Sudeste e os 0,4% restantes no Norte e Centro-Oeste (AGRIANUAL, 2008).

Os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte destacam-se como líderes nacionais de produção e exportação de melão. Em 2005, estes Estados responderam por 40 e 34,5% da produção nacional, respectivamente. O elevado crescimento da produção brasileira foi impulsionado, basicamente, pelo bom desempenho da produção cearense e potiguar, que cresceram respectivamente, 164% e 111% entre 1994 e 2005 (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

Em 2006, as exportações brasileiras de frutas frescas geraram divisas superiores à US\$ 480 milhões para um volume aproximado de 830 mil toneladas. As principais frutas focalizadas foram: uva, melão, manga, banana, limão, lima e maçã (GLOBAL 21, 2009). Em 2005, o melão foi a segunda fruta fresca mais exportada pelo Brasil, em valor de exportação, superado apenas pela uva (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

Em razão do crescimento do volume de melões exportados, 78,6% entre 2001 e 2003, o Brasil tornou-se o terceiro maior fornecedor dessa fruta para o mundo. Em 2003, o país exportou US\$ 85,9 milhões, ultrapassando a Guatemala (US\$ 74,5 milhões de exportações do produto). Em 2005, esses países registraram respectivamente US\$ 112,4 milhões e US\$ 81,9 milhões. A Espanha apresenta-se de forma consolidada como o maior exportador mundial (US\$ 260,2 milhões), seguida da Costa Rica (US\$ 121,2 milhões) (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

Os principais destinos das exportações mundiais de melão são os Estados Unidos, Alemanha, França, Canadá, Países Baixos e Reino Unido, os quais compraram em 2005, respectivamente, US\$ 176,7 milhões, US\$ 118,5 milhões, US\$ 89,6 milhões, US\$ 87,9 milhões, US\$ 73,4 milhões e US\$ 72,6 milhões. Países Baixos e Reino Unido foram os principais compradores do melão no Brasil em 2005, com US\$ 38,5 milhões e US\$ 29,8 milhões, respectivamente. Esse valor representa 75% do volume total de melão exportado pelo Brasil (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

Além das pragas, o melão é suscetível a diversas doenças que podem causar prejuízos econômicos pela redução da quantidade e/ou qualidade de frutos comercializados (ALVES, 2000). Dentre os patógenos que ocorrem nessa cultura, as bactérias vêm assumindo uma importância crescente, destacando-se no Brasil *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Willems et al. como a mais importante, além de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones) Hauben et al.; *Pseudomonas syringae* (Van Hall); *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* (Smith; Bryan) Young et al.; *Pseudomonas cichorri* (Swingle) Stapp; *Pseudomonas* sp. (Migula); *Xanthomonas campestris* pv. *cucurbitae* (Bryan) Dye; e em outros países

produtores, *Erwinia ananas* (Serrano) e *Erwinia tracheiphila* (Smith) (SALES JUNIOR; MENEZES, 2001; TAVARES, 2002). As razões para essa crescente importância são diversas, com destaque para o desequilíbrio progressivo do agrossistema, o emprego de variedades com alto potencial produtivo, porém suscetíveis, e a própria agressividade das fitobactérias, capazes de sobreviver de forma variada e de se disseminar eficazmente com particular rapidez, se estabelecendo com sucesso quando introduzidas em determinadas regiões agrícolas.

*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* [(Sin: *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* Schaad et al.; *Pseudomonas avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Hu et al.)] é o agente causal da mancha-aquosa, principal doença bacteriana que ocorre nos campos de melão do Nordeste, principalmente na estação chuvosa, ocasionando grandes perdas na produção e depreciação no valor comercial do fruto (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

### **1.2 Mancha-aquosa do meloeiro (*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*)**

*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* é uma bactéria Gram negativa, em forma de bastonete, aeróbica e móvel por um flagelo polar. Apresenta bom crescimento no meio de cultura Ágar nutritivo – extrato de levedura – dextrose (NYDA) (PUSEY; WILSON, 1984), onde forma colônias pequenas com 0,7 a 1,0 mm, brancas ou cremes, e não é fluorescente em meio de King B. Cresce a temperatura de 41°C, mas não a 4°C. Não hidrolisa a arginina e apresenta reação positiva para os testes de catalase, oxidase, urease e lipase (SCHAAD et al., 1978). Conforme a descrição do isolado tipo (*P. pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*), a espécie não induz reação de hipersensibilidade em fumo (*Nicotiana tabacum* L.), contudo, essa reação já foi observada em diversos isolados dessa bactéria (SOMODI et al., 1991; RANE; LATIN, 1992; SILVEIRA et al., 2003).

A mancha-aquosa foi relatada pela primeira vez em melancia (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum.; Nakai) nos Estados Unidos em 1965, causando manchas encharcadas em plântulas (WEBB; GOTH, 1965) e tem sido relatada em várias regiões produtoras deste país e em diversos outros países do mundo.

Em melão, o primeiro relato da doença nos Estados Unidos foi em 1996, especificamente na Flórida, Carolina do Sul e Indiana e, posteriormente no Texas, em melão Cantaloupe com incidência de frutos doentes superior a 50% (ISAKEIT et al.,



1997). No Brasil, foi registrada em meloeiro nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste por Robbs et al. (1991), sendo hoje um problema nas áreas produtoras do Nordeste. Em 1997, a mancha-aquosa foi detectada pela primeira vez no Rio Grande do Norte (ASSIS et al., 1999). Em seguida foi assinalada no Ceará (SANTOS; VIANA, 2000), Rio Grande do Sul (UENO et al., 2003), Minas Gerais (MACAGNAN et al., 2003), Pernambuco (MARIANO; SILVEIRA, 2004) e Bahia (MARIANO et al., 2004). As perdas de produção giram em torno de 40 a 50%, todavia, chegou a dizimar totalmente algumas lavouras nos municípios de Quixeré (Ceará) e Mossoró (Rio Grande do Norte) nos períodos chuvosos (SANTOS; VIANA, 2000). Levantamento realizado na safra 2001, nos municípios de Mossoró e Baraúna no Rio Grande do Norte, em 18 plantios de meloeiro, constatou a prevalência da mancha-aquosa em 100% dos campos, com incidência variando de 4,30 a 47,29% (SILVA et al., 2003).

Não existe cultivar resistente, de forma que todos os tipos de melão apresentam suscetibilidade à bactéria, incluindo Amarelo, Orange Flesh, Pele de Sapo, Charentais e Gália (LATIN, 1997; MARIANO et al., 2001).

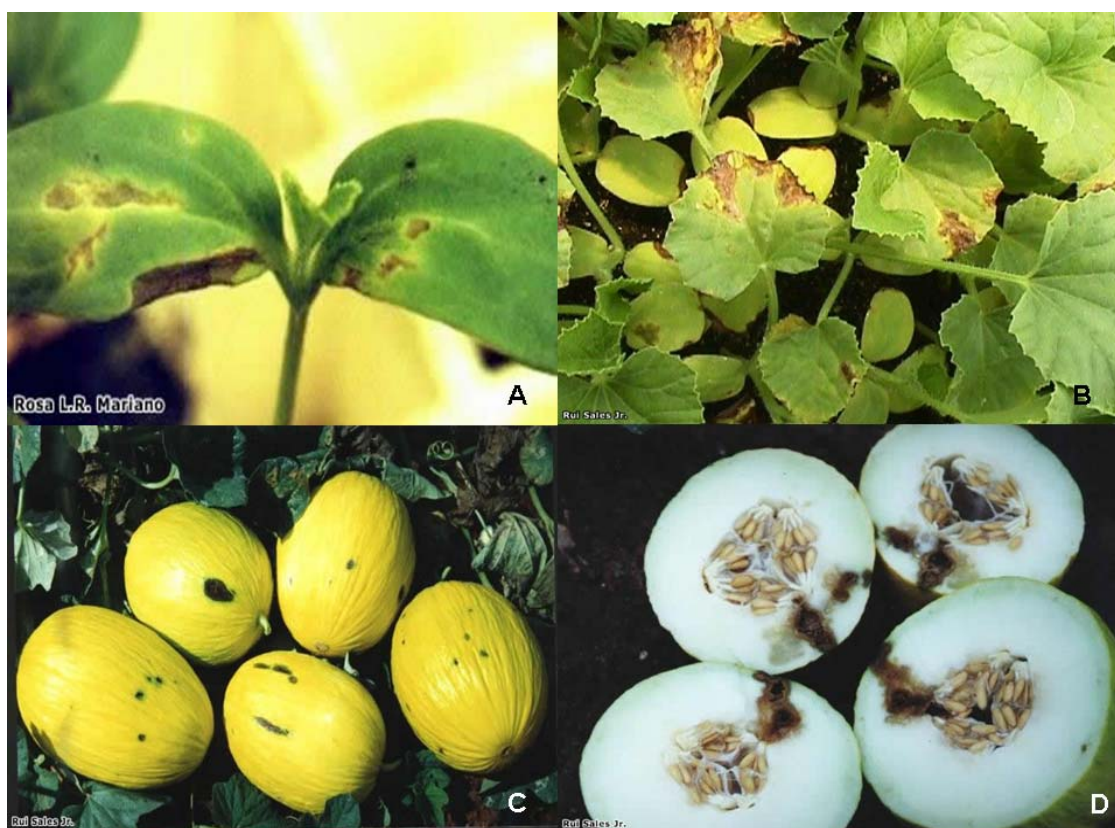
A mancha-aquosa pode manifestar-se através de sintomas em qualquer fase de desenvolvimento da planta, ocorrendo comumente em plântulas, folhas e frutos, sendo mais comuns e facilmente visualizados nos frutos. Em plântulas oriundas de sementes infectadas, as lesões encharcadas são observadas nos hipocótilos e cotilédones, progredindo para verde-escuras (SANTOS; VIANA, 2000) e marrons nos cotilédones (Figura 1A) e às vezes necrose do hipocótilo, podendo levar ao colapso total ou tombamento e morte das mudas, após alguns dias (HOPKINS et al., 1996).

As lesões nas folhas de plantas adultas são inicialmente pequenas, com aspecto oleoso e coloração verde-clara, assumindo posteriormente uma coloração marrom-escura (SANTOS; VIANA, 2000), com ou sem halo (HOPKINS et al., 1996). Lesões são freqüentemente observadas ao longo das nervuras ou nas margens da folha (O'BRIEN; MARTIN, 1999) (Figura 1B). Dependendo das condições climáticas e da cultivar, as manchas podem crescer e coalescer, e a necrose estender-se por quase toda a área foliar (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

Os sintomas mais típicos da doença estão na casca dos frutos maduros, antes da colheita (ISAKEIT, 1999). Caracterizam-se como pequenas manchas verde-oliva, oleosas, variando de 1 a 5 mm de diâmetro, com ou sem halo, as quais progridem rapidamente, coalescem, tornando-se aquosas, marrom-claras ou marrom-escuras, podendo atingir grandes áreas da casca (Figura 1C). No centro das lesões podem ocorrer

rachaduras as quais permitem a entrada de outros microrganismos que aceleram o apodrecimento do fruto (SANTOS; VIANA, 2000; COSTA et al., 2001).

Internamente, os sintomas variam com a idade do fruto e com seu estágio de desenvolvimento no momento da infecção. A bactéria, em geral, coloniza a polpa do fruto, onde causa podridão seca, contaminando a semente externa e internamente através da região do hilo, o que dificulta a erradicação (ISAKEIT, 1999) (Figura 1D). A necrose ou simples lesão na casca não reflete o dano que ocorre na polpa imediatamente abaixo, assim, a parte interna já pode estar bastante comprometida, mesmo quando a lesão externa tem apenas 0,5 cm a 2,0 cm de diâmetro (O'BRIEN; MARTIN, 1999).



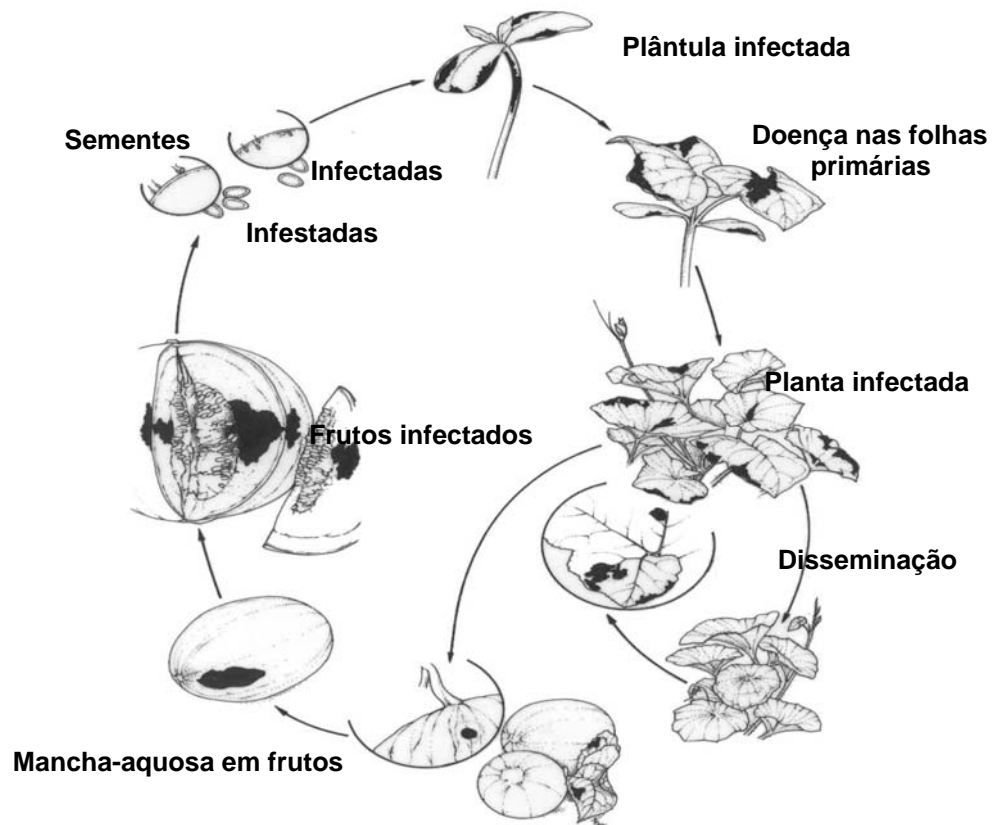
**Figura 1** – Sintomas da mancha-aquosa em plântula (A), planta (B) e fruto (C e D) de meloeiro.

A disseminação de *A. avenae* subsp. *citrulli* a longa distância é feita principalmente por sementes contaminadas, com níveis variando de 10 a 91% (O'BRIEN; MARTIN, 1999; OLIVEIRA et al., 2001) e transplântio de mudas de cucurbitáceas infectadas (HOPKINS et al., 1996). Após a germinação da semente contaminada, a bactéria é facilmente disseminada para plântulas ou plantas vizinhas através de respingos de água de chuva e irrigação, solos infestados, insetos, implementos agrícolas, operários de campo (SANTOS; VIANA, 2000) e aerossóis

(HOPKINS et al., 1992). Ainda segundo estes autores, as lesões nas folhas das plantas são importantes fontes de inóculo para os frutos e as sementes oriundas de frutos infectados abandonados no solo podem resultar em plantas voluntárias infectadas, servindo de inóculo primário para o próximo plantio. A bactéria pode disseminar-se rapidamente em condições favoráveis de temperatura e umidade, e poucos sítios de infecção primária no campo podem ocasionar 100% de infecção de frutos na época da colheita (HOPKINS et al., 1992). A disseminação de *A. avenae* subsp. *citrulli* na pós-colheita pode ocorrer de forma limitada através do contato entre frutos sadios e doentes (RUSHING et al., 1997).

Sementes infectadas ou infestadas originam plântulas doentes; a bactéria se dissemina entre as plântulas (HOPKINS, 1993), sendo responsável por significativa proporção de mudas infectadas (HOPKINS, 1994); à medida que as plantas vão crescendo no campo, o patógeno dissemina-se para novas folhas e plantas vizinhas; lesões nas folhas são a principal fonte de inóculo para frutos imaturos (HOPKINS, 1995); frutos maduros infectados deixados no campo servem como fonte de infecção para plantas sadias (LATIN, 1996) e os colhidos, como fonte de infecção limitada, por contato, na pós-colheita em melancia (RUSHING et al., 1997) (Figura 2).

A bactéria penetra nas folhas de meloeiro através dos estômatos e nos frutos via estômatos e lenticelas, sendo os frutos verdes mais susceptíveis à invasão pela bactéria do que os maduros (SILVA NETO et al., 2006). *A. avenae* subsp. *citrulli* penetra nas sementes pelo sistema vascular da planta, muito embora a abertura na região do hilo tenha a capacidade de servir como acesso durante o processo de extração das sementes (HOPKINS et al., 1996). Flores também são consideradas um potencial local de penetração de *A. avenae* subsp. *citrulli*, a qual foi detectada no estigma e estilete de flores de melancia (WALCOTT et al., 2003; LESSL et al., 2007).



**Figura 2.** Ciclo da mancha-aquosa do meloeiro.

Mariano et al., (2001)

*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* sobrevive eficientemente em sementes. Esse patógeno sobreviveu durante seis meses em sementes de melão tipo Amarelo armazenadas em condições de laboratório procedentes de frutos infectados de áreas produtoras (OLIVEIRA et al., 2001) e por 12 meses em sementes de melancia (HOPKINS et al., 1996).

No campo, *A. avenae* subsp. *citrulli* sobrevive em plântulas voluntárias, isto é, em plântulas de meloeiro provenientes de sementes de frutos infectados deixados no campo, de um cultivo para outro, como também em hospedeiras alternativas como as cucurbitáceas nativas melão-de-são-caetano (*Momordica charantia*), bucha (*Luffa cylindrica*) (SANTOS; VIANA, 2000) e melão-pepino (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) (OLIVEIRA et al., 2003) presentes em áreas de cultivo de meloeiro. Aparentemente a bactéria não sobrevive no solo mais do que algumas semanas na ausência de uma planta hospedeira (ISAKEIT, 1999). Oliveira (2008) relatou a sobrevivência da bactéria por apenas três dias nos sete tipos de solos de cultivo de meloeiro estudados.

Além da melancieira e meloeiro, a abóbora (*Curcubita pepo* L.) (LANGSTON et al., 1999) é hospedeira de *A. avenae* subsp. *citrulli*. Hopkins e Thompson (2000) observaram a transmissão do patógeno em sementes obtidas de frutos inoculados, mas sem sintomas, de abóbora, pepino (*Cucumis sativus* L.) e abobrinha (*Cucumis pepo* L.). Em estação de quarentena em Israel, a bactéria foi detectada em plântulas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) e berinjela (*Solanum melongena* L.) provenientes de sementes importadas dos Estados Unidos da América (ASSOULINE et al., 1997), porém não são conhecidas infecções naturais dessas culturas (O'BRIEN; MARTIN, 1999). No Brasil, Robbs et al. (1991) obtiveram sintomas da doença, inoculando o patógeno em pepino, abóbora e chuchu (*Sechium edule* L.). Inoculações artificiais de *A. avenae* subsp. *citrulli* em pepino, melancia, maxixe (*Cucumis anguria* L.), abóbora moranga (*Cucurbita maxima* Duchesne), tomate, berinjela e pimentão (*Capsicum annuum* L.) resultaram em sintomas (NASCIMENTO et al., 2004). Também são citadas como hospedeiras alternativas de *A. avenae* subsp. *citrulli* as cucurbitáceas melão-de-são-caetano (*Momordica charantia* L.), bucha (*Luffa cylindrica* M. Roem.) (SANTOS; VIANA, 2000) e melão-pepino (*Cucumis melo* var. *cantalupensis* Naud.) (OLIVEIRA et al., 2001). Na Austrália e no Texas, respectivamente, as plantas invasoras *Cucumis myriocarpus* L. e *Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf. var. *citroides* (Bailey) Mansf foram assinaladas como hospedeiras da bactéria (ISAKEIT, 1999; O'BRIEN; MARTIN, 1999).

Não se dispõem atualmente de resultados concretos para controle da mancha-aquosa em meloeiro no Nordeste, sendo indicadas medidas preliminares, baseadas em experiências de outras regiões e resultados obtidos com outras culturas hospedeiras do mesmo patógeno (VIANA et al., 2000). Sabe-se, contudo, que uma vez introduzida em uma área, a erradicação é muito difícil (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

A primeira medida a ser tomada visando o controle da mancha-aquosa é a utilização de sementes livres da bactéria, de firmas credenciadas e em embalagens herméticas (SANTOS; VIANA, 2000; VIANA et al., 2000). O controle químico, tratando-se as sementes com hipoclorito de sódio 0,5% por 20 minutos, ácido clorídrico 1,8% por 5 minutos (RANE; LATIN, 1992), ácido láctico 2% por 20 minutos (Santos; Viana, 2000) ou estreptomicina por 16 horas (1 mg/ mL) (SOWELL; SCHAAD, 1979), têm diminuído consideravelmente a transmissão no campo, mas não erradica a bactéria dos lotes de sementes infectadas natural e/ou artificialmente. O controle físico, tratando as sementes com água quente a 52° C por 10 minutos, é uma medida recomendada,

desde que não interfira na fisiologia da semente e consiga diminuir a transmissão no campo (SANTOS; VIANA, 2000).

Para evitar a doença em cultivos estabelecidos, deve ser realizada a proteção da planta através de aplicações quinzenais ou semanais com fungicidas cúpricos, iniciando-se na floração ou antes e prolongando-se até a maturação dos frutos (WALCOTT et al., 2001). Sales Júnior et al. (2005) obtiveram resultados positivos na redução da incidência da mancha-aquosa em frutos de meloeiro em campo com o uso de oxiclreto de cobre (1250 ppm), Kasugamicina (70 ppm), Kasugamicina+oxiclreto de cobre (40+1250 ppm) e sal de oxitetraciclina (82 ppm).

O meloeiro apresenta algumas peculiaridades que dificultam o controle fitossanitário, dentre as quais se destacam o ciclo curto desta cultura, cerca de 60 dias em média, e o plantio de forma escalonada, favorecendo a migração das pragas e patógenos de uma cultura mais velha para uma recém-plantada (BLEICHER; MELO, 1998; FERNANDES et al., 2000). Esse fato faz com que sejam utilizadas grandes quantidades de defensivos agrícolas para o controle das pragas e doenças. E, esta prática, ao longo do cultivo, empobrece a biodiversidade benéfica à cultura do melão, gera espécies resistentes às substâncias químicas utilizadas, contribui para a contaminação do solo, pela acumulação dos metais pesados, para a contaminação das águas, pela lixiviação e carreamento desses compostos e para a contaminação dos seres vivos, pela bioacumulação ao longo do tempo. Outra grave consequência, é que os frutos, geralmente consumidos “in natura”, podem apresentar altos índices de resíduos de agroquímicos, colocando em risco a saúde do consumidor e dificultando ou até mesmo impedindo a exportação destes produtos, devido às restrições impostas pelos mercados importadores (MENEZES et al., 2000). Portanto, há uma demanda crescente por compostos e estratégias alternativas ambientalmente corretas no controle das doenças do meloeiro.

Desta forma, uma linha de controle que vem ganhando espaço entre os produtores de melão, em aplicações conjuntas com produtos bactericidas ou em aplicação isolada, é o uso de elicitores ou indutores de resistência. A utilização deste grupo de compostos é uma estratégia promissora e ecologicamente correta, já que a presença desses na planta estimula a ativação das defesas naturais das mesmas (PEREIRA, 2005).

Outras medidas de controle, principalmente após a entrada de *A. avenae* subsp. *citrulli* no campo são: rotação de culturas por pelo menos três anos; evitar plantio em

áreas úmidas ou em períodos de muitas chuvas; efetuar adubação equilibrada, evitando excesso de nitrogênio (VIANA et al., 2000); erradicar plântulas/plantas com sintomas e plantas voluntárias; destruir restos de culturas, principalmente em campos infectados; evitar movimentação de pessoas ou implementos no campo quando as plantas estiverem molhadas (orvalho, irrigação, chuva); evitar plantio direto (O'BRIEN; MARTIN, 1999); e eliminar cucurbitáceas silvestres, como a bucha e o melão-de-são-caetano (VIANA et al., 2000).

No desenvolvimento de estratégias de controle de doenças de plantas é importante conhecer a epidemiologia das populações do patógeno. Os estudos envolvendo os componentes epidemiológicos da doença constituem-se fundamentais instrumentos da investigação (BROWN, 1998). Período de incubação, índice de doença, e área abaixo da curva de progresso da doença constituem importantes instrumentos comparativos e analíticos da intensidade da doença. O período de incubação indica a velocidade com que o patógeno coloniza o hospedeiro, o índice de doença reflete a severidade da doença, enquanto a área abaixo da curva de progresso da doença, que constitui a integração da intensidade da doença entre dois períodos de tempo, é a melhor representação temporal de uma epidemia, sendo utilizada para sumarizar a curva de progresso da doença (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

## **2. SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS**

### **2.1 Silício no solo**

O silício (Si), depois do oxigênio, é o segundo elemento mais abundante do solo, constituindo aproximadamente 28% da crosta terrestre (EPSTEIN, 1991; WEDEPOHL, 1995). É encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados. Os silicatos são minerais nos quais a sílica é combinada com oxigênio ou outros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe e K e outros, em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas e na atmosfera (SAVANT et al., 1997). Os minerais silicatados mais comuns são o quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios (EXLEY, 1998).

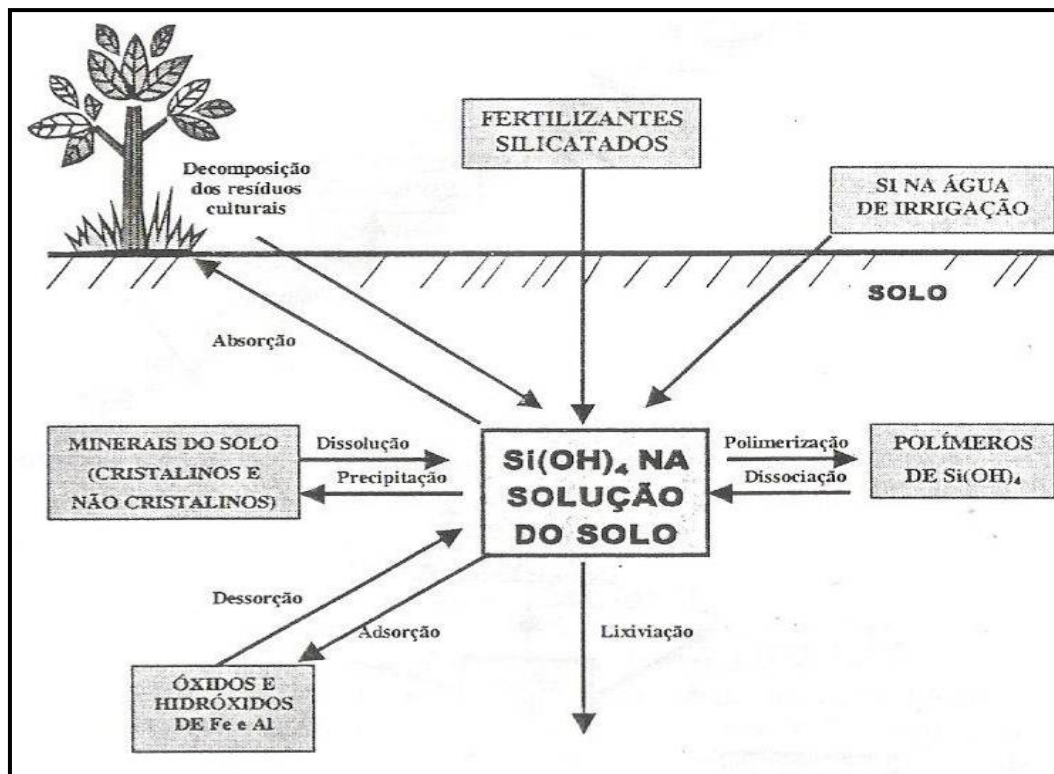
O Si encontra-se presente na solução do solo como ácido monossilícico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ , a maior parte em forma não dissociada, a qual é prontamente disponível às

plantas. Devido à dessilicatização causada pelo intenso intemperismo e lixiviação dos solos tropicais, as formas de Si mais encontradas nesses solos são quartzo, opala ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e outras formas não-disponíveis às plantas. As formas de Si quimicamente ativas no solo são representadas pelo ácido monossilícico solúvel e fracamente adsorvido, ácido polissilícico, e compostos organo-silícicos (MATICHENKOV; CALVERT, 2002).

As principais fontes de ácido monossilícico para a solução do solo são: decomposição de resíduos culturais; dissociação de ácidos polissilícicos; dessorção de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al; dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos; adição de fertilizantes silicatados; e água de irrigação. Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução; a polimerização de ácidos monossilícicos formando ácido polissilícico; lixiviação; adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, além da absorção pelas plantas (SAVANT et al., 1997) (Figura 3).

Solos tropicais e subtropicais sujeitos ao intemperismo e a lixiviação, com cultivos sucessivos tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicificação. Assim, muitas culturas de relevante importância nacional agrícola têm se beneficiado com a fertilização silicatada, com consideráveis aumentos de produtividade (BARBOSA-FILHO et al., 2000; KORNDÖRFER et al., 1999; KORNDÖRFER et al., 2002).





**Figura 3.** Principais transformações/processos responsáveis por influenciar a concentração de silício na solução do solo (Adaptado de Savant et al., 1997)

Estes solos, normalmente apresentam baixo pH, alto teor de alumínio, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de fósforo, além de reduzida atividade microbológica (LIMA FILHO et al., 1999). Particularmente nesses solos, os fertilizantes silicatados podem influenciar as culturas de duas formas: (1) melhorando as propriedades químicas e fertilidade do solo e (2) agindo diretamente sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal (MATCHENKOV; CALVERT, 2002).

Os silicatos têm no solo, comportamento similar ao dos carbonatos de cálcio e magnésio, sendo capazes de elevar o pH, neutralizar o Al trocável e estão associados ainda ao aumento da disponibilidade de Si solúvel e dos teores de Ca e Mg trocáveis, o que promove maior saturação por bases e menor saturação por Al (EPSTEIN, 1999; SAVANT et al., 1999).

Os fertilizantes silicatados são normalmente neutros a ligeiramente alcalinos (LINDSAY, 1979). Segundo Savant et al. (1999), o efeito corretivo da acidez do solo promovida pelos silicatos acontece pelas reações dos ânions  $\text{SiO}_3^{-2}$  com os prótons  $\text{H}^+$  na solução do solo, como mostrado no esquema abaixo:



As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes (BÉLANGER et al., 1995). Existe grande diversidade de fontes de silício usadas na agricultura. Além dos produtos especialmente desenvolvidos para aplicações foliares, termofosfatos e diferentes escórias industriais são aplicados ao solo e adicionam significativas quantidades de silício, juntamente com outros nutrientes (LIMA FILHO et al., 1999). A forma presente na maioria dos produtos para aplicação via solo disponíveis no Brasil é o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), sendo o teor de  $\text{SiO}_2$  da fonte variável conforme a origem do material.

## 2.2 Silício na planta

O Si não é considerado essencial para vegetais superiores, porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. Porém, sua absorção pode ocasionar efeitos benéficos para algumas culturas, como: resistência a doenças e pragas, tolerância à toxicidade por metais pesados a estresses hídricos e salinos, menor evapotranspiração, promoção de crescimento e nodulação em leguminosas, efeito na atividade de enzimas e na composição mineral, melhoria da arquitetura da planta, redução no acamamento e conseqüente aumento da taxa fotossintética (EPSTEIN, 1999; CUNHA et al., 2008).

As plantas absorvem Si como ácido monossilícico [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ], forma não dissociada presente na solução do solo em concentrações de 0,1 a 0,6  $\text{mmol L}^{-1}$  e, em menor quantidade, como  $\text{Si}(\text{OH})_3\text{O}^-$ , forma iônica predominante em  $\text{pH} > 9$  (EPSTEIN, 1994). A acumulação de Si nos tecidos vegetais varia entre 0,1 e 10% da matéria seca (MA; TAKAHASHI, 2002; CURRIE; PERRY, 2007). Essa ampla variação na concentração de Si nos tecidos é atribuída, principalmente, a características de absorção e transporte de Si pelas plantas (EPSTEIN, 1994; MA; YAMAJI, 2006). A maioria das espécies absorve Si por difusão passiva, de modo que o Si chega ao xilema e alcança a parte aérea acompanhando o fluxo de transpiração. Entretanto, espécies das famílias *Poaceae*, *Equisetaceae* e *Cyperaceae*, que apresentam alta acumulação de Si (> 4% de Si em peso seco), absorvem Si de forma ativa (CURRIE; PERRY, 2007). Nesse caso, o

Si é absorvido via proteínas específicas de membranas, o que garante o acúmulo de Si pela planta, independentemente do gradiente de concentração (OLIVEIRA et al., 2007).

O Si absorvido pelas raízes é transportado para parte aérea e depositado intra ou extracelularmente nos tecidos vegetais como sílica amorfa hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Em gramíneas, como milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativus* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), a sílica é depositada na forma de corpos silicosos, principalmente nas células epidérmicas, silicosas e buliformes, e nos estômatos e tricomas foliares (CURRIE; PERRY, 2007)). Em muitas espécies pode ser encontrada abaixo da cutícula uma densa camada formada pela deposição de sílica. A formação dessa camada tem sido fundamental em condições de estresse biótico e abiótico, contribuindo para reduzir a perda de água por transpiração e aumentar a sua eficiência (NWUGO; HUERTA, 2008), servindo como uma barreira mecânica à penetração de patógenos e mastigação de herbívoros (EPSTEIN, 1999; SAVANT et al., 1999).

São classificadas como plantas acumuladoras de Si aquelas cujos teores de  $\text{SiO}_2$  variam de 1 a 3% na matéria seca e não acumuladoras plantas com menos de 0,5% de  $\text{SiO}_2$  (MARSCHNER, 1995). Ma et al. (2001) definiram como acumuladoras as plantas com teor de Si superior a 1% e com relação molar Si/Ca maior que 1, sendo as gramíneas como arroz e trigo (*Triticum vulgare* Vill.) exemplos deste grupo; plantas como soja (*Glycine max* L.) e as cucurbitáceas, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém com relação molar Si/Ca inferior a 1 são classificadas como intermediárias, já plantas não acumuladoras apresentam concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5%. Korndorfer et al. (2004) citam teores de Si na matéria seca de folhas jovens de melão variando entre 0,06 a 1,09%.

## **2.3 Silício como indutor ou potencializador de mecanismos de resistência de plantas à patógenos**

### **2.3.1 Indução de resistência**

A indução de resistência em plantas contra fitopatógenos representa um método alternativo no controle de doenças, a qual ativa os mecanismos de defesa latentes na planta. A defesa induzida envolve um sistema de vigilância da planta hospedeira, que reconhece de alguma forma o contato estabelecido com o patógeno, seguido pela

transdução de sinais, alertando sobre a presença do mesmo, e por fim, envolve a expressão de genes relacionados à defesa (LAMB et al., 1989).

A resistência de um hospedeiro, dentro do contexto da fisiologia do parasitismo, pode ser definida como a capacidade da planta em atrasar ou evitar a entrada e/ou a subsequente atividade de um patógeno em seus tecidos. Cada interação hospedeiro-patógeno pode ser encarada como uma luta entre dois organismos pela sobrevivência. As plantas podem se defender dos agentes fitopatogênicos passiva ou ativamente. Os fatores de resistência pré-formados incluem aqueles já presentes nas plantas antes do contato com os patógenos. No caso dos pós-formados, estes se mostram ausentes ou presentes em baixos níveis antes da infecção, sendo produzidos ou ativados em resposta à presença dos patógenos. Dentre esses fatores estão as respostas bioquímicas que ocorrem nas células do hospedeiro produzindo substâncias que se mostram tóxicas ao patógeno ou criando condições adversas para o crescimento do mesmo no interior da planta (PASCHOLATI; LEITE, 1995).

A resistência induzida consiste no aumento do nível de resistência por meio da utilização de agentes externos (indutores), sem qualquer alteração do genoma da planta, sendo estes agentes bióticos ou abióticos (RESENDE et al., 2004). Pode ocorrer em condições controladas e também no campo (PASCHOLATI, 2002).

Resistência sistêmica adquirida (RSA) e resistência sistêmica induzida (RSI) são fenômenos distintos, mas fenotipicamente semelhantes, no sentido de que as plantas após exposição a um agente indutor têm seus mecanismos de defesa ativados não apenas no sítio de indução, como também em outros locais distantes dele, de forma mais ou menos generalizada (STICHER et al., 1997). Assim, tem-se assumido que a RSA envolve o acúmulo de PR-proteínas (proteínas relacionadas à patogênese) como mecanismos induzidos de defesa da planta, sendo sua indução salicilato dependente, podendo resultar em alterações visuais (necroses, por exemplo) na planta que sofreu indução e é geralmente induzida por patógenos ou ativadores químicos. No caso da RSI, não há acúmulo de PR-proteínas, a planta que sofreu indução não exibe alterações, o agente indutor é usualmente um microorganismo não-patogênico e sua indução não é salicilato-dependente, havendo outra rota de sinalização associada à jasmonatos e etileno (BONALDO et al., 2005).

### 2.3.2 Ativação de mecanismos de defesa

Diversos mecanismos podem ser ativados durante o fenômeno de indução de resistência (CAVALCANTI et al., 2005). A comparação dos níveis de síntese de proteínas entre tecidos infectados e sadios revela que os tecidos infectados sofrem aumento considerável desta atividade. A planta procura ativar todas as rotas de defesa para evitar o estabelecimento de relações parasitárias e o patógeno tenta anular o efeito inibitório gerado (GÓMEZ-GOMEZ, 2004). Dentre algumas proteínas produzidas ligadas à reação de hipersensibilidade, encontram-se as PR-proteínas (RESENDE et al., 2000). Enzimas envolvidas na respiração, enzimas envolvidas com a fotossíntese e enzimas relacionadas com o metabolismo de fenilpropanóides exibem aumentos na atividade em tecidos infectados e têm sido sistematicamente correlacionadas com a ativação de mecanismos de reparo dos tecidos infectados e/ou injuriados (LEITE; PASCHOLATI, 1995).

PR-proteínas podem ser definidas como proteínas ausentes ou presentes em pequenas quantidades em plantas sadias, mas capazes de acumular-se em largas quantidades após uma infecção. Elas têm sido encontradas em diversas espécies e estão distribuídas em 17 famílias (DATTA; MUTHUKRISHNAN, 1999; VAN LOON et al., 2006).

Existem dois mecanismos de ação que as PR-proteínas exercem na defesa vegetal. O primeiro é bloquear diretamente o desenvolvimento de patógenos por hidrólise da parede celular ou por outras atividades antimicrobianas (VAN LOON, 1997). O segundo é liberar, através da ação de glucanases e quitinases, elicitores não específicos da parede celular de patógenos que aumentam as defesas da planta rapidamente (HAMMERSCHMIDT, 1999).

Peroxidases (POXs) são proteínas de aproximadamente 50 kDa, que estão presentes como múltiplas isoenzimas em tecidos vegetais (JEBARA et al., 2005). Estão associadas com processos fisiológicos e bioquímicos como crescimento, formação celular, desenvolvimento de frutos, biossíntese de etileno e resposta a vários estresses (MATAMOROS et al., 2003). Elas participam de processos ligados à parede celular, tais como oxidação de fenóis e lignificação de células vegetais hospedeiras durante a reação de defesa contra agentes patogênicos (DATTA; MUTHUKRISHNAN, 1999).

Ascorbato peroxidases (APX) são as mais importantes peroxidases em eliminar peróxido de hidrogênio, catalisando a redução do peróxido para água, usando o poder

reduzidor do ascorbato (NOCTOR; FOYER, 1998). As APXs estão frequentemente relacionadas ao mecanismo de defesa da planta, dada sua capacidade em atuar no mecanismo de detoxificação em situações que envolvem estresse oxidativo (PEIXOTO et al., 1999).

As quitinases (CHI) catalisam a hidrólise da quitina (polímero de N-acetilglucosamina). Nenhum substrato para este grupo de enzimas tem sido identificado em plantas, entretanto, quitina é um componente da parede celular de fungos e exoesqueletos de artrópodes, organismos que incluem muitos patógenos e pragas importantes (WEN-CHI et al., 1998).

O grupo de enzimas  $\beta$ -glucanases (GLU) possui massa molecular em torno de 35 kDa e numerosas isoformas, diferindo em atividade catalítica, propriedades estruturais, localização celular e padrões de regulação (ESQUERRE-TUGAYE et al., 2000). Há evidências de que as  $\beta$ -glucanases exercem, no mínimo, duas funções no controle de doenças. Elas são capazes de catalizar a degradação de paredes celulares de agentes patogênicos de plantas, já que  $\beta$ -1,3-glucanos são componentes essenciais da parede celular de patógenos e de liberarem oligossacarídeos biologicamente ativos (elicitores e supressores) capazes de regular o estado de imunização da planta (HAHLBROCK et al., 1995).

A fenilalanina amônia liase (PAL) é a enzima chave do metabolismo de fenilpropanóides, que catalisa a formação do ácido trans-cinâmico, precursor de vários metabólitos de defesa vegetal (EL-SHORA, 2002; WEN et al., 2005). De fato, a via dos fenilpropanóides é uma das mais importantes vias do metabolismo secundário vegetal, com a produção de uma variedade de compostos fenólicos relacionados à defesa vegetal.

As superóxido dismutases (SOD) são metaloenzimas que catalisam a conversão de radical superóxido em oxigênio molecular e peróxido de hidrogênio. Elas estão separadas em três classes, dependendo do metal cofator (Mn, Fe, Cu/Zn) presente no seu sítio ativo. Trabalhos relatam o papel desta enzima na proteção contra estresses oxidativos (SANTOS et al., 2000; MORAN et al., 2003).

### 2.3.3 Ativação de mecanismos de defesa pelo silício

A nutrição de plantas determina em grande parte a sua resistência ou susceptibilidade a doenças, sua estrutura morfológica ou histológica, a função de tecidos para rápida ou lenta patogênese, a agressividade e sobrevivência do patógeno. Os elementos minerais são necessários para síntese de barreiras químicas e físicas, ou para alteração do metabolismo ao redor do sítio de infecção. A resistência também pode ser concedida pela ausência de um nutriente essencial à atividade patogênica. Quando a demanda metabólica por determinado nutriente é maior que seu suprimento pelo meio externo, diversos mecanismos são acionados para a manutenção do equilíbrio bioquímico e fisiológico da planta. O principal método de controle das inúmeras enfermidades de plantas é o químico, contudo, uma prática alternativa é manejar a nutrição mineral para aumentar a resistência à doença (MARSCHNER, 1995). Dentre os elementos minerais utilizados, o silício (Si) destaca-se por reduzir a severidade de importantes doenças (EPSTEIN, 1999).

O efeito do Si no controle de doenças de plantas, seu modo de ação e sua atuação na epidemia de diversos patossistemas ainda não estão totalmente esclarecidos. Existem na literatura muitos estudos mostrando que o suprimento de Si, seja via solo, foliar ou solução nutritiva, a várias espécies de mono e dicotiledôneas, tem contribuído de forma significativa para reduzir a intensidade de várias doenças de importância econômica (BÉLANGER et al., 1995; DATNOFF et al., 1997, DATNOFF et al., 2007; RODRIGUES; DATNOFF, 2005). Os estudos de Si no controle de doenças tiveram início com monocotiledôneas, pois estas absorvem grandes quantidades deste elemento. As doenças do arroz, por exemplo, são as mais eficientemente controladas pelo suprimento de Si às plantas, porém, o interesse pelo estudo em patossistemas envolvendo dicotiledôneas surgiu na segunda metade do século passado, centralizando-se principalmente nos estudos com oídios.

Existe a hipótese de formação de barreira física, fundamentada na forma do Si acumular-se nas plantas. Em seu movimento ascendente via apoplasto desde as raízes até as folhas, o Si polimeriza-se nos espaços extracelulares, acumulando-se nas paredes das células epidérmicas das folhas e dos vasos do xilema (FAWE et al., 2001; CUNHA et al., 2008). Contudo, a alteração da nutrição da planta promovida pela suplementação silicatada e a observação de aumento na atividade de enzimas e presença de fitoalexinas levantaram também a hipótese de seu envolvimento na indução das reações de defesa da

planta (BÉLANGER et al., 2003; BÉLANGER; MENZIES, 2003; RODRIGUES et al., 2003).

As propriedades dos ativadores de resistência sistêmica adquirida e da resistência estimulada pelo Si foram comparadas por Fawe et al. (2001), ficando evidente a semelhança entre os efeitos da aplicação do Si e do uso de indutores de resistência no surgimento de reações de defesa em plantas. Fawe et al. (1998) relatam que o papel protetor do Si pode ser semelhante em mono e dicotiledôneas, sendo que nestas últimas o modo de ação do Si na resistência ainda não foi bem esclarecido, embora sugira classificar o Si como mediador de resposta de defesa similar ao da resistência sistêmica adquirida.

Há evidências de que o envolvimento dos silicatos na indução de resistência pode ocorrer pela participação do próprio silício, fortificando estruturas da parede celular, com aumento da lignificação, ativação de mecanismos específicos como a produção de fitoalexinas (MENZIES et al., 1991; FAWE et al., 2001) e a síntese de proteínas relacionadas à patogênese (CHÉRIF et al., 1994).

Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e ou silicificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos notáveis sobre as propriedades físicas desta. O acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica podem ser barreiras físicas efetivas na penetração da hifa (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995). Deste modo, o papel do Si incorporado à parede celular é análogo ao da lignina, que é um componente estrutural resistente à compressão.

Observações ultra-estruturais sugerem que a silicificação das paredes celulares reduz a troca de material entre patógeno e hospedeiro, reduzindo a senescência prematura, além de agir como barreira física, caso o fungo alcance a parede celular (HEATH; STUMPF, 1986). Assim, o Si agiria de modo semelhante à lignina ou à suberina de algumas plantas, que são depositadas em paredes primárias, ligando-se aos polissacarídeos, para bloquear o avanço do patógeno (FOSKET, 1994).

Vários autores têm demonstrado que a barreira física proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de combate à penetração das hifas de fungos ou ao ataque de outros patógenos e insetos. Pesquisas têm demonstrado que, em plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), o Si age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva



dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS et al., 1991; CHÉRIF et al., 1992a; CHÉRIF et al. 1992 b; CHÉRIF et al., 1994).

Em arroz a deposição e polimerização do ácido monossilícico abaixo da cutícula formando uma camada dupla cutícula-sílica tem sido uma hipótese aceita por alguns pesquisadores para explicar o aumento da resistência hospedeira à penetração por *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. Kim et al. (2002), estudando os eventos citológicos envolvidos na resistência do arroz a brusone mediada pelo Si, concluíram que a fortificação da parede celular das células da epiderme do arroz foi a responsável pela redução do número de lesões nas folhas. Porém, os autores não apresentaram nenhuma evidência de que a hifa do fungo não penetrou a parede celular fortificada pela deposição de Si. Rodrigues et al. (2003) investigaram a nível ultra-estrutural e citoquímico os eventos da patogênese de *P. grisea* em arroz com aplicação de Si, onde apresentaram as primeiras evidências citológicas de que o aumento na resistência do arroz à brusone mediada pelo Si foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos.

Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e a mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos e, a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991). Pepineiros suplementados com 100 mg kg<sup>-1</sup> de Si na solução nutritiva apresentaram uma acentuada acumulação de material eletrodensito antimicrobiano no tecido hospedeiro infectado por *Pytium ultimum* Trow, com um aumento significativo de células preenchidas com este material. O fungo colonizador foi bastante danificado, freqüentemente, fenóis, também formaram camadas ao longo das paredes primárias e secundárias das células e vasos do xilema (CHÉRIF et al., 1992a).

A fertilização com Si parece induzir o mecanismo de defesa somente em resposta ao ataque do patógeno. Esta indução é expressa através de uma reação em cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, caracterizando uma resposta de defesa rápida e prolongada. Esta característica explica a não especificidade da resistência induzida pelo Si, contra vários patógenos não relacionados entre si (CHÉRIF et al., 1994b). A descoberta de que uma nova classe de fitoalexina induzida em pepineiro suplementado com Si após infecção por *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun e Shishkoff (FAWE et al., 1998) leva a crer que esse elemento potencializa uma

cascata de eventos bioquímicos relacionados com a defesa do pepineiro a patógenos foliares e também no sistema radicular.

O efeito do Si em doenças bacterianas e em patógenos de plantas não acumuladoras permanece desconhecido, não obstante, Dannon e Wydra (2004) verificaram que a incidência de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicon* L.) com murcha causada por *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al. tanto de genótipos suscetíveis ou moderadamente resistentes, foi significativamente reduzida com adição de Si na solução nutritiva. Correlações negativas entre o conteúdo de Si na raiz e o número de bactérias na parte mediana do caule sugeriram uma indução de resistência. Este foi o primeiro relato do efeito de Si em uma doença bacteriana e em uma planta não-acumuladora. A murcha-bacteriana do tomateiro foi ainda estudada por Diogo e Wydra (2007) que relataram redução da incidência da doença em plantas tratadas com Si. Análises imuno-histoquímicas sugeriram uma indução de resistência basal em nível de parede celular após tratamento com Si envolvendo mudanças na estrutura de polissacarídeos pécticos.

Martinati et al. (2007) constataram efeito positivo da aplicação ao solo de soluções de metassilicato de sódio na redução de sintomas da bacteriose causada pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* Schaad et al. em plantas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.). Já Cazorla et al. (2006) não verificaram efeito isolado da aplicação do Si no controle da necrose apical bacteriana da mangueira (*Mangifera indica* L.) causada por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* van Hall.

Perante a escassez de informações a respeito do efeito do Si em patossistemas envolvendo bactérias e espécies não acumuladoras e, diante da falta de conhecimento concreto do modo de ação no controle dessas doenças é que se realizou esse trabalho com o objetivo de (1) avaliar os efeitos de diferentes doses de silício (Si) no controle da mancha-aquosa do meloeiro analisando as alterações nos atributos químicos do solo, os componentes epidemiológicos da doença, a nutrição e desenvolvimento da planta e o efeito direto sobre o patógeno; (2) avaliar a atividade enzimática em meloeiros suplementados ou não com Si, inoculados e não inoculados com *A. avenae* subsp. *citrulli*.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AGRIANUAL - FNP. **Anuário de Agricultura Brasileira**. 2008. p.345-502.
- ALVARENGA, M. C. A.; RESENDE, G. M. **A cultura do melão**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 149 p.
- ALVES, R. E. **Melão, pós-colheita**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 43 p. (Frutas do Brasil; 10).
- ASSOULINE, I.; MILSHTEIN, H.; MIZRAHI, M.; LEVY, E.; BEM-ZE'EV, I. S. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* transmitted by solanaceous seeds. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 25, n. 2, p. 117, 1997.
- ASSIS, S. M. P. et al. Mancha-aquosa do melão causada por *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*, no Estado do Rio Grande do Norte. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 24, n. 2, p.191, 1999.
- BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. *Informações Agronômicas* 89. Piracicaba, 2000. 11 p. (**Encarte técnico**).
- BÉLANGER, R. R. et al. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329-335, Apr. 1995.
- BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*). **Phytopathology**, Sant Paul, v. 93, p. 402-412, 2003.
- BÉLANGER, R. R.; MENZIES, J. G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36, Uberlândia-MG, **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 42-45, 2003.

- BLEICHER, E; MELO, Q. M. S. **Manejo da mosca-branca *Bemisia argentifolii***, 1994. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1998. 15p. (Circular técnica, 3).
- BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L. S. et al. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**, 2005. v. 13, p. 11-27.
- BRANDÃO FILHO, J. U. T.; VASCONCELOS, M. A. S. A. cultura do melão. In: GOTO, R; TIVELLI, S. W. (Org.). **Produção de hortaliça em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: UNESP, 1998. p. 161-193.
- BROWN, J. K. M. Surveys of variation in pathogen population and their applications to disease control. In: JONES, G. (Ed.). **The epidemiology of plant disease**. Dordrecht: 1998. p. 73-102.
- BUAINAIM, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). **Cadeia produtiva de frutas**. Brasília, DF: IICA: MAPA/SPA, 2007. 102 p. (Agronegócios; v. 7).
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 532 p.
- CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L. S. et al. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**, 2005. v. 13, p. 81-124.
- CAZORLA, M.F. et al. Field evaluation of treatments for the control of the bacterial apical necrosis of mango (*Mangifera indica*) caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v.116, p.279-288, 2006.
- CHÉRIF, M., BENHAMOU, N., MENZIES, J. G., AND BÉLANGER, R. R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41 p.411-425, 1992a.

CHÉRIF, M. et al. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, p.371-385, 1992b.

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.

COSTA, N. D. et al. **A cultura do melão**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 2001. 117p. (Coleção Plantar – série vermelha – fruteiras).

COSTA, N.D.; GRANGEIRO, L.C. Composição química do fruto e usos. In: SILVA, H.R. da; COSTA, N.D. (Ed). **Melão: produção aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.4, p 22.

CUNHA, K.P.V. et al. Disponibilidade, acúmulo e toxicidade de Cádmiio e Zinco em Milho (*Zea mays* L.) cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1319-1328, 2008.

CURRIE, H.A.; PERRY, C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, London, v. 1, n. 7, p. 7, 2007.

DANNON E; WYDRA K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.64, p.233-43, 2004.

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

DATNOFF L.E.; RODRIGUES F.A.; SEEBOLD K.W. Silicon and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed). **Mineral nutrition and plant disease**. St Paul: The American Phytopathological Society Press, 2007. p. 233-246.

DATTA, S. K.; MUTHUKRISHNAN, S. **Pathogenesis-related proteins in plants.**

Florida: Ed. CRC Press, 1999. 291p.

DIOGO, R.V.C.; WYDRA, K. Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polisaccharide structure. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 70, p. 120-129, 2007.

EL-SHORA , H. M. Properties of phenylalanine ammonia-lyase from Marrow cotyledons. **Plant Science**, Columbus, v. 162, p. 1-7, 2002.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S.l.], v.91, p.11-17, 1991.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S.l.], v.91, p.11-17, 1994.

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

ESQUERRE'-TUGAYE',M.T.; BOUDART, G; DUMAS B. Cell wall degrading enzymes, inhibitory proteins, and oligosaccharides participate in the molecular dialogue between plant pathogens. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 38, p. 157-63, 2000.

EXLEY, C. Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal Inorganic Biochemistry**, v.69, n.3, p. 139-44, 1998.

FAO. **FAOSTAT**. Agricultural statistics database. Rome: World Agricultural Information Centre, 2006. Disponível em: <<http://apps.fao.org/lim500/nph-wrap.pl>>. Acesso em: 05 jan.2009.

FAWE, A. et al. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, Saint Paul, v.88, p.396-401, 1998.

FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E. et al. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Studies in plants in plant science, 8. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 159-169.

FERNANDES, O. A.; FERREIRA, C. C.; MONTAGNA, M. A. **Manejo integrado de pragas do meloeiro**: manual de reconhecimento das pragas e táticas de controle. Jaboticabal: Funep-CNPq, 2000. 28p.

FERNANDES, P. M. G. C. **Armazenamento ambiente e refrigerado de melão, híbrido Orange Flesh, submetido à aplicação pós-colheita de cloreto de cálcio**. 1996. 68 f Dissertação. (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1996.

FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do melão. In: FONTES, P.C.R. (Ed.). **Olericultura**: teoria e prática. Viçosa, MG: UFV, 2005. cap.26, p. 407-428.

FREITAS, J. A. D. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da produção integrada de melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 89p. (Embrapa agroindústria tropical. documentos, 68).

GLOBAL 21. **Fruticultura**. Disponível em: <<http://www.global21.com.br/informessoriais/setor.asp?cod=6>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

GÓMEZ-GÓMEZ, L. Plant perception systems for pathogen recognition and defence. **Molecular Immunology**, Elmsford, v. 41, p. 1055-1062, 2004.

GRANGEIRO, L. C. et al. **Cultivo de melão amarelo**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2002. 30p. (Boletim Técnico).

HAHLBROCK, K. et al. Oligopeptide elicitor-mediated defence gene activation in cultured parsley cells. **Proceedings of the National Academy of Science of USA**, v. 92, p. 4150–4157, 1995.

HAMMERSCHMIDT, R. Induced disease resistance: how do induced plants stop pathogens? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 55, n.2, p. 77-84, 1999.

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

HOPKINS, D. L.; THOMPSON, C. M. **Seed transmission of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in cucurbits**. Gainesville, Flórida, 2000. Disponível em: <<http://apsnet.org/meetings/div./so00abs.asp>>. Acesso em: 09 jan. 2009.

HOPKINS, D. L. Field spread of bacterial fruit blotch of watermelon. **Phytopathology**, St. Paul, v. 83, n. 4, p. 466, 1993.

HOPKINS, D. L. Spread of bacterial fruit blotch of watermelon in the greenhouse. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 7, p. 755, 1994.

HOPKINS, D. L. Bacterial fruit blotch of watermelon: the hypothetical exam question becomes reality. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 8, p. 761-765, 1995.

HOPKINS, D. L.; CUCUZZA, J. D.; WATERWON, J. C. Wet seed treatments for the control of bacterial fruit blotch of watermelon. **Plant Disease**, St. Paul, v. 80, n.5, p. 529-532, 1996.

HOPKINS, D. L. et al. Bacterial fruit blotch of watermelon. Florida: American Sunmelon, 1992. 2p. (**Bulletin**).

IBGE. **Produção agrícola municipal e levantamento sistemático da produção agrícola, 2005**. Disponível em: [www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAP/ESTATÍSTICA/CULTURAS/2.2\\_A\\_OXLS](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAP/ESTATÍSTICA/CULTURAS/2.2_A_OXLS)> Acesso em: 04 fev. 2008.



ISAKEIT, T. **Bacterial fruit blotch in watermelon**. Texas: The Agricultural Extension Service-USA, 1999. Disponível em: <<http://www.cygnus.tamu.edu/extlabn/vegetables/wmelon.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

ISAKEIT, T. et al. First report of infection of honeydew with *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, n. 6, p. 694, 1997.

ISAKEIT, T. Bacterial fruit blotch in watermelon. **The Agricultural Extension Service-USA**. Texas. 1999.

JEBARA, S. et al. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 162, p. 929-936, 2005.

KIM, S.G.; KIM, K.W.; PARK, E.W. & CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, Saint Paul, v.92, p.1095-1103, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim Técnico, 01).

LANGSTON, D. B.; WALCOTT, R. D.; GITAITIS, R. D.; SANDERS JUNIOR, F. H. First report of a fruit rot of pumpkin caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Georgia. **Plant Disease**, St. Paul, v. 83, n. 2, p. 199, 1999.

LATIN, R. X. Survival and spread of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in watermelon transplant production facilities. In: HOPKINS, D. et al. **Bacterial fruit blotch of watermelon**. Tampa: Citrus & Vegetable Magazine, 1997. p. 3-4.

LATIN, R. X. **Bacterial fruit blotch of cucurbits**. St Paul: Plant Health Progress-USA, 1996. Disponível em:

<<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/management/bacterialblotch/>

>Acesso em: 09 jan. 2009.

LAMB, C. J. et al. Signals and transduction mechanisms for activation of plant defenses against microbial attack. **Cell**. Cambridge, v. 56, p. 215-224, 1989.

LEITE, B.; PASCHOLATI, S. F. Hospedeiro: alterações fisiológicas induzidas por fitopatógenos. In: BERGAMIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 393-414.

LESSL, J. T.; FESSEHAIE, A.; WALCOTT, R. R. Colonization of female watermelon blossoms by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* and the relationship between blossom inoculum dosage and seed infestation. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 155, p. 114-121, 2007.

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

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York : Wiley-Interscience, 1979. 449 p.

MACAGNAN, D. et al. Mancha bacteriana da melancia: uma nova doença no estado de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 29, n. 3, p. 286-287, 2003.

MA, J.F., MYAKEY, Y., TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF et al. **Silicon on Agriculture**, 2001. cap. 2, p. 17-39.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Kioto: Elsevier Science, 2002, 281p.

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

MARIANO, R. L. R. et al. Ocorrência da mancha-aquosa do melão na Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 29, p. 147-148, 2004 Suplemento.

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B. Mancha-aquosa: importante bacteriose do meloeiro no Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, 2004 v. 1, p. 79-88.

MARIANO, R. L. R. et al. Diagnose e manejo de fitobacterioses de importância no Nordeste brasileiro. In: MICHEREFF, S. J.; BARROS, R. (Ed.). **Proteção de plantas na agricultura sustentável**. Recife: UFRPE, 2001. p. 141-169.

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

MARTINATI, C. J. et al. Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* por meio de aplicação de benzotiadiazole e silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.42, n.8, p.1083-1089. 2007.

MATAMOROS, M. A. et al. Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobiale-gume symbiosis. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 133, p. 499–509, 2003.

MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, v.22, p. 21-30, 2002.

MENEZES, J. B. et al. Melão pós-colheita. In: ALVES, R.E. **Características do melão para exportação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. p.13-22.

MENZIES, J. G. et al. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 2, p. 84-99, Feb. 1991.

MORAN, J. F. et al. Functional characterization and expression of a cytosolic iron-superoxide dismutase from Cowpea root nodules. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 133, p. 773–82, 2003.

NASCIMENTO, A. R. P.; MARIANO, R. L. R.; SILVA, E. I. Hospedeiros alternativos de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Horticultura Brasileira**, Brasília DF, v. 22, p. 345-349, 2004.

NOCTOR G, FOYER C. H. Ascorbate and glutathione keeping active oxygen under control. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 49, p. 249–79, 1998.

NWUGO, C.C.; HUERTA, A.J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1-2, p.73-86, 2008.

O'BRIEN, R. G.; MARTIN, A. L. Bacterial blotch of melons caused by strains of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 39, p. 479-485, 1999.

OLIVEIRA I. S.; SALES JÚNIOR, R.; MARIANO, R. L. R. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*: método de isolamento e transmissão por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 26, p. 302, 2001. Suplemento.

OLIVEIRA, L.A.; KORNDORFER, G.H. ; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.31, p.685-690, 2007.

OLIVEIRA, de A. **Colonização de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* em meloeiro e sobrevivência em restos de cultura e no solo.** 2008. 72f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PASCHOLATI, S. F. Resultados com resistência induzida no Brasil. In: Simpósio de biologia molecular da resistência de plantas a patógenos: aplicações no manejo integrado de fitodoenças, Lavras. 2002, **Resumos**. Universidade Federal de Lavras.

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

PEIXOTO, P. H. P. et al. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 11, n.3, p. 137-143, 1999.

PEREIRA, E. W. L. **Eficiência de Acibenzolar-s-methyl no controle da *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* e efeito na qualidade de frutos de melão.** 2005. 50f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi Árido-UFERSA, Mossoró.

PUSEY, P. L.; WILSON, C. L. Postharvest biological control of stone fruit brown rot by *Bacillus subtilis*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 68, p. 753-756, 1984.

RANE, K. K.; LATIN, R. X. Bacterial fruit blotch of watermelon: Association of the pathogen with seed. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, p. 509-512, 1992.

RESENDE, M. L. V. et al. Induction or resistance against *Phoma costaricensis* on coffee leaves by extracts from citrus pulp and coffee leaves and husks. **The Internacional Joint Workshop on PR-Proteins and Induced Resistance**. University of Fribourg, p. 79, 2004.

RESENDE, M. L. V. et al. Perspectivas da indução de resistência em cacaueteiro contra *Crinipellis pernicioso* através do benzotiadiazole (BTH). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, p. 149-156, 2000.

ROBBS, C. F. et al. Mancha bacteriana da melancia no estado de São Paulo, causada por *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 16, n. 2, p. 48, 1991.

ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS. Evolution and Exploitation. **Cucurbits**. New York: CAB International, 1997. cap. 2, p. 35.

RODRIGUES, F.A. et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 93, n. 5, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F.A.; DATNOFF, L.E. Silicon and rice disease management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 30, p. 457-469, 2005.

RUSHING, J. W.; COOK, W. P.; KEINATH, A. P. Postharvest behavior of watermelon fruit blotch. In: HOPKINS, D. et al. Bacterial fruit blotch of watermelon. Tampa: **Citrus & Vegetable Magazine**, p. 5-6, 1997.

SALES JÚNIOR, R; MENEZES, J. B. **Mapeamento das doenças fúngicas, bacterianas e viróticas do cultivo do melão no Estado do RN**. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 2001. 25 p. Relatório.

SALES JÚNIOR, R. et al. Efeito de Kasugamicina e oxicloreto de cobre no controle da mancha-aquosa do meloeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 30, n.3, p.295-298, 2005.

SAMUELS, A. L. et al. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 69, p.140-146, 1991.

SANTOS, A. A; VIANA, F. M. **Mancha-aquosa do melão**. Fortaleza: EMBRAPA – SPI, 2000. 2 p.

SANTOS, R. et al. Critical protective role of bacterial superoxide dismutase in Rhizobium-legume symbiosis. **Molecular Microbiology**, Oxford, v. 38, p. 750–759, 2000.

SAVANT, N.K. et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, n.22, p. 1853-1903, 1999.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.58, p.151-99. 1997

SCHAAD, N. W. et al. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* nov. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, US, v. 28, p. 117-125, 1978.

SILVA, E. I et al. Levantamento da incidência da mancha-aquosa do melão no Rio Grande do Norte e determinação do tamanho das amostras para quantificação da doença. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 29, n. 2, p. 172-176, 2003.

SILVA NETO, E. B. et al. Colonização e penetração de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* em folhas, sementes e frutos de melão. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 29, suplemento, p. 54, 2006.

SILVEIRA, E. B.; MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R. Severidade da mancha-aquosa em meloeiro sob diferentes condições de molhamento foliar e concentração de inóculo de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 28, n. 2, p.171-175, 2003.

SOMODI, G. C. et al. Occurrence of a bacterial watermelon fruit blotch in Florida. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, p. 1053-1056, 1991.

SOWELL, G.; SCHAAD, N. W. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* on watermelon: seed transmission and resistance of plant introductions. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 63, p. 437-441, 1979.

STICHER, L.; MAUCH-MANI, B. MÉTRAUX, J. P. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 35, p. 235-270, 1997.

TAVARES, S. Direto pro lixo. **Cultivar: Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v.2, n. 13, p. 27-30, 2002.

UENO, B.; COUTO, M. E. O.; UESUGI, C. H. Ocorrência de mancha-aquosa em melão no estado do Rio Grande do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 28, suplemento, p. S246, 2003. Suplemento.

VAN LOON, L. C. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 103, p. 753-765, 1997.

VAN LOON, L.C.; REP, M.; PIETERSE, C.M.J. Significance of inducible defenselated proteins in infected plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 44, p. 135- 162, 2006.

VIANA, F. M. P. et al. **Surto da mancha-aquosa em frutos de melão nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte**: recomendações preliminares de controle. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 4 p. (Comunicado técnico, 50).

WALCOTT, R.R. et al. Guidelines for managing bacterial fruit blotch disease. Georgia, 2001. Disponível em: <<http://www.stalals.com/flyer.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

WALCOTT, R. R.; GITAITIS, R.; CASTRO, A. C. Role blossoms in watermelon seed infestation by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n. 5, p. 528-534, 2003.

WEBB, R E.; GOTH, R. W. A seedborne bacterium isolated from watermelon. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 48, p. 818-821, 1965.



WEDEPOHL, K. H. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.59, p.1217–1232, 1995.

WEN-CHI, H.; YING-CHOU, C.; YAW-HUEI, L. Chitinase activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam var. Tainong 57). **Bot. Bull. Acad. Sin.**, v. 39, p. 93-97, 1998.

WEN P-F. et al. Salicylic acid induced the expression of phenylalanine ammonia-lyase gene in grape berry. **Plant Science**, Columbus, v. 169, p. 928–934, 2005.

## CAPÍTULO II

---

SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM  
MELOEIRO (*Cucumis melo* L.)

1 **SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA EM MELOEIRO (*Cucumis***  
2 ***melo* L.)**

3

4 Hailson Alves Ferreira<sup>1</sup>; Clístenes Williams Araújo do Nascimento<sup>2</sup>; Rosa de Lima  
5 Ramos Mariano<sup>2</sup>; Welka Preston Leite Batista da Costa<sup>3</sup>; José Airon da Silva<sup>4</sup>

6

7 <sup>1</sup>UFRPE – Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia.

8 <sup>2</sup>UFRPE – Depto. de Agronomia, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n - 52171-900 -  
9 Recife, PE - Brasil.

10 <sup>3</sup>UFRPE – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

11 <sup>4</sup>UFRPE – Graduação Agronomia

12 \**Autor para correspondência* <cwanascimento@yahoo.com >

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26 **SILÍCIO NO CONTROLE DA MANCHA-AQUOSA DO MELOEIRO**  
27 **AMARELO (*Cucumis melo* L.)**

28  
29 **RESUMO:** A mancha-aquosa do meloeiro, causada pela bactéria *Acidovorax avenae*  
30 subsp. *citrulli* (Aac) ocasiona consideráveis perdas a produção. Este trabalho objetivou  
31 (1) avaliar os efeitos de diferentes doses de silício (Si) no controle da mancha-aquosa do  
32 meloeiro analisando os atributos químicos do solo, os componentes epidemiológicos da  
33 doença, a nutrição e desenvolvimento da planta e o efeito direto sobre o patógeno; (2)  
34 avaliar a atividade enzimática em meloeiros suplementados ou não com Si, inoculados e  
35 não inoculados com o patógeno O silicato de cálcio foi incorporado ao solo nas doses de  
36 0,00; 0,25; 0,50; 1,50 e 3,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. Após 20 dias de incubação, realizou-se o  
37 transplântio de mudas de meloeiro híbrido amarelo AF 4945 e análises químicas do  
38 solo. Foram avaliados período de incubação, índice de doença, área abaixo da curva de  
39 progresso da doença e incidência aos 20 dias após inoculação. Avaliações de  
40 crescimento, desenvolvimento e acúmulo de nutrientes na planta foram realizadas após  
41 45 dias de cultivo. A maior dose de SiO<sub>2</sub> utilizada promoveu alterações significativas  
42 nos atributos químicos do solo, na nutrição e desenvolvimento da planta, e, reduziu  
43 significativamente o índice de doença, a área abaixo da curva de progresso da doença e  
44 a incidência, aumentando o período de incubação e controlando a mancha-aquosa. O  
45 silício não inibiu o crescimento de Aac *in vitro*. As proteínas solúveis totais e algumas  
46 isoformas da superóxido dismutase foram induzidas pela presença do Si, enquanto as  
47 peroxidase, peroxidase do ascorbato, quitinase, β-1,3 glucanase e fenilalanina amônia  
48 liase não foram influenciadas.

49  
50 Palavras-chave: Indução de resistência, componentes epidemiológicos, PR-proteínas,  
51 *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*.

52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59

60 **SILICON CONTROLS BACTERIAL BLOTCH IN MELON (*Cucumis melo* L.)**

61

62 **ABSTRACT:** Melon bacterial blotch caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*  
63 (*Aac*) is responsible for substantial yield losses in Northeastern Brazil. The research  
64 aimed at two main objectives: 1) evaluating the effects of silicon doses on the melon  
65 bacterial blotch control as a function of soil characteristics, disease epidemiological  
66 components, plant nutrition and development, and direct effect on the pathogen; and 2)  
67 evaluating the enzyme activity in melons supplied with silicon either inoculated or  
68 non-inoculated by the pathogen. Calcium silicate was added to soil at the rates 0.00;  
69 0.25; 0.50; 1.50 e 3.00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. After a 20-day incubation period soil samples were  
70 taken and melon seedlings (AF 4945) were transferd to soil. The folowing characteristics  
71 were evaluated: incubation period, disease index, area below the progress curve of the  
72 disease, and incidence at 20 days after inoculation. Analysis of plant growth and  
73 development as well as nutrients accumulation were done in 45 days-old plants. The  
74 results demonstrated that the highest Si rate promoted significant alterations in soil  
75 chemical attributes and plant nutrition and development. This rate also reduced the  
76 disease index, the area below the progress curve of the disease and the incidence, hence  
77 increasing the incubation period and controling the bacterial blotch. Silicon did not  
78 inhibit the *Acidovorax avenae* growth in vitro. Total proteins and superoxide dismutase  
79 isoforms were induced by Si whereas activity of peroxidase, ascorbate peroxidase,  
80 quitinase, β-1,3 glucanase, and phenylalanine ammonia-lyase were not changed by  
81 silicon.

82

83 Key words: resistence induction, epidemiological components, PR-proteins, *Acidovorax*  
84 *avenae* subsp. *citrulli*.

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

## INTRODUÇÃO

95

96

97

98

99

100

101

102

O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas obtendo aproximadamente uma produção de 40 milhões de toneladas, produzidas em 2,2 milhões de hectares (IBGE, 2005). Todas as regiões brasileiras produzem melão, sendo cerca de 93,6% no Nordeste, 4,8% no Sul, 1,2% no Sudeste e os 0,4% restantes no Norte e Centro-Oeste. Os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte são os líderes nacionais de produção e exportação de melão (AGRIANUAL, 2008).

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

A cultura do meloeiro é suscetível a diversas doenças que podem causar prejuízos econômicos pela redução da quantidade e/ou qualidade de frutos comercializados (ALVES, 2000). Dentre os patógenos que ocorrem nessa cultura, as bactérias vêm assumindo uma importância crescente. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Willems et al. [(Sin: *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* Schaad et al.; *Pseudomonas avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Hu et al.)] é o agente causal da mancha-aquosa, principal doença bacteriana que ocorre nos campos de melão do Nordeste, principalmente na estação chuvosa, ocasionando grandes perdas na produção e depreciação no valor comercial do fruto (SALES JÚNIOR & MENEZES, 2001).

113

114

115

116

117

O principal método de controle das inúmeras enfermidades de plantas é o químico, contudo, uma prática alternativa é manejar a nutrição mineral para aumentar a resistência à doença (MARSCHNER, 1995). Dentre os elementos minerais utilizados, o silício (Si) destaca-se por reduzir a severidade de importantes doenças (EPSTEIN, 1999).

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

Assim, o presente trabalho teve como objetivo (1) avaliar os efeitos de diferentes doses de silício (Si) no controle da mancha-aquosa do meloeiro analisando as alterações nos atributos químicos do solo, os componentes epidemiológicos da doença, a nutrição e desenvolvimento da planta e o efeito direto sobre o patógeno; (2) avaliar a atividade enzimática em meloeiros suplementados ou não com Si, inoculados e não inoculados com *A. avenae* subsp. *citrulli*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Efeito do silício sobre o solo, mancha-aquosa e desenvolvimento do meloeiro

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com temperatura do ar variando de 26,1 a 38,9 °C e umidade do ar entre 36,8 a 77,6%, na Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife (PE), utilizando amostras superficiais (0–20 cm) de um Espodosolo cárbico coletado no município de Goiana (PE) na estação experimental do Instituto de Pesquisa Agropecuária - IPA, cujas características são: pH em água = 5,7; H + Al = 2,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,46 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 0,36 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 0,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 0,64 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P = 2 mg dm<sup>-3</sup>; N = 0,39 g kg<sup>-1</sup>; Si: 10,36 mg dm<sup>-3</sup>; CO = 6,39 g kg<sup>-1</sup>; argila = 49 g kg<sup>-1</sup>; silte = 36 g kg<sup>-1</sup>; e areia = 915 g kg<sup>-1</sup> (Embrapa, 1999).

#### 1.1 Efeito do silício sobre os atributos químicos do solo

A fonte de silício utilizada foi o silicato de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) contendo 16% de óxido de carbono (CaO) e 64% de óxido de silício (SiO). As doses de SiO<sub>2</sub> foram (0,00; 0,25; 0,50; 1,50 e 3,00 g kg<sup>-1</sup> de solo). Foi realizada suplementação mineral com macro e micronutrientes de acordo com as exigências nutricionais da cultura. Os teores de Ca de todos os vasos foram nivelados com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) de forma que a única fonte de variação foram as doses de SiO<sub>2</sub>.

Todos os nutrientes acima citados foram misturados, em suas respectivas doses e proporções, uniformemente ao conteúdo de 5 dm<sup>3</sup> de solo de cada vaso e incubados por 20 dias com a umidade mantida em torno de 80% da capacidade de retenção de água do solo.

As análises químicas foram efetuadas no solo após a incubação. Foram determinados pH em água (1:2,5), P disponível (mg dm<sup>-3</sup>), K, Ca+Mg, Ca, Na e Al trocáveis (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e acidez potencial (H+Al) (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) conforme metodologia descrita em Embrapa (1999). O silício do solo foi extraído pelo ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) de acordo com metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004).

160 **1.2 Efeitos do silício sobre os componentes epidemiológicos da mancha-aquosa do**  
161 **meloeiro**

162

163 Sementes de melão amarelo híbrido AF 4945 (comercializadas pela empresa  
164 SAKATA) foram semeadas em bandeja de plástico contendo substrato comercial  
165 Plantmax<sup>®</sup>. Mudas com 5 dias após emergência (5 DAE) foram transplantadas para os  
166 vasos após a incubação do solo (2 mudas por vaso). A partir de crescimento bacteriano  
167 com 48 h em meio de cultura ágar nutritivo-dextrose-extrato de levedura (NYDA)  
168 (dextrose 10 g, extrato de carne 3 g, extrato de levedura 5 g, ágar 18 g L<sup>-1</sup>) foi preparada  
169 uma suspensão do isolado Aac1 de *A. avenae* subsp. *citrulli* em água destilada, sendo  
170 ajustada em fotocolorímetro (Metronic M3) para uma concentração de  $3,4 \times 10^7$  UFC  
171 mL<sup>-1</sup> (0,25 unidades de absorvância em comprimento de onda 580 nm), adicionando-se  
172 Tween 20 (0,05%). O isolado utilizado foi proveniente da coleção de culturas do  
173 laboratório de Fitobacteriologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Ao  
174 alcançarem o número de 5 folhas definitivas (20 DAE) as mudas foram inoculadas por  
175 pulverização com a suspensão bacteriana até o escorrimento.

176 As plantas foram submetidas à câmara úmida constituída por saco plástico  
177 transparente previamente umedecido, por 24 horas antes e após a inoculação. Durante o  
178 ensaio, os vasos foram mantidos com 80% da capacidade de retenção de água, mediante  
179 pesagem e irrigação diárias para complementação da água perdida por  
180 evapotranspiração. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em  
181 arranjo fatorial (5x2), representado por cinco doses de SiO<sub>2</sub>, dois níveis de inoculação:  
182 com (+Aac) e sem (-Aac) inoculação, com cinco repetições, sendo cada repetição  
183 constituída por um vaso com duas plantas, sendo avaliadas 5 folhas de cada planta.

184 As avaliações foram realizadas diariamente e a intervalos de quatro dias após a  
185 inoculação, determinando-se os seguintes componentes epidemiológicos da doença: a)  
186 período de incubação, calculado pelo número de dias entre a inoculação e o surgimento  
187 dos sintomas da doença; b) índice de doença, aos vinte dias após a inoculação, calculado  
188 de acordo com McKinney (1923) pela fórmula  $IDO = \frac{\sum (\text{grau da escala} \times \text{frequência})}{100/n^\circ \text{ total de unidades} \times \text{grau máximo da escala}}$ , utilizando-se os dados de severidade  
189 da doença, estimada com o auxílio de escala de notas de 0 a 6, adaptada da escala  
190 diagramática para determinação da severidade da mancha zonada do pepino causada por  
191 *Leandria momordicae* (Azevedo, 1997) onde, 0 = sem sintomas, 1 = 1 a 5 % de área  
192



193 foliar infectada, 2 = 6 a 12% de área foliar infectada, 3 = 13 a 37% de área foliar  
194 infectada, 4 = 38 a 62% de área foliar infectada, 5 = 63 a 87 % de área foliar infectada e,  
195 6 = 88 a 100% de área foliar infectada; c) área abaixo da curva de progresso da doença,  
196 calculada pela expressão: AACPD =  $\Sigma (y_i+y_{i+1})/2.d_{ti}$ , onde  $y_i$  e  $y_{i+1}$  são os valores de  
197 severidade observados em duas avaliações consecutivas e  $d_{ti}$  o intervalo entre as  
198 avaliações (SHANER & FINNEY, 1977); d) incidência da doença, calculada pela  
199 porcentagem de folhas por tratamento com sintomas após 20 dias da inoculação.

200

### 201 **1.3 Efeito do silício sobre os atributos de desenvolvimento do meloeiro**

202

203 Após 45 dias de cultivo, as plantas foram examinadas quanto à altura com  
204 auxílio de uma régua graduada, medindo-se cada planta da base do colo até a inserção  
205 da última folha. Em seguida foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes e pesadas  
206 em balança analítica para obtenção da massa fresca. Posteriormente, parte aérea e raízes  
207 foram lavadas em água destilada para eliminação de fragmentos de solo aderidos às  
208 mesmas, e então acondicionados em sacos de papel e conduzidos à estufa para secagem  
209 a 65°C até atingir massa constante.

210 Estes materiais foram moídos em moinho tipo Willey e, após digestão nitro-  
211 perclórica (Embrapa, 1999), foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos  
212 extratos por espectrofotometria de absorção atômica. O Si acumulado nas raízes e parte  
213 aérea foi extraído de acordo com o método descrito por Korndörfer et al. (2004).

214

### 215 **2. Efeito do silício sobre a bactéria *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in vitro**

216

217 Em placa de Petri contendo meio de cultura NYDA foram depositados 100  $\mu$ L  
218 de suspensão de Aac1 contendo  $3,4 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup> espalhando-se com alça de  
219 Drigalsky. Após secagem, discos de papel de filtro foram impregnados em soluções  
220 contendo 0,00; 0,25; 0,50; 1,50 e 3,00 g SiO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de água destilada esterilizada, e quatro  
221 discos correspondentes à mesma dose de SiO<sub>2</sub> foram distribuídos equidistantemente na  
222 placa contendo a suspensão bacteriana.

223 O delineamento foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos referentes as  
224 doses de SiO<sub>2</sub>, cada tratamento com 4 repetições representadas por uma placa de Petri  
225 com quatro discos de papel de filtro. A avaliação foi realizada após 24, 36 e 48 horas  
226 medindo-se os halos de inibição do crescimento de *A. avenae* subsp. *citrulli*.

227 **3. Atividade enzimática em plantas de meloeiro inoculadas e não inoculadas com**  
228 ***Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* e suplementadas ou não com silício**

229

230 Para avaliar a atividade enzimática de plantas de meloeiro um segundo  
231 experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura do ar variando de  
232 24,5 a 40,1°C e umidade relativa do ar entre 20,0 e 69,1%, na Universidade Federal  
233 Rural de Pernambuco, em Recife (PE). Nesse, a dose de SiO<sub>2</sub> que se sobressaiu no  
234 controle da doença (3,00 g kg<sup>-1</sup>) foi confrontada com a dose 0,00 g kg<sup>-1</sup> de solo. Esse  
235 experimento foi instalado conforme detalhado nos itens 1.1 e 1.2. As análises foram  
236 realizadas no laboratório de Proteínas Vegetais de Defesa do Departamento de  
237 Bioquímica da Universidade Federal do Ceará – UFC.

238 O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com  
239 cinco repetições. A parcela foi constituída por um vaso de 5 dm<sup>3</sup> composto por duas  
240 plantas. A estrutura de tratamentos correspondeu a um fatorial 2 x 2 com parcela  
241 subdividida no tempo. Três fatores foram estudados: doses de SiO<sub>2</sub>, em dois níveis  
242 (0,00 e 3,00 g kg<sup>-1</sup> de solo); inoculação da planta com o patógeno, em dois níveis: com  
243 (+Aac) e sem (-Aac) inoculação e época de coleta das folhas após a inoculação da *A.*  
244 *avenae* subsp. *citrulli* (7 e 14 dias).

245 Amostras de tecido foliar do meloeiro foram coletadas 7 e 14 dias após  
246 inoculação da *A. avenae* subsp. *citrulli*, em seguida foram maceradas em tampão acetato  
247 de sódio 0,05 M, pH 5,2, na proporção de 1:3 (m/v), por 10 minutos, em grau, sob  
248 banho de gelo. Após maceração, a suspensão foi filtrada em gaze e centrifugada (20.000  
249 x g, 4 °C, 20 minutos). Feita a centrifugação, o sobrenadante foi dialisado por 72 horas,  
250 a 4 °C, contra o tampão de extração. Esta preparação foi denominada extrato total e  
251 estocada em freezer (-20°C) para determinações de proteínas e atividades enzimáticas.

252 A determinação dos teores de proteínas foi realizada seguindo a metodologia  
253 descrita por Bradford (1976).

254 Para determinação da atividade peroxidásica (POX) foi utilizada a metodologia  
255 descrita por Urbanek et al. (1991). A atividade da Peroxidase do ascorbato foi  
256 determinada de acordo com a metodologia descrita por Peixoto et al. (1999), adaptada  
257 para as condições experimentais. A atividade quitinásica total (CHI) e a da β-1, 3-  
258 glucanase foi verificada de acordo com o método descrito por Boller (1993). A  
259 fenilalanina amônia liase (PAL) teve sua atividade avaliada segundo método descrito  
260 por El-Shora (2002) e Mori et al. (2001). A Superóxido Dismutase (SOD) foi revelada

261 em gel de eletroforese unidimensional segundo a metodologia descrita por Martinez et  
262 al. (2001).

263

#### 264 **4. Análises estatísticas dos dados**

265

266 Foram realizadas análises de variância univariadas com teste F de Snedecor para  
267 componentes epidemiológicos, características de desenvolvimento da planta, atributos  
268 químicos do solo e atividade enzimática. Para o fator quantitativo dose de SiO<sub>2</sub>, foram  
269 estimadas equações de regressão. Para atividade enzimática, como cada fator foi  
270 formado por apenas dois níveis, comparou-se as média pelo teste de t. Em todas as  
271 análises, utilizou-se o nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%. As análises foram  
272 processadas pelos programas SISVAR, R e Table Curve.

273

274

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

275

### 276 **Efeito do silício sobre os atributos químicos do solo**

277

278 Os atributos químicos do solo Si, pH, Ca+Mg e H+Al foram influenciados  
279 significativamente ( $P \leq 0,01$ ) pela adição de doses crescentes de SiO<sub>2</sub>. Adição de doses  
280 crescentes de SiO<sub>2</sub> ao solo proporcionou incremento significativo ( $P \leq 0,01$ ) de 61,59%,  
281 aumentando o teor de Si de 9,79 para 15,82 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 1A). Lana et al. (2003)  
282 também observaram uma relação direta entre as doses de aplicação de silicato de cálcio  
283 e a acumulação de silício no solo.

284

285

286

287

288

O pH e os teores de Ca+Mg aumentaram significativamente ( $P \leq 0,01$ ) de forma  
linear, 17,27 e 29,15%, respectivamente. O pH do solo foi elevado de 5,79 para 6,79, o  
Ca+Mg aumentou de 3,98 para 5,14 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de solo (Figuras 1B e 1C). O H+Al, de  
forma análoga, foi reduzido em 61,48% decrescendo de 1,35 para 0,52 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de  
solo (Figura 1D).

289

290

291

292

293

294

Os silicatos atuam no solo de forma semelhante ao carbonato de cálcio e  
magnésio, corrigindo a acidez por meio da elevação do pH e redução dos teores de  
H+Al; neutralizando o Al trocável e ainda estão associados ao aumento da  
disponibilidade de Si solúvel e dos teores de Ca e Mg trocáveis (EPSTEIN, 1999).

Maichenkov & Calvert (2002) afirmaram que uma das formas pelas quais os  
fertilizantes silicatados podem influenciar as culturas é melhorando as propriedades

295 químicas e a fertilidade do solo. A dose 3,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub> foi a que promoveu maiores  
296 alterações na acidez do solo repercutindo diretamente na disponibilização dos nutrientes  
297 às plantas.

298

### 299 **Efeito do silício no controle da mancha-aquosa**

300

301 Foi observado efeito significativo (P≤0,01) de doses de SiO<sub>2</sub> para todos  
302 componentes epidemiológicos da doença, indicando que o referido elemento químico  
303 influenciou o patossistema meloeiro-*A. avenae* subsp. *citrulli*.

304 O índice de doença e a área abaixo da curva de progresso da doença foram  
305 reduzidos significativamente (P≤0,01) em 88,54 e 85,34%, respectivamente com o  
306 aumento das doses de SiO<sub>2</sub>, evidenciando ação positiva do Si no controle da  
307 fitobacteriose (Figuras 2A e 2B).

308 Aplicação de Si também reduziu significativamente a severidade da escaldadura  
309 em plantas de arroz (*Oryza sativus* L.). De acordo com Chang et al. (2002) houve uma  
310 redução significativa no comprimento das lesões em folhas de arroz causadas pela  
311 bactéria *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Ishiyama) Dye da ordem de 5 a 22%, em  
312 quatro cultivares supridas com silício.

313 Diogo & Wydra (2007) avaliando a influência do Si (1,00 g de SiO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de  
314 substrato) no patossistema tomateiro (*Solanum lycopersicon* L.)-*Ralstonia*  
315 *solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al., agente causal da murcha-bacteriana, verificaram  
316 reduções de 33,8% e 81,2% para a área abaixo da curva de progresso da severidade da  
317 doença nos genótipos King Kong 2 e Hawaii 7998, respectivamente. Análises imuno-  
318 histoquímicas indicaram que o Si pode reduzir a colonização pela referida bactéria nos  
319 vasos do xilema devido à indução de mecanismos de resistência basal, como mudanças  
320 na estrutura de polissacarídeos pécticos da parede celular.

321 Aplicação de SiO<sub>2</sub> retardou significativamente (P≤0,01) o aparecimento dos  
322 primeiros sintomas da mancha-aquosa, visto que o período de incubação foi ampliado  
323 de 5,6 para 15,8 dias, período esse verificado com aplicação da maior dose de SiO<sub>2</sub>  
324 (3,00 g kg<sup>-1</sup> de solo) (Figura 2C).

325 Períodos de incubação médios de 4,1 dias para plântulas, 2,2 dias para plantas e  
326 2,9 dias para frutos foram obtidos por Silveira et al. (2003) ao estudarem a variabilidade  
327 de isolados de *A. avenae* subsp. *citrulli* oriundos de áreas de plantio da região do Vale  
328 do Açu, no Estado do Rio Grande do Norte.

329 Adição de silicato de potássio em solução nutritiva, bem como em pulverizações  
330 foliares, aumentou significativamente o período latente de *Podosphaera xanthii*  
331 (Castagne) U. Braun & Shishkoff, agente causal do oídio, em folhas de pepino  
332 (*Cucumis sativus* L.) abóbora (*Cucurbita pepo* L.) e melão, além de reduzir o número de  
333 colônias desse fungo (MENZIES et al., 1992).

334 Diferenças no período de incubação refletem diferenças na taxa de crescimento  
335 do patógeno no hospedeiro, e conseqüentemente, na taxa de progresso da epidemia,  
336 sendo um importante componente de resistência (PARLEVLIET, 1979).

337 Atraso no aparecimento dos primeiros sintomas da mancha-aquosa em folhas de  
338 meloeiro ocorreu pela ativação das defesas contra o patógeno, permitindo a planta  
339 manter-se livre da doença por aproximadamente 16 dias e proporcionando um estado  
340 nutricional, fisiológico e bioquímico adequado ao desenvolvimento. Além disto, em  
341 campo, esta ausência de sintomas significa menos fontes de inóculo por mais tempo e  
342 conseqüentemente menor disseminação da bacteriose, pois, segundo Hopkins et al.  
343 1992, as lesões nas folhas das plantas são importantes fontes de inóculo para os frutos.

344 O Si também influenciou significativamente ( $P \leq 0,01$ ) a incidência da doença nas  
345 folhas (Figura 2D), embora a redução tenha sido constatada somente a partir da dose 1,5  
346 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. A incidência da mancha-aquosa do meloeiro foi reduzida em 50,15%  
347 quando foi utilizada a dose 3,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>. No entanto, constatou-se que o Si, nas  
348 doses consideradas no presente trabalho, não impediu o aparecimento da doença,  
349 todavia influenciou diretamente a epidemiologia da mesma, pois reduziu a severidade e  
350 elevou o período de incubação (Figuras 2A, 2B e 2C).

351 Chérif & Bélanger (1992) averiguaram que a adição de 1,7 mmol L<sup>-1</sup> de silicato  
352 de potássio em solução nutritiva reduziu o número de plantas de pepino mortas por  
353 *Pythium ultimum* Trow.

354 Dannon & Wydra (2004) constataram que as áreas abaixo da curva de  
355 severidade e da incidência da murcha-bacteriana do tomateiro de plantas tratadas com Si  
356 foi significativamente menor quando comparada a plantas não tratadas. No genótipo  
357 L390 houve reduções de 16,1 e 26,8% e no genótipo King Kong 2 de 41,3 e 56,2%,  
358 respectivamente. Reduções de 38,1% e 100% na incidência da murcha-bacteriana em  
359 plantas de tomateiro tratadas com Si pertencentes aos genótipos King Kong 2 e Hawaii  
360 7998 foram também relatadas por Diogo & Wydra (2007).

361 Cazorla et al. (2006) observaram efeito significativo do Si na redução da  
362 incidência da necrose apical bacteriana, causada por *Pseudomonas syringae* pv.

363 *syringae* van Hall em inflorescência e folhas de mangueira, somente quando aplicado  
364 em combinação com fosetyl-Al (1,4 + 4,0 g, respectivamente).

365 Dannon & Wydra (2004) e Wydra et al. (2006) concluíram que a resistência do  
366 tomateiro à bactéria *R. solanacearum* não resultou de uma limitação da penetração  
367 bacteriana em raízes, mas foi devido a ativação de mecanismos de resistência na parte  
368 aérea. Os autores verificaram correlação negativa entre o conteúdo de Si presente nas  
369 raízes e a população bacteriana presente na parte mediana dos caules. Este fato sugere  
370 que Si em raízes desempenha uma função na rota de sinalização e pode induzir  
371 resistência sistêmica em outros órgãos (FAWE et al., 2001).

372 O controle da mancha-aquosa do meloeiro verificado, provavelmente pode ser  
373 explicado pela ativação da resistência sistêmica da planta, visto que, o suprimento de Si  
374 via solo surtiu efeito no controle da mancha-aquosa que é uma bacteriose foliar.

375

#### 376 **Efeito do silício sobre o desenvolvimento do meloeiro**

377

378 Foi observado efeito significativo ( $P \leq 0,01$ ) de doses de  $\text{SiO}_2$  para todas as  
379 características de crescimento da planta, exceto matéria seca da raiz. Foi ainda  
380 verificado efeito significativo ( $P \leq 0,01$ ) para inoculação com Aac relacionado a todas as  
381 características de desenvolvimento da planta, exceto para altura (dados não  
382 apresentados). Não houve significância para a interação doses de  $\text{SiO}_2$  x inoculação com  
383 Aac.

384 A altura da planta aumentou 9,15% de forma linear significativa ( $P \leq 0,01$ ) com  
385 as doses crescentes de  $\text{SiO}_2$  (Figura 3A). Lopes (2006) verificou ganho em altura de  
386 copa em tomateiros tratados com silicato de cálcio, correspondente a 9,8% em relação  
387 ao tratamento controle.

388 O Si não é considerado elemento essencial para o crescimento das plantas, mas  
389 tem demonstrado efeitos benéficos para várias espécies. Silício promove fortalecimento  
390 em plantas através da sua deposição, acumulação e expansão na parede celular.  
391 (EPSTEIN, 1994). A ligação da sílica acumulada a componentes da parede celular, tais  
392 como *O*-difênóis, promove estabilidade estrutural adicional à ação da lignina. O hábito  
393 ereto de folhas em algumas gramíneas é devido a sua habilidade em concentrar Si na  
394 parede celular.

395 O aumento do crescimento das plantas deu-se possivelmente pelo acúmulo do Si  
396 sob forma de sílica gel nos tecidos de suporte do caule e folhas conferindo aos mesmos

397 um comportamento mais ereto, maior rigidez e uma melhor arquitetura, o que promoveu  
398 maior interceptação de luz solar com conseqüente estímulo a fotossíntese. O silício  
399 proporciona vários efeitos benéficos para as plantas, principalmente para as gramíneas,  
400 destacando-se, entre outros, maior taxa fotossintética pela melhoria da arquitetura foliar  
401 (DEREN, 2001). Adatia & Besford (1986) concluíram que o incremento no crescimento  
402 de plantas resulta de uma maior estabilidade mecânica de caule e folha e assim melhor  
403 interceptação de luz e maior capacidade fotossintética.

404 A análise de crescimento se baseia fundamentalmente no fato de que 90% em  
405 média da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da  
406 atividade fotossintética. O restante, da absorção de nutrientes minerais do solo. Embora  
407 quantitativamente de menor expressão, os nutrientes minerais são indispensáveis ao  
408 crescimento e desenvolvimento vegetal. Apesar de não se poder quantificar a  
409 importância da fotossíntese e dos nutrientes separadamente, existe uma estreita relação  
410 entre os dois, de tal forma que deficiências em um, prejudica o outro direta e/ou  
411 indiretamente. Como o crescimento é avaliado através de variações em tamanho de  
412 algum aspecto da planta, geralmente morfológico, em função da acumulação de material  
413 resultante da fotossíntese líquida, esta passa a ser o aspecto de maior importância para  
414 análise de crescimento (BENINCASA, 1988).

415 Também se verificou incremento significativo ( $P \leq 0,01$ ), mesmo de forma menos  
416 acentuada (raiz quadrada), para matérias fresca da parte aérea (23,87%) e raiz (48,75%),  
417 bem como da matéria seca da parte aérea (33,36%) das plantas de meloeiro (Figuras 3B,  
418 3C e 3D).

419 Plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva, com concentração de 100 mg  
420  $L^{-1}$  de  $SiO_2$ , apresentaram aumento no teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e  
421 seca) específica, atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas, as quais  
422 permaneceram mais eretas (ADATIA & BESFORD, 1986).

423 Chérif & Bélanger (1992) verificaram que plantas inoculadas com o patógeno e  
424 tratadas com Si aumentaram a matéria seca de raízes e parte aérea, e o número de frutos,  
425 especialmente frutos com padrões de qualidade para comercialização, em relação ao  
426 tratamento controle inoculado, sem Si.

427 Plantas de tomateiro tratadas com Si e inoculadas com a bactéria *R.*  
428 *solanacearum* apresentaram um aumento na matéria seca da parte aérea em 243% em  
429 relação às plantas inoculadas não tratadas (DIOGO & WYDRA, 2007). Também  
430 Dannon & Wydra (2004) relataram um efeito de “tolerância” ao patógeno em plantas

431 suscetíveis de tomateiro infectadas cultivadas em hidroponia, os autores relacionaram o  
432 efeito ao ganho em matéria seca pelas plantas tratadas com Si.

433 Diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre doses de  $\text{SiO}_2$  para o acúmulo de Cálcio  
434 (Ca), Magnésio (Mg) e Silício (Si) foram verificadas na parte aérea das plantas de  
435 meloeiro.

436 Houve aumento linear significativo ( $P \leq 0,01$ ) do conteúdo de Ca em função das  
437 doses crescentes de  $\text{SiO}_2$  aplicadas ao solo, verificando-se elevação de 124,55% com a  
438 utilização da dose  $3,00 \text{ g kg}^{-1} \text{ SiO}_2$  (Figura 4A). Fato também observado para o Mg,  
439 embora de forma menos acentuada (59,35%) (Figura 4B).

440 Comportamento sigmoidal significativo ( $P \leq 0,01$ ) para o conteúdo de Si na parte  
441 aérea foi detectado (Figura 4C). Aumento de 39,40% ocorreu até a dose  $0,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ SiO}_2$ ,  
442 com posterior estabilização dos valores em cerca de  $1,30 \text{ g vaso}^{-1} \text{ Si}$ .

443 Lima (1998) averiguou que plantas de soja (*Glycine max* L.) translocam Si até  
444 um determinado limite. Em plantas com cerca de 40 dias após a germinação, as folhas e  
445 hastes chegaram a um limite em torno de 450 e 650  $\text{mg kg}^{-1}$  de Si, respectivamente.  
446 Resende et al. (2008) também ao estudarem a influência de doses de Si aplicadas ao  
447 solo no comportamento de linhagens de sorgo, perceberam que o teor foliar de Si  
448 aumentou de forma linear positiva em função das doses crescentes com um incremento  
449 em relação ao controle de 55 e 58%, respectivamente, nas linhagens suscetível e  
450 resistente. Não houve diferença significativa quanto ao teor foliar de Ca entre as duas  
451 linhagens e nem mesmo entre as combinações de doses de volastonita (fonte de Si) e  
452 carbonato de Ca.

453 O meloeiro, uma típica representante da família das Cucurbitaceae, assim como  
454 pepino, se enquadra como uma espécie que acumula níveis intermediários de Si. O  
455 conteúdo de Si em base seca nas plantas de meloeiro em estudo e a relação Si/Ca foi de  
456 aproximadamente 0,97% e 0,43%, respectivamente, o que reforça sua classificação  
457 como acumuladora intermediária. De acordo com Ma et al. (2001) plantas como soja e  
458 as cucurbitáceas, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém com relação molar Si/Ca  
459 inferior a 1 são classificadas como intermediárias.

460 A mobilidade e deposição de Si ( $\text{SiO}_2$ ) em plantas de pepino cultivadas em  
461 cultura hidropônica foram estudadas por Samuels et al. (1991) usando microscopia  
462 eletrônica de varredura e análise de energia dispersiva de raio X. Os autores constataram  
463 que plantas cultivadas na ausência de Si quando transferidas para meio contendo o  
464 elemento ( $1,7 \text{ mol m}^{-3}$ ) e então inoculadas com *Sphaerotheca fuliginea* (Schltldl.)



465 Pollacci mostraram rápida silicificação do tecido foliar, primariamente na base do  
466 tricoma, aumento de resistência ao oídio e concentrações de Si cercando o patógeno  
467 invasor. Plantas suplementadas com Si e transferidas a meio deficiente nesse elemento  
468 contiveram Si residual, mas falharam no desenvolvimento da resistência a doença ou na  
469 silicificação do tecido hospedeiro ao redor do patógeno invasor. Altos níveis de Ca  
470 foram encontrados na base e extensão do tricoma sem levar em consideração o  
471 tratamento silicatado, e ao redor do halo de infecção de plantas tratadas com Si. Potássio  
472 foi encontrado ao longo da epiderme foliar com exceção dos tricomas.

473 O Si influencia a absorção e translocação de vários macros e micronutrientes  
474 (EPSTEIN,1994). Pela técnica de microanálise de raio X e mapeamento para Si, Pozza  
475 et al. (2004) verificaram uma distribuição uniforme do elemento em toda superfície  
476 abaxial de folhas de café ( *Coffea arabica* L.). Além disso, também constataram que  
477 as plantas tratadas com Si apresentaram maior quantidade de Fe e presença de Cu e Zn,  
478 os quais não foram observados nas plantas testemunhas. Esses nutrientes podem  
479 também atuar como co-fatores na síntese de enzimas, inclusive aquelas ligadas à  
480 patogênese, tornando-se mais uma evidência da atuação dessas substâncias no processo  
481 de defesa da planta (MARSCHNER, 1995).

482 A nutrição de plantas determina em grande parte a sua resistência ou  
483 susceptibilidade a doenças, sua estrutura morfológica ou histológica, a função de tecidos  
484 na progressão da patogênese, a virulência e sobrevivência do patógeno. Os elementos  
485 minerais são necessários para síntese de barreiras químicas e físicas ou para alteração do  
486 metabolismo ao redor do sítio de infecção. A resistência também pode ser concedida  
487 pela ausência de um nutriente essencial à atividade patogênica. Uma prática alternativa  
488 no controle de doenças de plantas é manejar a nutrição mineral para aumentar a  
489 resistência hospedeira (MARSCHNER, 1995).

490

#### 491 **Efeito do silício sobre a bactéria *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in vitro**

492

493 As doses de SiO<sub>2</sub> não influenciaram o crescimento in vitro de *A. avenae* subsp.  
494 *citrulli*, não se observando halos de inibição.

495 Lopes (2006) não detectou diferença significativa entre as doses e fontes de  
496 silício utilizadas na porcentagem de germinação de esporos de *Fusarium oxysporum* f.  
497 sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen, entretanto o índice de crescimento micelial  
498 foi reduzido, principalmente pela fonte pura de silício, o ácido silícico.

499 Segundo Kúc (2001), produtos indutores de resistência, no senso *stricto*, não  
500 atuam sobre o patógeno, contudo, no senso amplo, os indutores podem atuar induzindo  
501 resistência e afetando o patógeno. Estudos têm mostrado que o controle de doenças  
502 mediado pela aplicação de silício ocorre por indução dos mecanismos de defesa do  
503 hospedeiro (RODRIGUES et al., 2001). Não há registro na literatura de ação direta *in*  
504 *vitro* do Si sobre bactérias o que permite classifica-lo como um possível indutor de  
505 resistência.

506

507 **Atividade enzimática em plantas de meloeiro inoculadas e não inoculadas com**  
508 ***Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* suplementadas ou não com silício**

509

510 Interação tripla significativa ( $P \leq 0,01$ ) foi observada entre os fatores de variação  
511 dose, inoculação e tempo de coleta de folhas após inoculação para proteínas solúveis  
512 totais (PST), peroxidase (POX) e peroxidase do ascorbato (APX).

513 Assim sendo, para PST, desdobrando-se o fator doses de  $\text{SiO}_2$  nas quatro  
514 combinações entre tempo e inoculação, verificou-se que para primeira data de coleta das  
515 folhas (7 dias após inoculação), independente da presença ou não da bactéria, a  
516 atividade enzimática foi mais pronunciada na presença de Si (Tabela 1). Entretanto, aos  
517 14 dias, só foi detectada diferença entre as doses 0 e  $3,00 \text{ g kg}^{-1}$   $\text{SiO}_2$  na ausência da  
518 bactéria.

519 Com relação à inoculação, detectou-se diferença somente aos 14 dias na  
520 presença de silício. A atividade da enzima, nesse caso, foi maior na ausência da bactéria  
521 (Tabela 1).

522 No desdobramento triplo para as enzimas POX e APX, detectou-se diferença  
523 entre as doses de  $\text{SiO}_2$  aos 14 dias e na presença da bactéria, sendo que na dose  $0,0 \text{ g kg}^{-1}$   
524 a atividade enzimática foi mais intensa. Foi observado efeito de inoculação somente  
525 na ausência do silício. Nessa situação, a presença da bactéria promoveu maior atividade  
526 enzimática (Tabelas 2 e 3).

527 O zimograma da superóxido dismutase (SOD) permitiu observar a expressão de  
528 diferentes isoformas desta enzima (Figura 5). Foi verificada expressão de um padrão de  
529 banda aos 14 dias para as plantas tratadas com Si não inoculadas, seta 'a'. Essa isoforma  
530 não foi presente para os demais tratamentos, indicando sua ativação ou potencialização  
531 pelo elemento, na ausência do patógeno. A isoforma indicada pela seta 'b' apresentou-se  
532 aos 7 e 14 dias em plantas tratadas inoculadas e não inoculadas, respectivamente, não

533 revelando quem a induziu ou potencializou. O padrão de bandas indicado pelas setas 'c'  
534 e 'd' foi expresso em todos os tratamentos, sendo que a isoforma 'd' teve sua expressão  
535 mais pronunciada (Figura 5).

536 Os resultados obtidos indicam que o Si não funcionou como um indutor da  
537 atividade enzimática para a POX, APX (Tabelas 2 e 3), fenilalanina amônia liase (PAL),  
538 quitinase (CHI) e  $\beta$ -1,3 glucanase (dados não apresentados), apenas as PST (Tabela 1) e  
539 algumas isoformas da SOD (Figura 5) foram influenciadas positivamente pelo  
540 tratamento silicatado. Esse resultado foi corroborado por Pereira (2007) ao verificarem  
541 que atividades de todas as enzimas expressas pelas folhas do cafeeiro e da soja, tratadas  
542 com silicato de potássio via foliar em plantas inoculadas e não inoculadas com o fungo  
543 *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome não mostraram, em geral, níveis diferentes das  
544 atividades enzimáticas observadas no tratamento controle. Esta observação levou a crer  
545 que a indução destas enzimas foi exclusivamente potencializada pela presença do  
546 patógeno e não pela aplicação do Si.

547 Liang et al. (2005) estudando o patossistema pepino-*Podosphaera xanthii*  
548 verificaram aumento significativo das enzimas polifenoloxidase, PAL e CHI após  
549 inoculação das plantas em comparação com plantas saudas. Estes resultados deveram-se  
550 a aplicação do Si via raiz que pareceu potencializar a atividade das mesmas. Segundo  
551 Chérif et al. (1994) a fertilização com Si parece induzir o mecanismo de defesa somente  
552 em resposta ao ataque do patógeno e esta indução é expressa através de uma reação em  
553 cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, caracterizando uma resposta de  
554 defesa rápida e prolongada.

555 Correlações entre os componentes epidemiológicos da mancha-aquosa e os  
556 atributos químicos do solo e de desenvolvimento da planta (Tabela 4) permitem as  
557 seguintes inferências: A área abaixo da curva de progresso da doença e o índice de  
558 doença correlacionaram-se negativamente com os atributos matéria fresca da parte aérea  
559 e conteúdo de nitrogênio, sendo que o índice de doença também teve correlação  
560 negativa com a matéria seca da parte aérea. Isto indica que quanto menor a severidade  
561 da doença maior o crescimento da planta e vice-versa, quanto maior o incremento  
562 dessas variáveis de desenvolvimento, menor a severidade da doença.

563 Maichenkov & Calvert (2002) afirmam que a segunda forma pela qual os  
564 fertilizantes silicatados podem influenciar as culturas é através da ação direta sobre o  
565 crescimento e desenvolvimento vegetal. A alteração da nutrição da planta promovida

566 pela suplementação silicatada reforça a hipótese do envolvimento do Si na indução das  
567 reações de defesa da planta.

568         Analisando-se os resultados obtidos, verifica-se que houve um eficiente controle  
569 da mancha-aquosa do meloeiro, entretanto, não foi possível identificar o mecanismo  
570 responsável por esse controle. Apesar disso, ficou evidente a importância da nutrição da  
571 planta no manejo da referida doença. Demais estudos são necessários para que se possa  
572 elucidar os mecanismos de ação do Si sobre a doença em estudo.

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 600  
601  
602 ADATIA, M, M.H.; BESFORD, A. T. The effects of silicon on cucumber plants grown  
603 in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, v. 58, n.3, p. 343-351, 1986.  
604  
605 AGRIANUAL - FNP. **Anuário de Agricultura Brasileira**. 2008. p. 345-502.  
606  
607 ALVES, R. E. **Melão, pós-colheita**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2000.43p.  
608  
609 AZEVEDO, L.A.S. **Manual de quantificação de doenças de plantas**. São Paulo: Luiz  
610 Azevedo, 114p, 1997.  
611  
612 BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal:  
613 FUNEP, 1988. p. 41.  
614  
615 BOLLER, T. Biochemical analysis of chitinases and  $\beta$ -1,3-glucanases. In: GURR, S. J.;  
616 MOPHERSONN, M. J.; BOWLES, D. J. (Ed.). **Molecular Plant Pathology**. New  
617 York: IRL Press, 1993. p. 23-29.  
618  
619 BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for quantification of micrograms  
620 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical**  
621 **Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.  
622  
623 CAZORLA, M.F et al. Field evaluation of treatments for the control of the bacterial  
624 apical necrosis of mango (*Mangifera indica*) caused by *Pseudomonas syringae* pv.  
625 *syringae*. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v.116, p.279-288, 2006.  
626  
627 CHANG, S.J.; TZENG, D.D.S.; LI, C.C. Effect of silicon nutrient on bacterial blight  
628 resistance of rice (*Oryza sativa* L.). In: **Conference**. T. MATOH (Ed.). Press-Net,  
629 Kyoto, Japan., p.31-33, 2002.  
630  
631 CHÉRIF, M.; BELANGER, R.R. Use of potassium silicate amendments in recirculating  
632 nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. **Plant**  
633 **Disease**, St. Paul, v.76, p.1008-1011, 1992.

- 634 CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble  
635 silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, p.  
636 236-242, 1994.
- 637
- 638 DANNON, E.; WYDRA, K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt  
639 development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes.  
640 **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.64, p.233-43, 2004.
- 641
- 642 DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In:  
643 DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in Agriculture**.  
644 The Netherlands: **Elsevier Science**, 2001. cap. 8, p. 149-158.
- 645
- 646 DIOGO, R.V.C.; WYDRA, K. Silicon-induced basal resistance in tomato against  
647 *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polisacharide  
648 structure. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 70, p. 120-129,  
649 2007.
- 650
- 651 EL-SHORA , H. M. Properties of phenylalanine ammonia-lyase from Marrow  
652 cotyledons. **Plant Science**, Columbus, v. 162, p. 1-7, 2002.
- 653
- 654 EMBRAPA. **Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Rio  
655 de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 1999. 370p.
- 656
- 657 EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular**  
658 **Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.
- 659
- 660 EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the**  
661 **National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, US,  
662 v.91, n.1, p.11-17, 1994.
- 663
- 664 FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.;  
665 SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture: studies in**  
666 **plants in Plant Science**, 8. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 159-169.

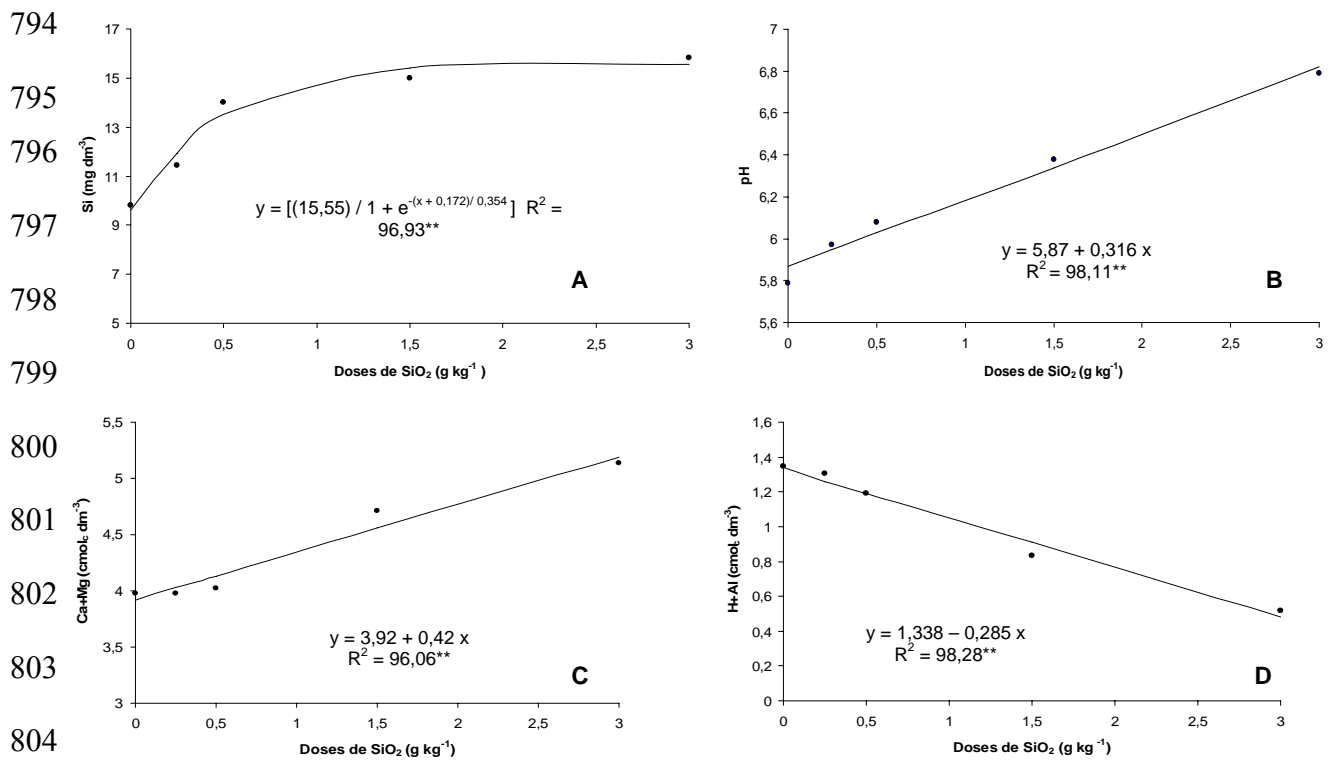
- 667 HOPKINS, D. L. et al. **Bacterial fruit blotch of watermelon**. Florida: American  
668 Sunmelon, 1992. 2p.  
669
- 670 IBGE. Produção agrícola municipal e levantamento sistemático da produção agrícola.  
671 Disponível em:  
672 [www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAP/ESTATÍSTICA/CULTURAS/2.2](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAP/ESTATÍSTICA/CULTURAS/2.2)  
673 [A\\_OXLS](#)> Acesso em 04 jan. 2009.  
674
- 675 KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e  
676 fertilizante. Uberlândia: Grupo de pesquisa “Silício na Agricultura”, 2004. 34p.  
677 (Boletim técnico n. 2).  
678
- 679 KUC J. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its  
680 application. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht v. 107, p. 7-12, 2001.  
681
- 682 LANA, R. M. Q. et al. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação  
683 de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 15-20, 2003.  
684
- 685 LIANG, Y. C. et al. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of  
686 induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v.  
687 54, p. 678-685, 2005.  
688
- 689 LIMA, M.T.G. de. **Interrelação Cancro da haste** (*Diaporthe phaseolorum* f. sp.  
690 meridionalis), **nodulação** (*Bradyrhizobium japonicum*) e **silício em soja** [*Glycine Max*  
691 (L.) Merrill]. 1998. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba.  
692
- 693 LOPES, A.C.F. **Efeito de fontes de silício no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp.**  
694 ***lycopersici*** em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Dissertação). 2006. 67f.  
695 Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.  
696
- 697 MA, J.F., MYAKEY, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop  
698 plants. In: DATINOFF et al. **Silicon on Agriculture**. 2001. cap, 2; p. 17-39.  
699

- 700 MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V. Silicon as a beneficial element for  
701 sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, v.22, p. 21-30,  
702 2002.
- 703
- 704 MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York: Academic  
705 Press, 1995. 887p.
- 706
- 707 MARTINEZ, C. A. et al Differential responses of superoxide dismutase in freezing  
708 resistant *Solanum curtilobum* and freezing sensitive *Solanum tuberosum* subjected to  
709 oxidative and water stress. **Plant Science**, Columbus, v.160, p.505-515, 2001.
- 710
- 711 McKINNEY, R.H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat  
712 seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**,  
713 Washington, US, v.26, p.195-218, 1923.
- 714
- 715 MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D. Foliar application of potassium silicate reduce  
716 severity of powdery mildew development on cucumber, muskmelon and zucchini  
717 squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.  
718 117, p. 902-905, 1992.
- 719
- 720 MORI, T.; SAKURAI, M.; SAKUTA, M. Effects of conditioned medium on activities  
721 of PAL, CHS, DAHP synthase (DS-Co and DS-Mn) and anthocyanin production in  
722 suspension cultures of *Fragaria ananassa*. **Plant Science**, Columbus, v. 160, p. 355-360,  
723 2001.
- 724
- 725 PARLEVIET, J.E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic  
726 development. **Annual Review of Plant Pathology**, Palo Alto, v.17, p.203-222,  
727 1979.
- 728
- 729 PEIXOTO, P. H. P. et al. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities  
730 of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia**  
731 **Vegetal**, Londrina, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.
- 732

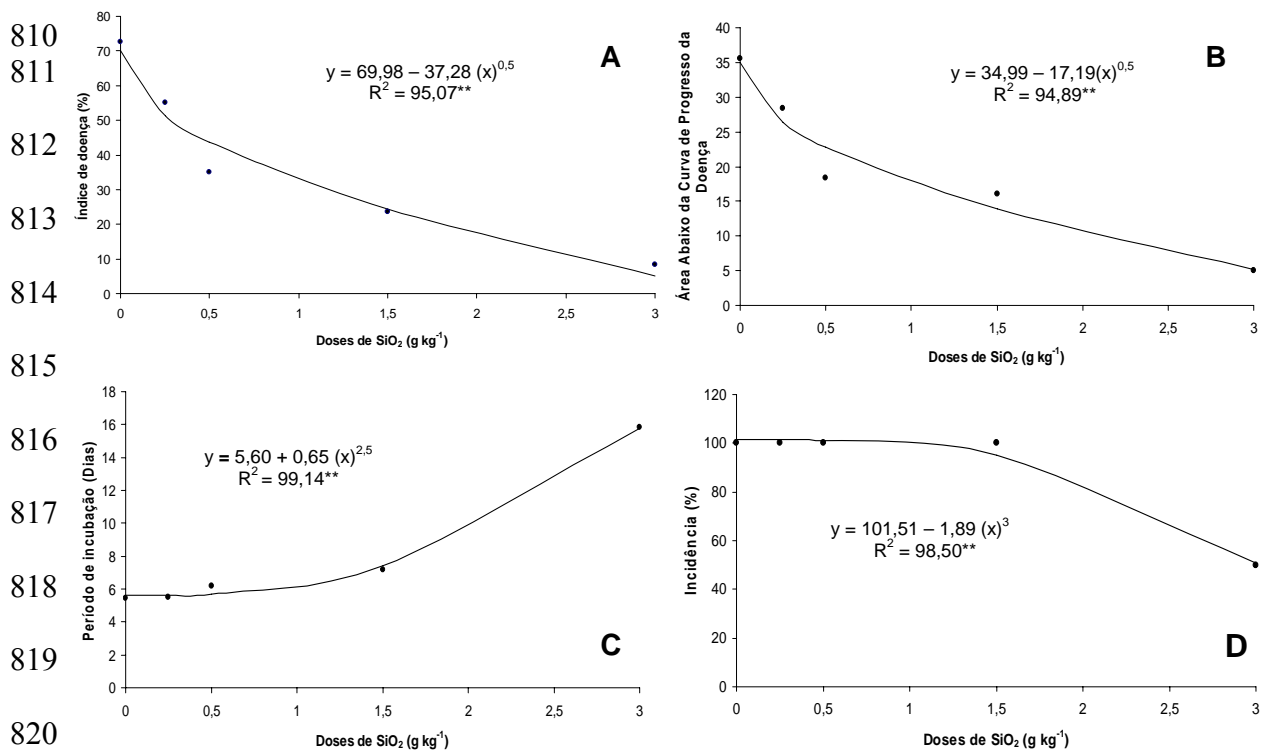


- 733 PEREIRA, S.C. **Silício como potencializador da atividade de enzimas de defesa à**  
734 **ferrugem em plantas de café e soja.** 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em  
735 Bioquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.  
736
- 737 POZZA, A.A.A, et al. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades  
738 de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.29, p.185-188. 2004.  
739
- 740 RESENDE, R.S, et al. The influence of silicon on components of resistance to  
741 anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **Journal of Plant Pathology**,  
742 Bari, v.90, n.2, p.236, 2008.  
743
- 744 RODRIGUES, F. A, et al. Effect of silicon and host resistance on sheath blight  
745 development in rice. **Plant Disease**, St. Paul, v. 85, n. 8, p. 827- 832, 2001.  
746
- 747 SAMUELS, A. L, et al. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant**  
748 **Cell Environment**, Oxford, v. 14, p. 485-492, 1991.  
749
- 750 SALES JÚNIOR, R; MENEZES, J. B. **Mapeamento das doenças fúngicas,**  
751 **bacterianas e viróticas do cultivo do melão no estado do RN.** Mossoró: Escola  
752 Superior de Agricultura de Mossoró, 2001. 25 p. Relatório.  
753
- 754 SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of  
755 slow-mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St.Paul, v.67, n.8, p.1051-  
756 1056, 1977.  
757
- 758 SILVEIRA, E. B.; MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R. Variabilidade de isolados  
759 de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* provenientes de melão produzidos no estado do  
760 Rio Grande do Norte. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 29, n.3, p.255-261,  
761 2003.  
762
- 763 URBANEK H., KUZNIAK-GEBAROWSKA E., HERKA K. Elicitation of defense  
764 responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologiae**  
765 **Plantarum**, v. 13, p. 43-50, 1991.  
766

767 WYDRA, K. et al. Characterization of the interaction of antagonistic bacteria and of  
768 silicon (SiO<sub>2</sub>) with tomato infected *Ralstonia solanacearum*. In: International  
769 symposium on biological control of bacterial plant diseases, 2006, Darmstadt.  
770 **Proceedings of the first international symposium on biological control of bacterial**  
771 **plant diseases**, Darmstadt, Mitt Biol Bundesantalt 2006. p. 112-118.  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791  
792  
793



806 **Figura 1.** Teor de silício (Si) (A), pH (B), Cálcio+Magnésio (Ca+Mg) (C) e  
 807 Hidrogênio+Alumínio (H+Al) (D), no solo em função de doses crescentes de SiO<sub>2</sub>  
 808 aplicadas ao solo.



821 **Figura 2.** Índice de Doença (A); Área abaixo da Curva de Progresso da Doença (B);  
 822 Período de incubação (C) e Incidência (D) da mancha-aquosa do meloeiro em folhas em  
 823 função de doses crescentes de SiO<sub>2</sub> aplicadas ao solo.

824

825

826

827

828

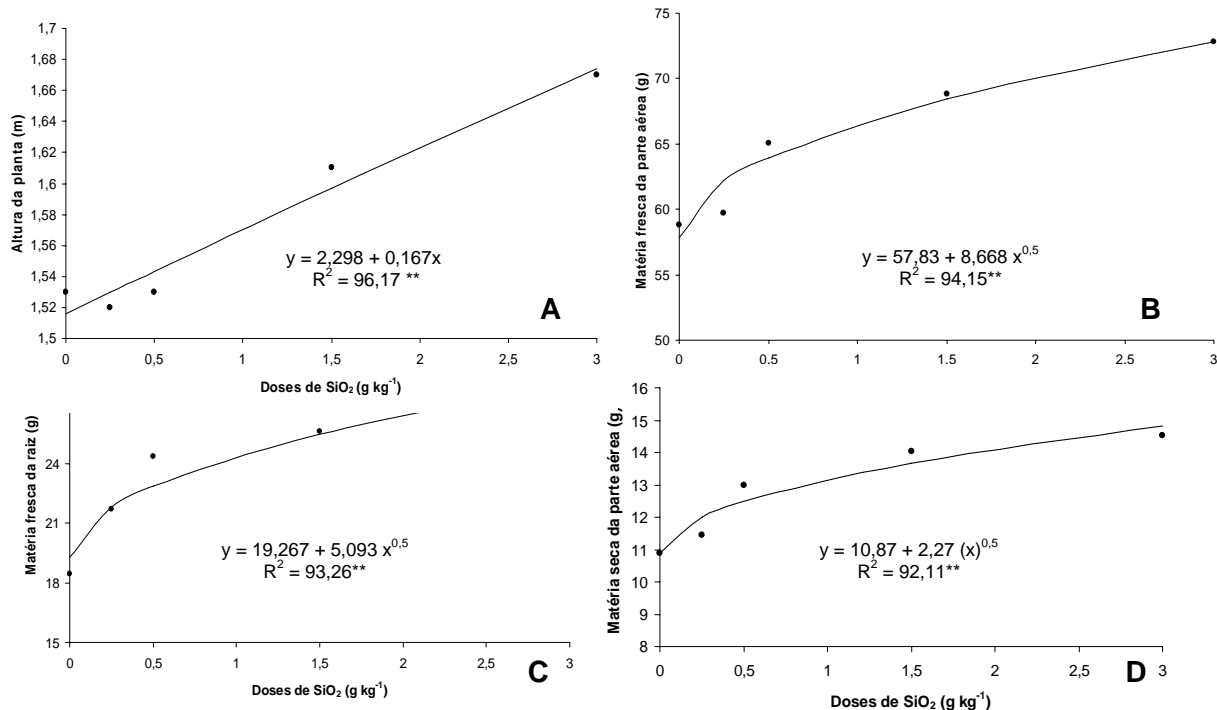
829

830

831

832

833



834

835 **Figura 3.** Altura da planta (A); Matéria fresca da parte aérea (B); Matéria fresca da raiz  
836 (C) e Matéria seca da parte aérea (D) de plantas de meloeiro inoculadas e não inoculadas com *A. avenae* subsp. *citrulli* em função de doses crescentes de  $\text{SiO}_2$   
837 aplicadas ao solo.

838

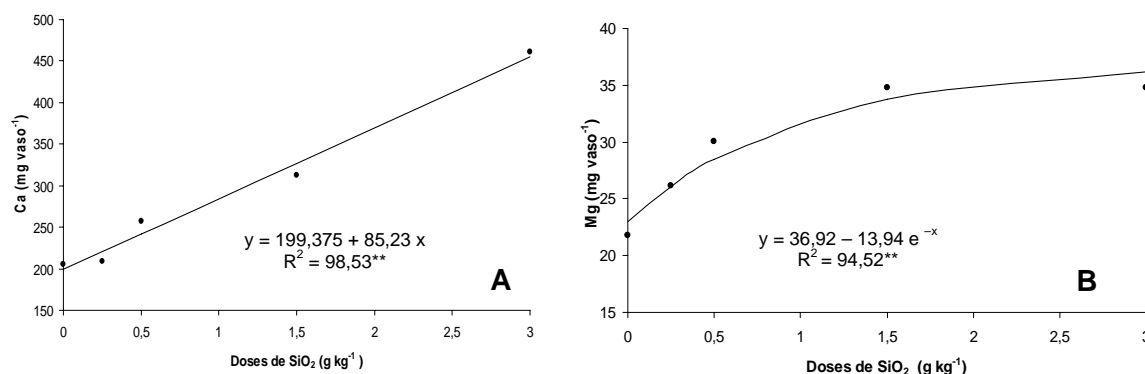
839

840

841

842

843



844

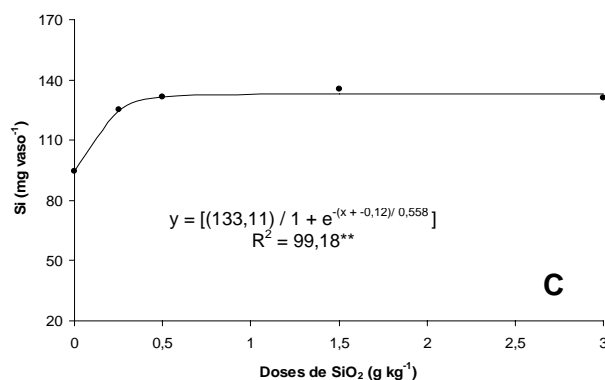
845

846

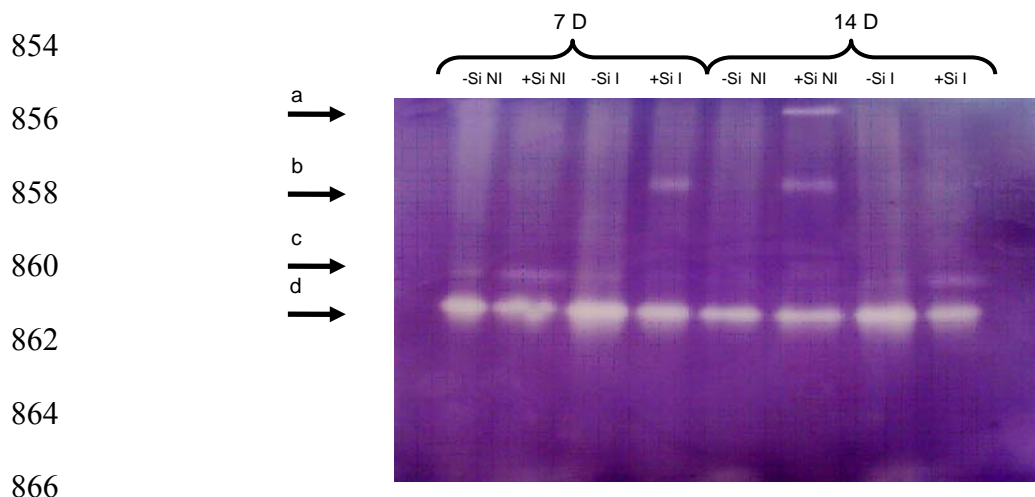
847

848

849



850 **Figura 4.** Conteúdo de Cálcio (Ca) (A); Magnésio (Mg) (B) e Silício (Si) (C) na parte  
851 aérea em plantas de meloeiro inoculadas e não inoculadas com *Acidovorax avenae*  
852 subsp. *citrulli* em função de doses crescentes de  $\text{SiO}_2$  aplicadas ao solo.



867 **Figura 5.** Eletroforese revelada para atividade de superóxido dismutase (SOD) em  
 868 extratos totais de folhas inoculadas ou não com *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* aos 7  
 869 e 14 dias após inoculação.

870 Tratamentos = -Si: 0,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>; +Si: 3,00 g kg<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>; NI: não inoculado com Aac;  
 871 I: Inoculado com Aac. Setas indicam diferentes isoformas de SOD.

872

873 **Tabela 1.** Desdobramento para Proteínas Solúveis Totais (PST) (mg P g MF<sup>-1</sup>) da  
 874 interação tripla envolvendo os fatores doses de SiO<sub>2</sub>, inoculação com *Acidovorax*  
 875 *avenae* subsp. *citrulli* e tempo de coleta de folhas em plantas de meloeiro

876

877

Tempo (dias)	Doses de SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		Inoculação
	0	3,0	
7	0,55aB	0,78aA	- Aac
	0,53aB	0,82aA	+Aac
14	0,63aB	1,45aA	-Aac
	0,66aA	0,72bA	+Aac

881 Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e pela mesma letra maiúscula, na linha, não  
 882 diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

883 Mg P g MF<sup>-1</sup>= miligramas de proteína por grama de matéria fresca.

884

885 **Tabela 2.** Desdobramento para enzima Peroxidase (POX) (UA mg P<sup>-1</sup>) da interação  
 886 tripla envolvendo os fatores dose de silício, inoculação com *Acidovorax avenae* e tempo  
 887 de avaliação em plantas de meloeiro

888

889

Tempo (dias)	Doses de SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		Inoculação
	0	3,0	
7	0,39aA	0,62aA	-Aac
	2,35aA	1,14aA	+Aac
14	0,73bA	0,26aA	-Aac
	10,23aA	1,17aB	+Aac

893 Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e pela mesma letra maiúscula, na linha, não  
 894 diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

895

896 **Tabela 3.** Desdobramento para enzima Peroxidase do Ascorbato (APX) (UA mg P<sup>-1</sup>) da  
 897 interação tripla envolvendo os fatores doses de SiO<sub>2</sub>, inoculação com *Acidovorax*  
 898 *avenae* e tempo de avaliação em plantas de meloeiro  
 899

Tempo (dias)	Doses de SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		Inoculação
	0	3,0	
7	1,70aA	1,04aA	-Aac
14	1,17aA	0,89aA	+Aac
	1,00bA	0,40aA	-Aac
	2,95aA	0,58aB	+Aac

904 Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e pela mesma letra maiúscula, na linha, não  
 905 diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

906 UA mg P<sup>-1</sup>= unidade de absorbância por miligrama de proteína.

907

908 **Tabela 4.** Correlações entre atributos de desenvolvimento da planta, atributos químicos  
 909 do solo e componentes epidemiológicos da mancha-aquosa  
 910

Atributos	Componentes da doença			
	AACPD	IDO (%)	PI (DIAS)	INC (%)
	Planta			
ALT	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>
MFPA	-0,59 <sup>**</sup>	-0,71 <sup>**</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>
MFR	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
MSPA	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>**</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
MSR	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
N	-0,64 <sup>**</sup>	-0,57 <sup>**</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>
P	-0,46 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>
K	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>
Mg	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
Ca	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
SiR	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
SiPA	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
S	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>
	Solo			
pH	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>
(Ca+Mg)	0,07 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>
Ca	0,08 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>
Na	0,09 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
K	0,05 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
P	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>
(H+Al)	0,12 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
Si	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>

923 \*\* significativo a 1% e \* 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste Mantel.

924 AACPD= Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença; IDO= Índice de Doença; PI= Período de  
 925 Incubação; INC= Incidência; ALT= Altura; MFPA= Matéria Fresca Parte Aérea; MFR= Matéria Fresca  
 926 Raiz; MSPA= Matéria Seca Parte Aérea; MSR= Matéria Seca da Raiz; SiR= Conteúdo de Silício na Raiz;  
 927 SiPA= Conteúdo de Silício Parte Aérea.  
 928  
 929  
 930  
 931



## INSTRUÇÕES GERAIS

- 932
- 933
- 934 **Originais:** uma via e um CD com texto e ilustrações
- 935 **Língua:** Inglês
- 936 Processador de texto: Word for Windows
- 937 Espaçamento do texto: 1/2, margens laterais de três centímetros
- 938 Papel: formato A4, com linhas numeradas
- 939 Fonte: Times New Roman, tamanho 12
- 940 Número de páginas: até 30 páginas, numeradas consecutivamente, incluindo as
- 941 ilustrações
- 942
- 943 **APRESENTAÇÃO DA PÁGINA DE ROSTO**
- 944 a. título do artigo (máximo de 15 palavras)
- 945 b. nome(s) do(s) autor(es), indicar com asterisco o autor correspondente
- 946 c. filiação científica do(s) autor(es), mencionando Instituição/Departamento/Seção
- 947 d. e-mail do autor correspondente
- 948
- 949 **APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DO ARTIGO**
- 950 a. Não colocar nomes dos autores.
- 951 b. Título em inglês, abstract (no máximo 250 palavras) e key words (máximo de
- 952 cinco)
- 953 c. Título, Resumo e Palavras-chave
- 954 d. Introdução (contendo revisão de literatura) máximo 25 linhas
- 955 e. Material e Métodos
- 956 f. Resultados e Discussão
- 957 g. Conclusões (opcional)
- 958 h. Agradecimentos
- 959 i. Referências Bibliográficas
- 960 j. O título, Resumo e Palavras-chave deverão também ser feitos em português
- 961
- 962 **CITAÇÕES DO TEXTO**
- 963 a. as citações de autores no texto são em letras minúsculas, seguidas do ano de
- 964 publicação
- 965 b. no caso de dois autores, usar & ("e" comercial)
- 966 c. havendo mais de dois autores, é citado apenas o sobrenome do primeiro, seguido
- 967 de et al. (não itálico)
- 968 d. Não serão aceitas citações de comunicações pessoais e artigos no prelo.
- 969
- 970 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
- 971 As referências são normalizadas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas -
- 972 ABNT (NBR 6023). Devem ser apresentadas em:
- 973 • ordem alfabética pelo sobrenome do autor
- 974 • dois ou mais autores, separar por (;)
- 975 • os títulos dos periódicos não devem ser abreviados
- 976
- 977

978  
979  
980  
981  
982  
983  
984  
985  
986  
987  
988  
989  
990  
991  
992  
993  
994  
995  
996  
997  
998  
999  
1000  
1001  
1002  
1003  
1004  
1005  
1006  
1007  
1008  
1009  
1010  
1011  
1012  
1013  
1014  
1015  
1016  
1017  
1018  
1019  
1020  
1021  
1022  
1023  
1024  
1025  
1026  
1027

**a. Artigos de periódicos**

WULFF, N.A.; PASCHOLATTI, S.F. Preparações de *Saccharomyces cerevisiae* licitoras de fitoalexinas em mesocótilos de sorgo. *Scientia Agricola*, v.55, p.138-143, 1998.

**Publicados online**

ALMEIDA, F.T.; BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; MARTINS, S.L.D.; GRIPPA, S. Growth and yield of papaya under irrigation. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, p.419-424, 2003. Available at: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=ci\\_issuetoc&pid=0103-901620030003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=ci_issuetoc&pid=0103-901620030003&lng=pt&nrm=iso). Accessed 04 Sept. 2003.

**b. Livros**

PINDYC, R.S.; RUBINFELD, D.L. *Econometric models and economic forecasts*. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 596p.

**c. Capítulos de livros**

FRIED, W.M.; WARNER, J.R. Organization and expression of eukaryotic ribosomal protein genes. In: STEIN, G.S.; STEIN, J.L., (Ed.) *Recombinant DNA and cell proliferation*. Orlando: Academic Press, 1984. cap.1, p.169-192.

**d. Eventos (considerados em parte)**

CHANDRA, S. Tropical crop statistic: a world perspective. In: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TROPICAL ROOT CROPS, 6., Lima, 1983. *Proceedings*. Lima: International Potato Center, 1984. p.41-46.

**e. Teses e Dissertações**

ZUCCHI, R.A. Taxonomia de espécie de *Trichogramma* (Hym. Trichogrammatidae) associada a algumas pragas (Lepidoptera) no Brasil. Piracicaba: USP/ESALQ, 1985. 77p. (Livre-Docência).

**f. Citação de resumo**

DAHM, H. Metabolic activity of bacteria isolated from soil, rhizosphere and mycorrhizosphere of pine (*Pinus sylvestres* L.). *Acta Microbiologica Polonica*, v.33, n. 2, p.157-162, 1984. / Resumo 294 em *Soils and Fertilizers*, v.48, p.33, 1985/.

**TABELAS E FIGURAS**

- **Tabelas:** Numeradas com algarismos arábicos, devem ser apresentadas no módulo tabela do MS Word ou MS Excel. O título deve ficar acima.
- **Figuras/Gráficos:** Numeradas com algarismos arábicos, devem ser apresentadas em MS Excel. O título deve ficar abaixo.
- **Fotografias:** Devem ser fornecidas no formato tif (300DPI) e também no formato original em papel fotográfico. Fotografias aparecerão como figuras no formato final do artigo e seguirão a numeração das figuras.

**NOMENCLATURA CIENTÍFICA**

- A nomenclatura científica deve ser citada segundo os critérios estabelecidos nos Códigos Internacionais em cada área.



- 1028 • Unidades e Medidas devem seguir o Sistema Internacional.  
1029 • Os conceitos e opiniões contidos nos artigos são de exclusiva responsabilidade dos  
1030 autores.

1031

### 1032 **ENCAMINHAMENTO DE ARTIGOS**

1033

1034 Na carta de encaminhamento do manuscrito deverão constar a assinatura, o CPF e o  
1035 endereço eletrônico de todos os autores, mais o endereço postal e telefone do autor  
1036 correspondente.

1037

1038 Encaminhar para

1039 USP / ESALQ / SCIENTIA AGRICOLA

1040 Comissão Editorial

1041 Av. Pádua Dias, 11 – Cx,P. 9

1042 CEP – 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil

1043 Tel/Fax: 19 3429-4401

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

## CONCLUSÕES GERAIS

1078  
1079  
1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085  
1086  
1087  
1088  
1089  
1090  
1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103

- 1) A fertilização silicatada foi eficiente em corrigir a acidez do solo, disponibilizando nutrientes como Ca e Mg, e, ainda fornecendo Si ao solo.
- 2) Aplicação de Si via solo foi eficiente no controle da mancha-aquosa do meloeiro, destacando-se a maior dose de SiO<sub>2</sub> utilizada (3,00 g kg<sup>-1</sup>).
- 3) As plantas supridas com Si apresentaram melhor estado nutricional e de desenvolvimento com acúmulo de Ca, Mg e Si na parte aérea.
- 4) Não houve efeito do Si no crescimento *in vitro* da bactéria Aac.
- 5) Houve ativação e potencialização dos mecanismos de resistência do meloeiro pelo Si, o que somado ao estado nutricional e de desenvolvimento, conferiu resistência da planta a mancha-aquosa.
- 6) O controle da mancha-aquosa foi resultado do conjunto de benefícios proporcionados pela adição do Si ao solo. Portanto, o uso de Si no manejo integrado da doença é uma alternativa promissora para os produtores de melão.