



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL  
DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM FITOPATOLOGIA

**Tese de Doutorado**

**USO DO SILÍCIO NA MICROPROPAGAÇÃO  
VISANDO O MANEJO DA MURCHA-DE-  
FUSÁRIO E DO MOKO DA BANANEIRA**

**Christtianno de Lima Rollemberg**

**Recife-PE**

**Abril-2013**

**CHRISTTIANNO DE LIMA ROLLEMBERG**

**USO DO SILÍCIO NA MICROPROPAGAÇÃO VISANDO O  
MANEJO DA MURCHA-DE-FUSÁRIO E DO MOKO DA  
BANANEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Fitopatologia.

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rosa de Lima Ramos Mariano

Co-orientadoras: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elineide Barbosa de Souza

Dr<sup>ª</sup>. Andréa Cristina Baltar Barros

**Recife-PE**

**Abril-2013**

Ficha catalográfica

R749u Rollemberg, Christtianno de Lima  
Uso do silício na micropropagação visando o manejo da  
murcha-de-fusário e do moko da bananeira / Christtianno de  
Lima Rollemberg. – Recife, 2013.  
103 f. : il.

Orientadora: Rosa de Lima Ramos Mariano.  
Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de  
Agronomia, Recife, 2013.  
Referências.

1. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* 2. Mal do  
pananá  
3. *Musa* spp. 4. *Raestonia solanacearum* 5. Murcha  
bacteriana 6. Resistência I. Mariano, Rosa de Lima Ramos,  
orientadora II. Título

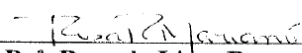
CDD 632

**Uso do silício na micropropagação visando o manejo da murcha-de-  
fusário e do moko da bananeira**

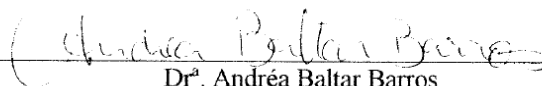
**CHRISTTIANNO DE LIMA ROLLEMBERG**


Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 30 de abril de 2013.

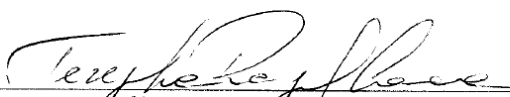
**ORIENTADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª Dr.ª. Rosa de Lima Ramos Mariano**

**EXAMINADORES:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.ª. Andréa Baltar Barros**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.ª. Janaina Cortez de Oliveira**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª Dr.ª. Terezinha Rangel Camara**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.ª. Dr.ª. Sônia Maria Alves de Oliveira**

**RECIFE-PE**  
**Abril, 2013**

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo  
e nunca se arrepende.”*

Leonardo da Vinci

*Aos meus queridos irmãos, Christianni Rollemberg e Edgard Rollemberg Filho, a minha cunhada Sara Tavares Rollemberg, a minha eterna babá, Rozalina Santos, ao meu avô Rodrigo Lima (in memoriam) e minhas estimadas avós, Emília e Amelinha Freitas, pelo apoio, incentivo, amor e compreensão em todos os momentos.*

### **OFEREÇO**

*Aos verdadeiros amores da minha vida, meus pais Edgard Rollemberg (in memoriam) e Vivian de Lima Rollemberg, pelo exemplo de vida, caráter, dedicação e amor, meu eterno agradecimento.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e força suprema nos momentos difíceis desta minha caminhada.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela formação acadêmica oferecida, por todo acolhimento, serviços prestados e estrutura cedida para estudos, pesquisas e demais atividades.

Às Professoras Dra. Rosa de Lima Ramos Mariano e Dra. Elineide Barbosa de Souza, pelo empenho, atenção, dedicação, amizade, orientação acadêmica e valiosos ensinamentos, que muito contribuíram para minha formação profissional.

Ao Departamento de Agronomia da UFRPE, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

Aos professores que compõem o Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da UFRPE, pelos ensinamentos transmitidos com seriedade e compromisso.

À Dra. Andréa Cristina Baltar Barros e a Professora Terezinha Camara, pela valiosa colaboração, disponibilidade e paciência durante a execução deste trabalho.

Ao Centro de Tecnologia Estratégicas do Nordeste (CETENE) por todo acolhimento, serviços prestados e estrutura cedida para estudos, pesquisas e demais atividades.

Aos pesquisadores, funcionários e estagiários da Biofábrica Governador Miguel Arraes do CETENE, em especial ao Odemar Júnior Reis, Maria do Carmo Barreto (Carminha), Ramon Tenório e Patrícia Dantas. Também ao Emmanuel Cabral, pela ajuda na preparação e estabelecimento dos experimentos iniciais. Obrigado a vocês pela disposição em todos os momentos que precisei.

Ao amigo pesquisador do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Manoel Urbano Ferreira Filho, pela valiosa colaboração e disponibilidade durante a execução deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão de bolsa de estudo.

Meu grande agradecimento a toda equipe que compõe o Laboratório de Fitobacteriologia, pela valiosa ajuda em todos os momentos durante a execução deste trabalho.

Aos amigos, Agna Rodrigues, Alessandra Garcia, Ana Ramos, Antonio Neto, Bruno Fornari, Camila Lage, Cléia Cabral, Conrado Queiroz, Cristiane Lima, Emmanuelle Rodrigues, Erika Graciano, Felipe Vianna, Gilberto Neto, Gilberto Vieira, Hailson Alves, Iguacu Candido, Isabella Carvalho, Jan Mayan Bandeira, Janaína Oliveira, Kátia Cilene Félix, Luiz Gustavo Melo, Marcos C. Xavier, Mayumi Inokuti, Philipe Urquiza, Rejane Carvalho, Sidney Novaes, Susan Tsuji, Susana Nóbrega, Sterpaula Jales, Waléria Guerreiro, Wiler Ribas e Willams Oliveira minha imensa gratidão, pelo companheirismo de todos os momentos dessa trajetória, amizade e toda força recebida.

Ao meu grande amigo, pai orquidófilo, Odilon Cunha, pela atenção, conselhos e disposição em todos os momentos que precisei. Obrigado pela força e pela amizade!

Finalmente, a todos que, de uma forma ou de outra, participaram de todos os momentos vividos nessa jornada, minha eterna gratidão.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	x
GENERAL ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I .....	14
Introdução .....	15
Cultura da Bananeira .....	15
Murcha-de-fusário .....	18
Moko da Bananeira.....	22
Controle Alternativo .....	25
Silício no controle de doenças de plantas .....	26
Uso do silício na micropropagação .....	32
Referências Bibliográficas.....	34
CAPÍTULO II.....	48
Silício na micropropagação de bananeira visando o manejo da murcha-de-fusário .....	49
Resumo .....	49
Introdução.....	50
Material e Métodos.....	52
Micropropagação das bananeiras ‘Maçã’ e Pacovan Ken’ com silício .....	52
Infestação do solo e quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ à murcha-de-fusário.....	53
Concentração de silício nos tecidos vegetais.....	54
Análises anatômicas das raízes.....	55
Análises estatísticas .....	55
Resultados.....	56
Quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ a murcha-de-fusário.....	56
Concentração de silício nos tecidos vegetais.....	56
Análises anatômicas das raízes.....	57
Discussão .....	58
Agradecimentos .....	63
Referências bibliográficas .....	63
CAPÍTULO III .....	74
Silício na micropropagação visando o manejo do moko da bananeira.....	72
Resumo .....	75
Introdução.....	76



Material e Métodos.....	78
Micropropagação das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ com silício.....	78
Infestação do solo e quantificação dos componentes de resistência do moko da bananeira.....	79
Determinação das concentrações de clorofila no tecido foliar .....	79
Determinação de atividades enzimáticas .....	80
Análises estatísticas. ....	81
Resultados.....	81
Quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ ao moko da bananeira .....	81
Determinação dos teores de clorofila no tecido foliar .....	82
Determinação de atividades enzimáticas .....	83
Discussão .....	85
Agradecimentos .....	91
Referências Bibliográficas.....	91
Conclusões Gerais .....	103

## RESUMO GERAL

Este estudo avaliou o uso do silício (Si) na micropropagação de bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ visando a redução da severidade da murcha-de-fusário, causada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* e do moko da bananeira causado por *Ralstonia solanacearum* raça 2. As mudas de bananeira foram produzidas *in vitro* com adição de silicato de cálcio e silicato de potássio (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup>) ao meio de cultivo MS nas fases de multiplicação e enraizamento. Após o cultivo *in vitro*, as plantas foram transferidas para tubetes contendo substrato acrescido das mesmas fontes de Si, e mantidas em casa de vegetação por 45 dias, quando foram inoculadas com os patógenos. Com relação à murcha-de-fusário, nas cultivares Maçã e Pacovan Ken, a elevação das doses de Si aumentou o período de incubação (PI) e reduziu o índice de doença (IDO) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Em ‘Maçã’ o silicato de cálcio foi significativamente mais eficiente que o silicato de potássio, o que não ocorreu na ‘Pacovan Ken’. A concentração de Si na parte aérea e raízes das cultivares, em ambas as fontes, antes e após a aclimatização foi maior na dose de 1,0 g L<sup>-1</sup> em relação à testemunha sem Si. Antes da aclimatização, o silicato de cálcio proporcionou maior concentração de Si na parte aérea que o silicato de potássio. O contrário aconteceu com a concentração de Si nas raízes. Após aclimatização, não houve diferença entre o silicato de cálcio e o silicato de potássio, para as duas cultivares. Em geral, para ambas as cultivares e fontes de Si foram observadas correlações positivas da concentração de Si com PI e correlações negativas com IDO e AACPD. Antes e após a aclimatização das plantas, as espessuras da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ foram influenciadas pelas fontes de Si. O silicato de cálcio foi mais eficiente no aumento da espessura da epiderme radicular, córtex e cilindro central, enquanto o silicato de potássio foi mais eficiente no aumento da espessura da endoderme. Em geral, foram observadas correlações positivas das variáveis anatômicas das raízes com PI e correlações negativas com IDO e AACPD, exceto para silicato de potássio em bananeira ‘Maçã’. Na pesquisa desenvolvida com o moko da bananeira, a elevação das doses de Si nas cultivares Maçã e Pacovan Ken causou aumento no PI e reduções do IDO e AACPD. Na dosagem de 1,0 g L<sup>-1</sup>, a AACPD foi reduzida em até 27,3%. Em bananeira ‘Maçã’ o silicato de cálcio foi mais eficiente que o silicato de potássio

( $P \leq 0,05$ ), enquanto na ‘Pacovan Ken’ não houve diferença. Nas duas cultivares, plantas tratadas com Si apresentaram, de maneira geral, concentrações de clorofilas *a*, *b* e total maiores que as plantas Si- até os seis dias após inoculação, o que pode ter influenciado o PI da doença. Em geral, tanto as enzimas relacionadas ao estresse oxidativo (CAT, SOD e APX), quanto as de defesa da planta (POX, PFO, GLU e QUI), tiveram suas atividades aumentadas nos tratamentos com silício, especialmente naqueles com silicato de cálcio, indicando uma possível participação na redução da severidade da doença. O fornecimento de Si na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ promoveu redução da murcha-de-fusário e moko da bananeira, podendo ser utilizado como uma nova tecnologia no manejo dessas doenças.

**Palavras-chave:** *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Mal do Panamá, *Musa* spp., *Ralstonia solanacearum*, murcha bacteriana e resistência.

## GENERAL ABSTRACT

This study evaluated the use of silicon (Si) in micropropagation of banana 'Silk' and 'Pacovan Ken' aiming to reduce the severity of fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and moko disease caused by *Ralstonia solanacearum* race 2. The banana plantlets were produced in vitro by adding calcium silicate and potassium silicate (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 g L<sup>-1</sup>) to MS medium in the phases of multiplication and rooting. After in vitro culture, the plants were transferred to plastic tubes containing substrate plus the same sources of Si, and maintained in a greenhouse for 45 days, when they were inoculated with the pathogens. With respect to fusarium wilt in cultivars Silk and Pacovan Ken, the elevation of Si increased the incubation period (IP) and reduced the disease index (DI) and area under the disease progress curve (AUDPC). In cultivar Silk but not in Pacovan Ken calcium silicate was significantly more effective than potassium silicate. In shoots and roots of both cultivars in both sources, before and after acclimatization Si concentration was greater at a dose of 1.0 g L<sup>-1</sup> compared to the control without Si. Before acclimatization, calcium silicate provided higher Si concentration in the shoots than potassium silicate. The opposite happened with the Si concentration in the roots. After acclimatization, there was no difference between the calcium silicate and potassium silicate, for both cultivars. In general, for both cultivars and sources of Si there were positive correlations with the concentration of Si and IP, and negative correlations with DI and AUDPC. Before and after acclimatization, the anatomical variable of roots: thickness of the root epidermis, cortex, endodermis and central cylinder of banana 'Silk' and 'Ken Pacovan' were influenced by Si sources. Calcium silicate was more efficient in increasing the thickness of the root epidermis, cortex and central cylinder, while potassium silicate was more efficient in thickening of the endodermis. In general, there were positive correlations among anatomical variable of roots with PI and negative correlations with DI and AUDPC, except for potassium silicate in cultivar Silk. The research conducted with moko disease showed that increase of Si in Silk and Pacovan Ken cultivars caused increase in IP and decreases the DI and AUDPC. At the dosage of 1.0 g L<sup>-1</sup> AUCPD was reduced by 27.3%. In cultivar Silk, calcium silicate was more effective than potassium silicate ( $P \leq 0.05$ ), while in 'Pacovan Ken' there was no difference. In both cultivars, plants treated with Si showed, in general, concentrations of chlorophylls *a*, *b* and total higher than plants Si- up to six

days after inoculation, which may have influenced the disease IP. In general, both the enzymes related to oxidative stress (CAT, SOD and APX), as the plant defense (POX, PPO, CHI and GLU), had increased its activities in plants treated with Si, especially those with calcium silicate, indicating a possible role in reducing the severity of the disease. The supply of Si in micropropagation of banana 'Silk' and 'Pacovan Ken' promoted reduction of Fusarium wilt and moko disease, and therefore can be used as a new technology in the management of these diseases.

**Palavras-chave:** *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Panama disease, *Musa* spp., *Ralstonia solanacearum*, bacterial wilt, disease resistance.

# Capítulo I

---

*Introdução Geral*

# USO DO SILÍCIO NA MICROPROPAGAÇÃO VISANDO O MANEJO DA MURCHA-DE-FUSÁRIO E DO MOKO DA BANANEIRA

## INTRODUÇÃO

### 1. Cultura da Bananeira

O cultivo da bananeira (*Musa* spp.) apresenta uma posição de destaque na agricultura mundial, devido a sua grande importância no cenário econômico, no que se refere à produção e comercialização, caracterizando-se por ser cultivada durante todo o ano (AGRIANUAL, 2012).

Oriunda do Oriente, do sul da China ou da Indochina, a bananeira é uma planta típica das regiões tropicais úmidas, caracterizada como vegetal herbáceo completo, por apresentar raiz, tronco, folhas, flores, frutos e sementes. O tronco é representado pelo rizoma e o conjunto de bainhas das folhas de pseudocaule. A multiplicação se processa, naturalmente no campo, via propagação vegetativa, pela emissão de novos rebentos. Entretanto, o plantio também pode ser feito por meio de sementes, processo este usado mais frequentemente quando se pretende fazer a criação de novas cultivares ou híbridos (MOREIRA, 1999).

A bananeira apresenta um ciclo de vida definido, com desenvolvimento da planta, produção de frutos e posterior morte. De acordo com Dantas et al. (1999), as bananeiras produtoras de frutos comestíveis pertencem à classe Monocotyledonea, ordem Scitaminales, família Musaceae, subfamília Musoideae, gênero *Musa*, subgênero (ou seção) (Eu-) *Musa* com as espécies comestíveis *M. acuminata* Colla e *M. balbisiana* Colla.

Fruteira cultivada em mais de 120 países, a bananeira se destaca no contexto socioeconômico pelo alto valor nutritivo e comercial de seus frutos, associado ao seu baixo custo, estando entre as frutas frescas mais comercializadas do mundo. A produção mundial de banana em 2011 foi em torno de 96.795.747 t, sendo o Brasil o quinto maior produtor com 6.783.480 t, superado apenas pela Índia (26.996.600 t), Filipinas (9.013.190 t), China (9.006.450 t), e Equador (7.637.320 t) (AGRIANUAL, 2012). A produção de banana no Brasil teve um incremento de 2,6% entre os anos de 2009 e 2010, movimentando cerca de R\$ 3,7 bilhões, o que corresponde a 15,5% do valor total da produção da fruta. No Brasil, o cultivo da banana está entre as atividades de maior

importância na fruticultura, com aproximadamente 493 mil hectares plantados, justificados pela simplicidade, custo de implantação, manejo, ciclo e vida útil em comparação às outras frutíferas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

As regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, juntas, respondem por 69% da produção nacional de banana. O consumo efetivo desta fruta situa-se na faixa de 70% da produção total, visto que, embora as quantidades exportadas sejam mínimas, as perdas pós-colheita chegam a 30% da produção. Em 2009, os estados com maior produção foram: São Paulo (1.225.193 t), Bahia (1.152.892 t), Santa Catarina (675.704t), Minas Gerais (642.746 t) e Pará (531.927 t) (AGRIANUAL, 2012). O cultivo da banana apresenta em alguns estados elevada importância econômica e social, fixando mão-de-obra nos elos de sua cadeia produtiva, especialmente no segmento agrícola (SOUZA; TORRES FILHO, 1997).

A produção de banana no estado de Pernambuco vem crescendo em comparação à média brasileira. Pernambuco apresenta uma produtividade média de 10,2 t/ha, correspondendo a um aumento de 26% em relação à produtividade da Região Nordeste, o que se deve a produção no Vale do Submédio São Francisco (BARROS; LOPES; WANDERLEY, 2008). Além disso, a banana é cultivada em todas as microrregiões desse estado, gerando cerca de 80 mil postos de trabalho permanente no campo (LOPES et al., 2002).

Além dos genótipos do subgrupo Cavendish existente no Brasil (Tabela 1), há diversas cultivares de interesse comercial, levando-se em conta a preferência do consumidor (SOUTO et al., 1999). No Nordeste, no Vale do Submédio São Francisco são cultivadas a ‘Pacovan’, ‘Grande Naine’, ‘Nanica’, ‘Nanicão’, ‘Maçã’ e ‘Prata-Anã’. Entretanto predomina o plantio da Pacovan, com mais de 90% da área cultivada. Na última década, tem sido observado um crescente interesse, principalmente por cultivares de banana de porte menor. No entanto, o sucesso na produção da cultivar Maçã, está relacionado à maior longevidade do bananal quando a mesma é plantada em solos do tipo Vertissolo, associado à utilização de mudas micropropagadas (mudas obtidas por cultura de tecidos). Normalmente, nessas condições, a murcha-de-fusário, principal doença que afeta o cultivo da banana Maçã, começa a aparecer mais tardiamente (CORDEIRO; MATOS; MEISSNER FILHO, 2004).



**Tabela 1.** Características de algumas cultivares de bananeira plantadas no Brasil (CORDEIRO; MATOS; MEISSNER FILHO, 2004 modificada).

Cultivares	Grupo genômico	Subgrupo	Reação à doença <sup>1</sup>	
			Murcha-de-fusário	Moko
Pacovan	AAB	Prata	MS	S
Prata-Anã	AAB	Prata	MS	S
Nanica	AAA	Cavendish	R	S
Nanicão	AAA	Cavendish	R	S
Grande Naine	AAA	Cavendish	R	S
Maçã	AAB	---	S	S
Pacovan Ken	AAAB	---	R	S

<sup>1</sup> **S:** suscetível; **MS:** moderadamente suscetível; **R:** resistente.

A produção comercial de mudas de bananeira vem se destacando em virtude da obtenção de mudas de alta qualidade genética e fitossanitária, atributos fundamentais para o sucesso da cultura, por meio da cultura *in vitro* de ápices caulinares. Esta técnica tem sido empregada com sucesso em Israel, França, Costa Rica, Cuba, Austrália e Taiwan, possibilitando a produção de mudas micropropagadas praticamente livres de doenças e pragas (SOUZA; TORRES FILHO, 1997). O desenvolvimento dessa técnica é importante, por permitir a rápida multiplicação de novos clones de cultivares selecionadas e de híbridos obtidos a partir de programas de melhoramento genético (KRIKORIAN; CRONAUER, 1983). Mudas micropropagadas produzem 30% a mais do que mudas obtidas convencionalmente (SANADA, 1993). Além disso, permitem colheita sincronizada nos primeiros ciclos da cultura, graças à homogeneidade das mudas, e ainda possibilitam maior vigor das plantas, maior número de dedos por penca, maior número de pencas por cacho, menor variabilidade no tamanho e forma das frutas, e menor incidência de nematóides em áreas contaminadas (ORELLANA et al., 1991; QUYNH; UYEN, 1993).

Entre as doenças que acometem a bananicultura, a murcha-de-fusário e o moko da bananeira se destacam por serem as mais importantes do ponto de vista econômico, em razão das perdas ocasionadas e da dificuldade de controle.

## **2. Murcha-de-fusário**

A murcha-de-fusário, doença também conhecida por mal do Panamá ou fusariose da bananeira é causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E. F. Smith) Snyder e Hansen, sendo considerada uma das doenças mais destrutivas da bananicultura mundial (MATOS et al., 2001; PLOETZ, 2006). Essa espécie apresenta quatro raças distintas, que parasitam especificamente determinados grupos de cultivares e vêm causando grandes perdas na produção, devido à morte das plantas em campo (CORDEIRO; MATOS, 2003).

Acredita-se que a doença tenha surgido na região indo-malaia, centro de origem do gênero *Musa*, afetando cultivares suscetíveis, as quais posteriormente foram introduzidas no Novo Mundo a partir da África. A doença foi relatada pela primeira vez por volta de 1874, no sudeste de Queensland, Austrália, na cultivar Maçã. No entanto, os primeiros prejuízos importantes foram relatados no Panamá, em 1904, sendo esta a provável razão do nome mal do Panamá. Existem relatos de que, num período de 50 anos, mais de 40.000 ha com bananeiras foram abandonados devido à murcha-de-fusário em toda a América Central e do Sul. No Brasil, a murcha-de-fusário foi relatada em 1930 em Piracicaba, São Paulo. Desde então, pesquisas vêm sendo realizadas enfocando o controle desta doença (CORDEIRO; MATOS, 2003).

O fungo está distribuído em diferentes condições edafoclimáticas, infectando diversas cultivares de bananeiras e causando grandes prejuízos aos bananicultores (BORGES et al., 2007). Essa distribuição endêmica em todo o território nacional ocasionou problemas principalmente no grupo AAB nas cultivares Prata e Maçã. Essas cultivares são as mais apreciadas no mercado brasileiro, por apresentarem características organolépticas que agradam as exigências dos consumidores. No entanto, vêm perdendo espaço, gradativamente, para as bananas do grupo AAA, subgrupo Cavendish, como as cultivares Nanica e Nanicão que são resistentes à doença (CORDEIRO; MATOS, 2003).

*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pertence à classe dos Deuteromicetos, ordem Moniliales, família Tuberculariaceae, cuja forma perfeita não é conhecida (PEREIRA et al., 2003). Habitante do solo, o fungo apresenta alta capacidade de sobrevivência na ausência do hospedeiro, principalmente por formar estruturas de resistência, os clamidósporos, que permitem permanência no solo por até 30 anos (CORDEIRO; MATOS; MEISSNER FILHO, 2004; PLOETZ; THOMAS; SLABAUGH, 2003).

O patógeno possui quatro raças fisiológicas com especificidade patogênica distinta e distribuição geográfica relativamente restrita (PLOETZ, 1990). As raças 1, 2 e 4 afetam a bananeira, enquanto a raça 3 afeta *Heliconia* spp. (CORDEIRO; MATOS, 2003). A raça 1 é a mais encontrada infectando o subgrupo Gros Michel, Prata e a cultivar Maçã (PEREIRA et al., 2003); a raça 2 infecta apenas o subgrupo Bluggoe; e a raça 4 infecta os subgrupos Gros Michel, Bluggoe e Cavendish (STOVER, 1972; SUN; SU; KO, 1978). A constatação da raça 4 infectando Cavendish é preocupante uma vez que as cultivares pertencentes a este grupo são as mais cultivadas mundialmente. A raça 4 ainda não foi relatada em áreas de produção da América Latina, estando presente apenas nos países asiáticos. Essa raça foi dividida em raça 4 subtropical (ST4) e raça 4 tropical (TR4). Isolados de ST4 causam doença em bananeira do subgrupo Cavendish em regiões subtropicais, principalmente quando as plantas são expostas a estresses abióticos. Já isolados da TR4 afetam o subgrupo Cavendish tanto em condições tropicais quanto subtropicais (BUDDENHAGEN, 2009). A raça TR4 já foi relatada na Malásia, Indonésia, Sul da China, Filipinas e no Norte de Austrália, causando severos danos nas variedades do subgrupo Cavendish (BUDDENHAGEN, 2009; MOLINA et al., 2008; PLOETZ, 2006).

Dentre as diversas formas de disseminação do patógeno, como água de irrigação, movimentação do solo pela ação antrópica, por animais e equipamentos, a mais importante delas consiste no método convencional de propagação de bananeira a partir de mudas “chifrinho” retiradas das plantas adultas (CORDEIRO; MATOS; MEISSNER FILHO, 2004). No entanto, a micropropagação tem sido uma técnica eficiente na produção de mudas com alto padrão fitossanitário e de homogeneidade.

A penetração do patógeno ocorre por ferimentos nas raízes causados por nematóides, insetos que tenham tido contato com plantas infectadas, pelas águas das chuvas ou de irrigação. O patógeno invade o sistema radicular, coloniza o cilindro central do rizoma e segue para as bainhas das folhas (SILVA, 2007).

As plantas infectadas por *F. oxysporum* f. sp. *cubense* apresentam sintomas externos e internos. Os sintomas externos iniciam-se com um amarelecimento que progride das folhas mais velhas para as mais novas, iniciando pelos bordos do limbo foliar e evoluindo no sentido da nervura principal. Com o progresso da doença, as folhas murcham, secam e se quebram junto ao pseudocaule. Em consequência, fica pendente, o que dá à planta a aparência de um guarda-chuva fechado (Figura 1A). Frequentemente, observa-se que as folhas centrais das bananeiras permanecem eretas mesmo após a morte das mais velhas, podendo ser observado ainda em plantas infectadas os sintomas de estreitamento do limbo das folhas mais novas, engrossamento das nervuras e, eventualmente, necrose do cartucho. Próximo ao solo é comum observar-se rachaduras do feixe de bainhas, cuja extensão varia com a área afetada no rizoma. Os sintomas internos são verificados através de corte transversal ou longitudinal do pseudocaule, que apresenta uma descoloração pardo-avermelhada provocada pela presença do patógeno nos vasos. Decorridas algumas semanas do início da doença, estas manchas avançam irregularmente pelo pseudocaule acima, até atingirem a roseta foliar. O corte longitudinal mostra as linhas de sintomas que começam na base e estendem-se em direção ao ápice da bainha. Em estádios mais avançados da doença, os sintomas de descoloração vascular podem ser observados também na nervura principal das folhas. O corte transversal do rizoma revela a presença do patógeno pela descoloração pardo-avermelhada exibida, cuja intensidade é maior na área de vascularização densa, onde o estelo ou cilindro central se junta ao córtex (Figura 1B e 1C) (CORDEIRO; MATOS, 2003; MOREIRA, 1999).



**Figura 1.** Sintomas da murcha-de-fusário: (A) amarelecimento das folhas; (B) vista longitudinal, com descoloração do tecido vascular; (C) corte transversal, descoloração pardo-avermelhada do tecido vascular.

A manifestação dos sintomas numa fase adiantada do desenvolvimento da cultura, e principalmente a capacidade do patógeno em ser habitante do solo e produzir clamidósporos, que sobrevivem neste habitat por mais de 20 anos, na ausência do hospedeiro, dificultam bastante o controle da doença (STOVER, 1972; VENTURA; HINZ, 2002).

Os principais métodos de controle utilizados para a murcha-de-fusário são: exclusão do patógeno em áreas livres da doença pelo uso de mudas saudáveis e cultivo de variedades resistentes (CORDEIRO; MATOS, 2003), embora esta já não seja a melhor abordagem considerando que há raças do patógeno. Neste caso, principalmente para a raça TR4 que ainda não existe na América Latina, o controle deve se basear nos princípios de exclusão e erradicação (PLOETZ, 2006). Entretanto, *F. oxysporum* f. sp. *cubense* sobrevive no solo e após o seu estabelecimento neste habitat é praticamente impossível erradicá-lo (PLOETZ, 1990). A aplicação de fungicidas (PLOETZ, 2006), a rotação de culturas e inundação do solo (CORDEIRO; MATOS, 2003) não têm se mostrado práticas efetivas de controle da doença.

### 3. Moko da Bananeira

O moko ou murcha bacteriana da bananeira, causado por *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al. raça 2, afeta *Musa* spp. e helicônias (*Heliconia* spp.) (HAYWARD, 1994). Essa bactéria tem sido descrita como um dos patógenos bacterianos mais importantes do mundo, capaz de causar danos em cerca de 450 espécies de plantas pertencentes a mais de 54 famílias botânicas, entre as quais, culturas de alto valor econômico, como bananeira, tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), batateira (*Solanum tuberosum* L.), berinjela (*Solanum melongena* L.) e pimentão (*Capsicum annuum* L.) (XU et al., 2009).

A bactéria já foi relatada e está presente em vários países como: Belize, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guianas, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Peru, Suriname, EUA e Venezuela, nas Américas; Etiópia, Líbia, Malawi, Nigéria e Senegal na África e Índia; Filipinas, Indonésia, Malásia, Tailândia e Vietnam, na Ásia (EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2006). No entanto, apesar do agente etiológico estar presente em diversas áreas produtoras, a doença possui uma distribuição restrita (CORDEIRO; MATOS, 2003). Isto se deve à presença de linhagens do patógeno que não atacam a bananeira, ficando a doença restrita ao hemisfério ocidental e Filipinas (WICKER et al., 2007).

No Amazonas, o moko da bananeira foi detectado em 2001 em cinco dos 15 municípios visitados, com prevalência variando entre 11 a 100% das propriedades (COELHO NETTO; NUTTER JR., 2005). No Nordeste foram detectados focos do moko da bananeira na Paraíba, Ceará (PONTE; FREIRE, 1972), Sergipe (CARES, 1988) e Alagoas (TAKATSU, 2001). Em Sergipe a detecção foi feita em 1987, em áreas irrigadas do Projeto Cotinguiba, município de Propriá, bem como no Projeto Betume do município de Neópolis. Estes focos foram erradicados na ocasião e a área ficou sob vigilância fitossanitária (SILVA, 1997). O moko da bananeira continua ocorrendo na região do baixo São Francisco sergipano, porém com baixa prevalência, indicando que aquele foco está sob satisfatório controle quarentenário (TALAMINI et al., 2010). Em Alagoas, a doença foi detectada no município de Igreja Nova, onde foi erradicada e está atualmente sob monitoramento (AMORIM et al., 2006).

*Ralstonia solanacearum* é habitante do solo, onde sobrevive favorecida por condições de umidade elevada, enquanto períodos secos reduzem a viabilidade dos propágulos do patógeno e diminuem a intensidade da doença. No estado do Amazonas, o moko está associado a plantações de bananeiras sujeitas a inundações periódicas (COELHO NETTO; NUTTER JR., 2005). Na ausência da hospedeira, a sobrevivência do patógeno diminui com o tempo, não dependendo do tipo de solo (PEREIRA; NORMANDO, 1993). Outro reservatório importante de *R. solanacearum* são as plantas voluntárias e invasoras hospedeiras, que permitem a multiplicação e sobrevivência da bactéria por muitos anos no solo, onde contribuem para manutenção dos níveis populacionais da bactéria e atuam como fonte alternativa de inóculo (JABUONSKI; HIDALGO, 1987).

A disseminação de *R. solanacearum* raça 2 pode ocorrer de diferentes formas, entre as quais se destacam o uso de ferramentas infectadas durante os tratos culturais, contato entre raízes e entre solo-raiz, mudas infectadas, água de superfície, insetos visitantes de inflorescências como as abelhas (*Trigona* spp.), vespas (*Polybia* spp.) e moscas das frutas (*Drosophila* spp.) (CORDEIRO; MATOS, 2003), nematóides e o homem (KELMAN; JESEN, 1954).

Este patógeno é altamente destrutivo ocasionando sintomas em todos os órgãos da planta e que podem refletir na perda total da produção (COELHO NETTO; ASSIS, 2002). Os sintomas do moko da bananeira manifestam-se principalmente por murcha, amarelecimento e necrose das folhas, o que depende da idade da planta, cultivar, condições ambientais e agressividade do isolado. Em plantas que ainda não entraram em produção, iniciam-se pelas folhas mais centrais e evoluem para as demais, que podem curvar-se dorsalmente, provocando a quebra do pecíolo, sendo a folha mais velha a última a sucumbir. Nas brotações novas, surgem sintomas de enegrecimento e distorção, com folhas de coloração amarelada e escura (Figura 2A). A descoloração vascular na parte interna do pseudocaule concentra-se próxima ao centro e os frutos apresentam um amarelecimento externo, acompanhado internamente, por uma podridão seca, firme e de coloração parda (Figura 2B). Em plantas infectadas na fase de produção, os cachos mostram amadurecimento prematuro em frutos isolados, seguindo-se escurecimento e apodrecimento (AGRIOS, 2005; CORDEIRO; MATOS, 2003).





Fotos: José R. Vieira (Embrapa Rondônia)

**Figura 2.** Sintomas do moko da bananeira: (A) plantas murchas, amarelecimento, necrose e seca das folhas; (B) frutas prematuras com descoloração vascular e podridão seca.

A bactéria está classificada no domínio Bacteria, filo Proteobacteria, classe  $\beta$ -Proteobacteria, ordem Burkholderiales, família Burkholderiaceae (EUZÉBY, 2009). Apresenta-se como bastonete reto ou levemente curvo, Gram-negativa, não forma esporo, não produz pigmento fluorescente. Isolados virulentos são essencialmente não flagelados e não móveis, enquanto os isolados avirulentos são móveis por meio de um a quatro flagelos polares.

Por apresentar uma alta diversidade patogênica, a *R. solanacearum* tem sido considerada um complexo de espécies, ou seja, um grupo heterogêneo de isolados relacionados (GILLINGS; FAHY, 1994). É classificada ao nível infraespecífico em cinco raças (HE; SEQUEIRA; KELMAN, 1983) e seis biovars (HAYWARD, 1964). As raças são diferenciadas pela gama de hospedeiros (HE; KELMAN; SEQUEIRA, 1983). A raça 1 compreende isolados que infectam o maior número de culturas, desde solanáceas até outras famílias botânicas. Na raça 2 encontram-se os isolados que afetam as bananeiras triploides (banana comestível e banana subgrupo Terra ou Plátano) e helicônias (HAYWARD, 1994); enquanto que na raça 3 estão os isolados que colonizam especificamente a batateira e ocasionalmente o tomateiro, mas não colonizam outras culturas (BUDDENHAGEN; SEQUEIRA; KELMAN, 1962). As



raças 4 e 5 infectam o gengibre (*Zingiber officinale* L.) e a amoreira (*Morus nigra* L.), respectivamente (HAYWARD, 1994).

Atualmente, *R. solanacearum* é classificada em quatro níveis taxonômicos: espécie, filotipo, sequevar e clone. Entretanto, os sistemas de raças, biovares e biotipos são também utilizados pela comunidade científica, pela praticidade dos métodos (FEGAN; PRIOR, 2005; GILLINGS; FAHY, 1994). A classificação em filotipo é determinada por PCR-multiplex, baseada nas variações de tamanho da sequência na região ITS, gene hrpB e do gene Egl, estando fortemente relacionada à origem geográfica do patógeno. Existem quatro filotipos. O filotipo II inclui os isolados da raça 2 de banana. Cada filotipo possui um número de sequevares. Um sequevar é definido como um grupo de isolados com uma sequência altamente conservada, analisada pelo sequenciamento do gene da endoglucanase (egl). Xu et al. (2009) na China, identificaram 51 sequevares. A utilização de técnicas que mostram diferenças no genoma, tais como Rep-PCR, RAPD, AFLP e PFGE, permite a separação dos grupos de *R. solanacearum* em linhagens clonais ou clones (FEGAN; PRIOR, 2005; HORITA; ; IVEY et al., 2007; TSUCHIYA, 2001).

O controle de *R. solanacearum* é extremamente difícil, principalmente devido à ampla gama de hospedeiros, alta variabilidade genética e sobrevivência no solo por longos períodos em grandes profundidades, tornando o controle químico inviável e antieconômico (HAYWARD, 1994; LOPES; QUEZADO-SOARES, 1997). Em áreas indenes, o controle deve ser fundamentado nos princípios de exclusão e caso haja ocorrências esparsas, erradicação. Os métodos de controle existentes são fundamentados em práticas culturais, tais como: eliminação de ráquis florais, plantas ou materiais vegetativos contaminados e ensacamento dos frutos (BRINGEL; TAKATSU; UESUGI, 2001; CORDEIRO; MATOS, 2003).

#### **4. Controle Alternativo**

As doenças de plantas sempre foram motivos de grandes preocupações devido às perdas que causam, principalmente em culturas de expressão econômica. Os fungicidas apesar de serem considerados insumos importantes e imprescindíveis para a produção mundial de alimentos (MARQUES et al., 2002), são ineficientes em vários casos. O Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo e a utilização demasiada de

defensivos na agricultura tem como consequências, a contaminação de água, animais, alimentos, solo e do próprio homem (KUNGLER, 2012; PONTES, 2000). Nos últimos anos, o número de pesquisas sobre o controle de doenças através da utilização de produtos alternativos, em substituição aos agrotóxicos, tem aumentado devido ao entendimento da importância dessas consequências para o futuro do planeta Terra (VERZIGNASSI et al. 2003).

No cultivo da bananeira, as doenças constituem a maior preocupação, devido ao elevado nível de perdas que causam com destaque para as vasculares, tais como a murcha-de-fusário e o moko da bananeira. A murcha-de-fusário tem dizimado áreas extensas de bananais em todo o país, notadamente da cultivar Maçã, de grande consumo popular, enfatizando-se que as cultivares resistentes, geralmente, não têm boa aceitação pelo consumidor. Em relação ao moko da bananeira, além de apresentar problemas semelhantes à murcha-de-fusário, até o momento não se tem nenhuma alternativa genética para o controle (PEREIRA et al., 2003). Para ambas, a prevenção da doença é dificultada pelo desconhecimento, por parte dos produtores, sobre a ecologia e epidemiologia do patógeno. Desta forma, torna-se imperativo a implementação de ações no sentido de proteger a bananicultura nacional contra estas duas importantes doenças.

Uma das opções promissoras para esta proteção é uso de nutrientes minerais, os quais exercem funções específicas no metabolismo vegetal, afetando o crescimento e a produtividade das culturas. Apesar de geneticamente controlada, a resistência das plantas às doenças pode ser influenciada pelos fatores ambientais. A nutrição mineral é um fator ambiental de fácil manipulação visando o controle de doenças de plantas. Os nutrientes podem alterar a morfologia, a anatomia celular e a composição química das células, podendo aumentar ou reduzir a expressão da resistência das plantas aos patógenos (MARSCHNER, 1995).

#### **4.1. Silício no controle de doenças de plantas**

Embora o silício (Si), seja um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre (EPSTEIN, 1999), não é considerado agronomicamente essencial, mas benéfico, apresentando efeitos positivos somente para algumas espécies vegetais e sob condições especiais de cultivo (EPSTEIN; BLOOM, 2005; MARSCHNER, 1995).

O Si não é considerado elemento essencial às plantas porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade (MENGEL; KIRKBY, 2001). De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é considerado essencial quando, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, não pode ser substituído por nenhum outro elemento, tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce nenhum papel neutralizador de efeito físico, químico ou biológico desfavoráveis para a planta (MALAVOLTA, 1980).

Dentre os benefícios potencializados pelo Si às plantas destacam-se: aumento no conteúdo de fósforo nos tecidos vegetais, devido à melhor disponibilidade desse elemento no solo e pela sua maior mobilidade das raízes para o colmo; melhoria no aproveitamento da água com conseqüente diminuição na taxa de transpiração; aumento da rigidez das folhas, das bainhas foliares e do colmo, tornando-os mais eretos e com maior área fotossintética; e redução no número de grãos quebrados (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; EPSTEIN, 2001). A maioria das plantas tem capacidade de acumular silício principalmente na parte aérea, a qual desempenha papel importante na resistência a estresse biótico e abiótico (CHIBA et al., 2009).

Esse elemento mineral não é encontrado livre na natureza e sim combinado com óxidos de alumínio, ferro e manganês, e silicatos  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$  que totalizam 60% da fração sólida do solo. Solos tropicais e subtropicais sujeitos ao intemperismo intenso e à lixiviação, cultivados em sucessão, tendem a apresentar baixos níveis de Si, num processo conhecido como dessilicificação. Embora o principal reservatório desse mineral seja a fase sólida do solo, a fonte para a absorção imediata de Si pelas raízes das plantas é a solução do solo onde o Si pode ser encontrado na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), com concentrações variando entre 3,5 e 40  $\text{mg L}^{-1}$  de Si (EPSTEIN, 1999; MARSCHENER, 1995).

A absorção de Si pela planta é favorecida pela disponibilidade de água no solo, por aumentar a liberação desse elemento na solução e favorecer o fluxo de massa até as raízes (CASEY et al., 2003). Embora todas as plantas cresçam com o sistema radicular em contato com Si na solução do solo e este elemento possa estar em elevadas concentrações, o acúmulo nos tecidos vegetais varia significativamente, de 0,1 a 10% da matéria seca. Isto se deve efetivamente à habilidade diferencial do sistema radicular das

espécies em absorver o Si a partir da solução do solo e transportá-lo (MA; YAMAJI, 2006; MITANI; MA, 2005). A maioria das espécies vegetais absorve Si por difusão passiva, ou seja, o Si é levado através do xilema para a parte aérea pelo fluxo de transpiração. Entretanto espécies das famílias Poaceae, Equisetaceae e Cyperaceae absorvem Si de forma ativa, via receptores específicos de membrana, chamados transportadores de influxo, como o Ls1 (MA; YAMAJI, 2006, 2008). Este processo pode ser ativado por estresses biótico e abiótico (BÉLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; CURRIE; PERRY, 2007).

Plantas acumuladoras de Si são aquelas cujos teores de SiO<sub>2</sub> variam de 1 a 3% na matéria seca e, não acumuladoras, aquelas com menos de 0,5% de SiO<sub>2</sub> (MARSCHNER, 1995). Na bananeira, espécie tipicamente acumuladora de silício (SOUZA JÚNIOR et al., 2008), na qual esse elemento se distribui entre o pseudocaule, pecíolo, nervura central e folhas, acumulando-se principalmente nas folhas mais velhas por transpiração (HENRIET et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010). Outros processos como a forma ativa também podem estar envolvidos na regulação do transporte e acúmulo do Si (BÉLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; CURRIE; PERRY, 2007).

O processo de absorção do Si ocorre pelas raízes, na forma de ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), molécula de carga neutra que é transportada até a parte aérea pelo xilema. A polimerização do ácido monossilícico forma a sílica amorfa hidratada (SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O), depositada nos diferentes tecidos vegetais (MA; YAMAJI, 2006). O transporte à longa distância, da raiz à parte aérea, é feito via apoplasto (OLIVEIRA et al., 2010). O Si pode ser absorvido via foliar por meio do transportador Lsi6 que se localiza no lado adaxial das células do parênquima do xilema na bainha da folha (MITANI; YAMAJI; MA, 2009). No entanto, a absorção radicular de Si é mais eficiente do que a absorção foliar, conferindo mais resistência a fatores bióticos, a exemplo da redução do oídio do trigo (*Blumeria graminis* DC. Speer f.sp. *tritici* Marchal) em 80% com aplicação de Si ao solo (GUÉVEL et al., 2007).

O aumento da resistência de determinada espécie hospedeira, mono ou dicotiledônea, a um patógeno específico pode ocorrer tanto por barreiras físicas quanto químicas tais como: densidade de células silicificadas na epiderme (ISHIGURO, 2001); deposição e polimerização do ácido silícico abaixo da cutícula, formando uma dupla

camada de sílica cuticular que reduz a transpiração (DATNOFF et al., 2001; YOSHIDA, 1965); fortificação da parede celular de células da epiderme (KIM; KIM; PARK, 2001); acúmulo de compostos fenólicos, material osmiofílico e ou fitoalexinas (RODRIGUES et al., 2004); aumento na atividade de enzimas relacionadas à patogênese, tais como, quitinases, peroxidases, polifenoloxidasas, fenilalanina amônia-liases e  $\beta$ -1,3-glucanases (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994; FORTUNATO et al., 2012). Além destas, o Si pode exercer um papel ativo na potencialização e antecipação (*priming*) da expressão de genes que codificam enzimas como foi verificado em plantas de tomateiro inoculadas com *R. solanacearum*, demonstrando a função deste elemento na defesa da planta em nível transcricional (GHAREEB et al., 2011). A redução da transpiração causada pelo Si proporciona uma menor exigência de água, sendo de extrema importância para as plantas cultivadas em solos de clima tropical (FREITAS et al., 2011).

Relatos na literatura mostram redução na intensidade de doenças pela deposição de sílica amorfa no apoplasto foliar impedindo a penetração de patógeno (FAUTEUX et al., 2005). Particularmente em arroz (*Oryza sativa* L.), as doenças fúngicas como brusone (*Magnaporthe grisea* Heber Barr), patossistema modelo nos estudos envolvendo Si; podridão do colmo, escaldadura das folhas, queima das bainhas, descoloração dos grãos e mancha parda tiveram suas intensidades significativamente reduzidas com a aplicação de Si no solo (DALLAGNOL et al., 2013; DATNOFF; DEREN; SNYDER, 1997; RODRIGUES et al., 2001, 2003). Há registros que mostram também o efeito positivo do Si no controle de doenças fúngicas em dicotiledôneas cultivadas comercialmente, principalmente em tomateiro (YANAR; YANAR; GEBOLOGLER, 2011), meloeiro (*Cucumis melo* L.) (DALLAGNOL et al., 2012), soja (*Glycine max* (L.) Merr.) (CRUZ et al., 2012) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.) (CARRÉ-MISSIO et al., 2012), entre outras.

Existem poucos relatos quanto à resistência conferida pelo Si às principais doenças da bananeira. Com relação à murcha-de-fusário, a aplicação de Agrosilício<sup>®</sup> no solo reduziu a AACPD nas cultivares Maçã e Grande Naine em 47% (CONCEIÇÃO, 2010) entretanto, a área abaixo da curva de progresso dos sintomas reflexos da doença na cultivar Maçã foi reduzida em apenas 12,4% pela aplicação de silicato de cálcio ao solo (FORTUNATO et al., 2012). Já Vermeire et al. (2011) obtiveram redução de aproximadamente 50% da severidade da podridão radicular da bananeira

(*Cylindrocladium spathiphylli* Schoult, El-Gholl & Alfieri) pela adição de 2 mM de Si, na forma de silicato de cálcio ao solo. É importante enfatizar que o Si também produz efeitos benéficos contra doenças foliares de *Musa* sp., pois o uso de ácido silícico em campo reduziu em média 45,3% dos sintomas de sigatoka negra (KABLAN et al., 2012).

Por outro lado, estudos envolvendo o uso do Si como agente potencializador de resistência às fitobacterioses são raros e para o patossistema *R. solanacearum* raça 2-bananeira inexistem. Entretanto, os patossistemas *R. solanacearum* raça 1-tomateiro (AYANA et al., 2011; DANNON; WYDRA, 2004; DIOGO; WYDRA, 2007) e *R. solanacearum* raça 1-pimentão (ALVES, 2012) já foram estudados. Além destes patossistemas, o Si tem se destacado por reduzir a severidade de importantes doenças de plantas como a mancha aquosa do meloeiro (*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Willems et al.) (FERREIRA, 2009), mancha bacteriana do maracujazeiro (*Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae* (Pereira) Gonçalves & Rosato) (BRANCAGLIONE et al., 2009), estria bacteriana do trigo (*Xanthomonas translucens* pv. *translucens* (Jones et al.) Vauterin et al.) (SILVA et al., 2010) e mancha angular do algodoeiro (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* (Smith)) (OLIVEIRA et al., 2012).

O silício, também pode atuar indiretamente no controle de doenças pela sinalização para a expressão de enzimas removedoras de espécies reativas de oxigênio e/ou envolvidas na patogênese, elevando a síntese de proteínas totais solúveis. Dentre estas enzimas estão a catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX), polifenoloxidase (PFO),  $\beta$ -1,3-glucanase (GLU) e quitinase (QUI).

A CAT, APX e SOD, conhecidas como ‘scavengers’, são responsáveis pelo sistema de limpeza das células vegetais, detoxificando o excesso de espécies reativas de oxigênio (EROs). Essas EROs, como o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), são produzidas pelas plantas durante a resposta de defesa ao ataque de um patógeno e têm papel importante na proteção vegetal. No entanto, simultaneamente à sua produção, as plantas diminuem a capacidade de eliminá-las, e quando acumuladas são prejudiciais podendo levar à oxidação de proteínas, ácidos graxos insaturados e DNA, causando danos celulares e ativando a morte celular programada (PCD). Portanto, a habilidade do sistema em detoxificar EROs é um processo crucial que controla a concentração dessas

espécies reativas e o estado redox das células (APEL; HIRT, 2004; HALLIWELL, 2006).

A CAT está presente nos peroxissomas e glioxissomas das plantas e pode dismutar diretamente o  $H_2O_2$ , em água e oxigênio, ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico. Pode exercer uma função de lignificação, mas sua exata função biológica permanece desconhecida (RESENDE; SALGADO; CHAVES, 2003). A APX também catalisa a redução do peróxido para água, utilizando o ascorbato como doador de elétrons (NOCTOR; FOYER, 1998). A superexpressão da APX em plantas de fumo transgênicas, pela inserção do gene da ascorbato peroxidase de pimentão (CAPOA1), promoveu resistência a *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan e fraca resistência a *R. solanacearum* (SAROWAR et al., 2005). A SOD é encontrada nos cloroplastos e catalisa a conversão de radicais superóxido ( $O_2^-$ ) a  $H_2O_2$  (MITTLER, 2002).

A POX é responsável pelos processos fisiológicos e bioquímicos como crescimento, formação celular, desenvolvimento de frutos, biossíntese de etileno e resposta a vários estresses (MATAMOROS et al., 2003). Em plantas de tomateiro, a POX está envolvida na última etapa de lignificação da parede celular (NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992). Tomateiros tratados com Supa Sílica® e com silicato de cálcio apresentaram aumento na atividade dessa enzima (ANDRADE, 2012).

As PFO são enzimas de defesa que catalisam a oxidação de orto-difenóis formando orto-quinonas, as quais apresentam atividade antimicrobiana e também estão envolvidas na biossíntese da lignina (UMESHA, 2006). Tomateiros tratados com Supa Sílica® por pulverização e silicato de cálcio incorporado ao solo apresentaram maior atividade de PFO durante o processo infeccioso com *P. syringae* pv. *tomato* (Okabe) Young Dye & Wilkie (ANDRADE, 2012). Liang et al. (2005) também verificaram aumento na atividade da enzima PFO em plantas de pepino supridas com Si e inoculadas com *Podosphaera xanthii* (Castagne) Braun & Shishkoff, enquanto raízes de plantas de pepino infectadas e colonizadas por *Pythium ultimum* Trow, tratadas com Si apresentaram aumento na atividade desta enzima (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994).

A  $\beta$ -1,3-glucanase é uma proteína relacionada à patogênese, que possui atividade hidrolítica, exercendo o controle de doenças mediante a quebra de polímeros estruturais ( $\beta$ -1,3-glucanos) presentes nas paredes dos patógenos e liberando oligossacarídeos

biologicamente ativos (elicitores e supressores) capazes de regular o estado de imunização da planta (LABANCA, 2002). O controle de fitobacterioses utilizando o silício promoveu o aumento da atividade da GLU para a mancha angular do algodoeiro (OLIVEIRA et al., 2012) e de *Pytium aphanidermatum* (Edson.) Fitz Pat., em pepino (*Cucumis sativus* L.) (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994). Já a QUI é responsável por catalisar a hidrólise da quitina (polímero de N-acetilglucosamina), componente da parede celular fúngica e exoesqueleto de artrópodes (WEN-CHI et al., 1998).

#### 4.2. Silício na micropropagação

A micropropagação é o procedimento de propagação clonal de plantas, por meio da técnica de cultura de tecidos, que utiliza tecidos meristemáticos ou não meristemáticos como fonte de explantes (ERIG; SCHUCH, 2005).

Por não ser considerado um elemento essencial às plantas, o silício (Si) não tem sido muito estudado na micropropagação. Contudo, do ponto de vista fisiológico, esse elemento tem demonstrado efeito benéfico sobre o aumento de produção de diversas culturas (GOMES et al., 2008). Segundo EPSTEIN (1994), acredita-se que ele possa interferir na arquitetura das plantas, ao proporcionar folhas mais eretas, o que significa maior eficiência fotossintética.

Alguns exemplos do uso do silício na micropropagação podem ser citados. Em plantas de pepino, a adição de Si (100 mg.Kg<sup>-1</sup>) ao meio nutritivo proporcionou o aumento no teor de clorofila; maior massa foliar fresca e seca; atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais se mantiveram mais horizontais (ADATIA; BESFORD, 1986). A melhor arquitetura foliar facilita a maior captação de luz solar, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, o que permite o incremento da taxa fotossintética (TAKAHASHI, 1995). Em morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.), a suplementação do meio com silicato de sódio promoveu aumento da espessura dos tecidos do limbo foliar, da deposição de cera epicuticular e formação de depósito de Si nas células, bem como o aumento da massa fresca e seca dos propágulos e maior teor de clorofila (BRAGA et al., 2009). Em abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merr 'Gomo de Mel'), a adição de silicato de potássio foi eficiente no aumento do número de brotos, comprimento médio e massa fresca e seca (BRAGA et al., 2008). No cultivo *in vitro* de orquídeas, maior número de brotos foi obtido



utilizando 5 mg.L<sup>-1</sup> de Supa potássio<sup>®</sup> (fonte de silicato de potássio), enquanto que 5 mg.L<sup>-1</sup> de Supa Potássio<sup>®</sup> associados a 20 mg.L<sup>-1</sup> de silicato de sódio proporcionou maior comprimento da parte aérea, aumento no número de raízes e comprimento médio de raízes (SOARES et al., 2007). O cultivo *in vitro* de *Phalaenopsis* com adição de 0,1 a 1,0 mg.L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio ao meio de cultura VW modificado aumentou o tamanho das folhas (ZHOU, 1995).

A micropropagação é dividida em cinco etapas: seleção de planta matriz e escolha do explante, estabelecimento, multiplicação, enraizamento e aclimatização. A etapa de aclimatização compreende a transferência das plantas das condições assépticas da cultura de tecidos para um ambiente externo, normalmente uma casa de vegetação, para crescimento e desenvolvimento. Essa transferência deve ser feita sob condições controladas, para aumentar ao máximo a sobrevivência das plantas. Um número expressivo de espécies vegetais micropropagadas não consegue sobreviver à transferência brusca do ambiente *in vitro* para o ambiente *ex vitro* (HARARIKA, 2003). A mudança de um ambiente protegido, estéril, com açúcares e umidade saturada, para um ambiente não estéril, sem açúcares e com reduzida umidade, tem resultado em perda de muitas plantas, baixa taxa de crescimento e período prolongado na obtenção de plantas completamente aclimatizadas (SOUZA JÚNIOR, BARBOZA; SOUZA, 2001).

As raízes produzidas *in vitro* são fracas e pouco funcionais por não apresentarem pelos radiculares, além de propiciarem pobre conexão vascular com a parte aérea das plantas, resultando numa restrita transferência de água e nutrientes para a parte aérea, comprometendo o crescimento (MACCLELLAND; SMITH; CAROTHERS, 1990). Essas raízes precisam, portanto ser substituídas o mais rápido possível, o que só ocorrerá se a planta for mantida com baixa transpiração (PIERIK, 1990), o que pode ser favorecido pelo Si ao se depositar no tecido foliar.

A aclimatização de plantas tem sido um grande entrave para a micropropagação de muitas espécies e a otimização do processo pode melhorar ainda mais a eficiência na sobrevivência e vigor das mudas (PEREIRA et al., 2005). O uso de silício contribui para a qualidade final do vegetal, pois seu acúmulo na cutícula das folhas permite proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água pela transpiração e, ainda, promoção de crescimento (EPSTEIN, 1999). Verificou-se que não houve diferença significativa para as concentrações das quatro fontes de silício testadas na aclimatização de plântulas de gérbera (*Gerbera jamesonii* L.) cultivadas *in vitro*. A

análise da anatomia foliar dessas plantas mostrou que aquelas cultivadas em meio com Si apresentaram maior espessura do parênquima e menor relação entre o diâmetro polar e equatorial das folhas, além de maior número de estômatos por folha (SILVA, 2007a).

A importância econômica e social da bananicultura brasileira é conhecida, assim como o potencial uso do silício na micropropagação de plantas e a inexistência de alternativas viáveis e eficientes para o controle da murcha-de-fusário e do moko da bananeira, além da carência de estudos envolvendo a fertilização silicatada no manejo de doenças desta cultura. Portanto, este trabalho teve como objetivo preencher esta lacuna, investigando se a suplementação com Si durante a micropropagação da bananeira afeta alguns componentes de resistência à murcha-de-fusário e o moko da bananeira.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRIANUAL 2012: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2012.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. Burlington, MA: Elsevier Academic, 922p. 2005.

ALVES, A. O. **Controle alternativo da murcha bacteriana do pimentão utilizando óleos essenciais vegetais e silicato de cálcio**. 2012, 93 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

AMORIM, E. P. R.; SILVA, J. C.; ANDRADE, F. W. R.; RUFINO, M. J.; ELOY, A. P.; LEMOS, E. E. P. Incidência da murcha bacteriana (Moko) em bananeira no estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19, 2006, Cabo Frio: **Anais...** Cabo Frio: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2006. p. 219.

ANDRADE, C. C. L. **Silício e indutores de resistência no controle da pinta bacteriana do tomateiro e na atividade de enzimas de defesa**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2012.

- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373-99, 2004.
- AYANA, G.; FININSA, C.; AHMED, S.; WYDRA, K. Effects of soil amendment on bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and tomato yields in Ethiopia. **Journal of Plant Protection Research**, Warsaw, v. 51, n. 1, p. 72-76, 2011.
- BARROS, M. A. B.; LOPES, G. M. B.; WANDERLEY, M. B. Cadeia Produtiva da Banana: consumo, comercialização e produção no Estado de Pernambuco. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 84-104, 2008.
- 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**, Saint Paul, v. 93, n. 4, p. 402-412, 2003.
- BORGES, A. J. S.; TRINDADE, A. V.; MATOS, A. P.; PEIXOTO, M. F. S. Redução do mal-do-panamá em bananeira-maçã por inoculação de fungo micorrízico arbuscular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 35-41, 2007.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, 2009.
- BRAGA, F. T.; RAFAEL, G. C.; VALENTE, T. T. C.; NUNES, C. F.; PASQUAL, M. Fontes e concentrações de silício na multiplicação *in vitro* de abacaxizeiro cv. 'Iac Gomo de Mel'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória: INCAPER, 2008. Disponível em: <[www.incaper.es.gov.br/congressos/congresso.../Trabalho%20Poster.pdf](http://www.incaper.es.gov.br/congressos/congresso.../Trabalho%20Poster.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- BRANCAGLIONE, P.; SAMPAIO, A. C.; FISCHER, I. H.; ALMEIDA, A. M.; FUMIS, T. F. Eficiência de argila silicatada no controle de *Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae*, *in vitro* e em mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 31, n. 3, p. 718-724, 2009.
- BRINGEL, J. M. M.; TAKATSU, A.; UESUGI, C. H. Colonização radicular de plantas cultivadas por *Ralstonia solanacearum* biovars 1, 2 e 3. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 497-500, 2001.

- BUDDENHAGEN, I. W. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and history of introduction of ‘tropical race 4’ to better manage banana production. In: JONES, D.; Van DEN, I. B. (Eds.) **Proceedings of the International Symposium on Recent Advances in Banana Crop Protection for Sustainable Production and Improved Livelihoods**. White River: **ISHS Acta Horticulturae**, 2009, p. 193–204.
- BUDDENHAGEN, I. W.; SEQUEIRA, L.; KELMAN, A. Designation of races in *Pseudomonas solanacearum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 52, n. 7, p. 726, 1962.
- CARES, J.E. Moko (da bananeira): Situação da doença no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 10, p. 81-88, 1988.
- CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F. A.; SCHURT, D. A.; REZENDE, D. C.; MOREIRA, W. R.; KORNDORFER, G. H.; Zambolim, L. Componentes epidemiológicos da ferrugem do cafeeiro afetados pela aplicação foliar de silicato de potássio. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 50-56, 2012.
- CASEY, W. H.; KINRADE, S. D.; KNIGHT, C. T. G.; RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 51-54, 2003.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, 1994.
- CHIBA, Y.; MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. **The Plant Journal**, London, v. 57, n. 5, p. 810–818, 2009.
- COELHO NETTO, R. A.; ASSIS, L. A. G. *Coleus barbatus*: um novo hospedeiro de *Ralstonia solanacearum*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 226, 2002.
- COELHO NETTO, R. A.; NUTTER JÚNIOR, F. W. Use of GPS and GIS technologies to map the prevalence of moko disease of banana in the amazon region of Brazil. In: ALLEN, C.; PRIOR, P.; HAYWARD, A. C. (Ed.) **Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex**. Saint Paul: APS Press, 2005. p. 431-436.
- CONCEIÇÃO, E. G. J. **Uso do silício na nutrição da bananeira e no controle do mal-do-panamá**. 2010, 69 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.

- CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. Doenças da bananeira. In: FREIRE, F. C.; CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P. (Eds.). **Doenças de fruteiras tropicais de interesse agroindustrial**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 323-390.
- CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; MEISSNER FILHO, P. E. Doenças e métodos de controle. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L.S. (Eds.). **O Cultivo da bananeira**. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 146-182.
- CRUZ, M. F. A.; SILVA, F. S.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, J. M.; BARROS, E. G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), Brasília, v. 47, n. 1, p. 142-145, 2012.
- CURRIE, H. A.; PERRY, C. Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. **Annals of Botany**, London, v. 100, n. 7, p. 1383-1389, 2007.
- DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; CHAVES, A. R. M.; VALE, F. X. R.; DAMATTA, F. M. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**, Saint Paul, v. 62, n. 1, p. 120-129, 2013.
- DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; TANAKA, F. A. O.; AMORIM, L.; CAMARGO, L. E. A. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, Saint Paul, v. 61, n. 2, p. 323-330, 2012.
- DANNON, E. A.; 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, n. 5, p.233-243, 2004.
- DANTAS, J. L. L.; SHEPHERD, K.; SILVA, S. O.; SOARES FILHO, W. S. Classificação botânica, origem, evolução e distribuição geográfica. In: ALVES, E. J. (Ed.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p. 27-34.
- DATNOFF L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 424p.

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

DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant Disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. 233 p.

DIOGO, R. V. C.; WYDRA, K. Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 70, n. 1, p. 120-129, 2007.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 1-15.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.

ERIG, A.C.; SCHUCH, M.W. Micropropagação fotoautotrófica e uso da luz natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.961-965, 2005.

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION. **Distribution Maps of Quarantine Pests for Europe. *Ralstonia solanacearum* race 2**. France: European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2006. Disponível em: <<http://pqr.eppo.org/datas/PSDMS2/PSDMS2.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2013.

EUZÉBY, J. P. **List of prokaryotic names with standing in nomenclature**. France, 2009. Disponível em: < <http://www.bacterio.cict.fr/classifphyla.html>>. Acesso em: 17 mar. 2013.

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

FEGAN, M.; PRIOR, P. How complex is the *Ralstonia solanacearum* species complex? In: ALLEN, C.; PRIOR, P.; HAYWARD, A. C. (Eds.) **Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex**. Saint Paul: APS Press, 2005. p. 449-461.

- FERREIRA, H. A. **Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*Cucumis melo* L.)**. 2009, 82 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- FORTUNATO, A. A.; RODRIGUES, F. Á.; BARONI, J. C. P.; SOARES, G. C. B.; RODRIGUEZ, M. A. D.; PEREIRA, O. L. Silicon suppresses fusarium wilt development in banana plants. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 160, n. 11-12, p. 674-679, 2012.
- FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.
- GHAREEB H., BOZSÓ Z., OTT P.G., REPENNING C., STAHL F., WYDRA K. Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 75, n. 3, p. 83-89, 2011.
- GILLINGS, M. R.; FAHY, P. Genomic fingerprinting: towards a unified view of the *Pseudomonas solanacearum* species complex. In: HAYWARD, A. C.; HARTMAN, G. L. (Eds.). **Bacterial wilt: the disease and its causative agent, *Pseudomonas solanacearum***. Wallingford: CAB International, 1994, p. 95-112.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; ANTUNES, C. S. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p.185-190, 2008.
- GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 119, n. 4, p. 429-436, 2007.
- HALLIWELL, B. Reactive Species and Antioxidants. Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life. **Plant Physiology**, Washington, v. 141, n. 2, p. 312-322, 2006.
- HARARIKA, B. N. Acclimatization of tissue-cultured plants. **Current Science**, Stamford, v. 85, n. 12, p. 1704-1712, 2003.
- HAYWARD, A. C. Characteristics of *Pseudomonas solanacearum*. **Journal of Applied Bacteriology**, Oxford, v. 27, n. 2, p. 265-277, 1964.

HAYWARD, A. C. The hosts of *Pseudomonas solanacearum*. In: HAYWARD, A. C.; HARTMAN, G. L. (Eds.). **Bacterial wilt: The disease and its causative agent, *Pseudomonas solanacearum***. Wallingford: CAB International, 1994, p. 9-24.

HE, L. Y.; SEQUEIRA, L.; KELMAN, A. Characteristics of strains of *Pseudomonas solanacearum*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 67, n. 12, p. 1357-1361, 1983.

HENRIET C.; DRAYE X.; OPPITZ L.; SWENNEN R.; DELVAUX B. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 287, n. 1-2, p. 359-374, 2006.

HORITA, M.; TSUCHIYA, K. Genetic diversity of Japanese strains of *Ralstonia solanacearum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 91, n. 4, p. 399-407, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA 01: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal, 2012**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=>> Acesso em: 10 mar. 2013.

ISHIGURO, K. Review of research in Japan on the roles of silicon in conferring resistance against rice blast. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KÖRNDORFER, G. H. (Eds.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science. 2001. p. 277-291.

IVEY, M. L. L.; GARDNER, B. B. M.; OPINA, N.; MILLER, S. A. Diversity and geographic distribution of *Ralstonia solanacearum* from eggplant in the Philippines. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 97, n. 11, p. 1467-1475, 2007.

JABUONSKI, R. E.; HIDALGO, O. A. Doenças bacterianas. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica, 1987. p. 85-93.

KABLAN L.; LAGAUCHE A.; DELVAUX B.; LEGRÉVE A. Silicon reduces black sigatoka development in banana. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 96, n. 2. p. 273-278, 2012.

KELMAN, A.; JENSEN, J. H. Doenças do tomateiro – *Lycopersicon esculentum* Mill. In: **Manual de Fitopatologia – Doenças das plantas cultivadas**, 3. ed. São Paulo, Ceres, v.2, p. 690-719, 1994.



KIM, S. G.; KIM, K. W.; PARK, E. W. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves, a cytological mechanism of blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 91, n. 6 (supl.), p. S49. 2001.

KRIKORIAN, A. D.; CRONAUER, S. S. Banana. In: SHARP, W. R.; EVANS, D. A.; AMMIRATO, P. V.; YAMADA, Y. (Eds.). **Handbook of plant cell culture**. New York: Macmillan, 1983. v.2, p.327-348.

KUGLER, H. **O paraíso dos agrotóxicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2012. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/296/paraíso-dos-agrotoxicos>>. Acesso em: 16 abr. 2013.

LABANCA E.R.G. **Purificação parcial de elicitores presentes em *Saccharomyces cerevisiae*: atividade como indutores de resistência em pepino (*Cucumis sativus*) contra *Colletotrichum lagenarium* e da síntese de gliceolinas em soja (*Glycine max*)**. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura. “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

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

LOPES, C. A.; QUEZADO-SOARES, A. M. **Doenças bacterianas das hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa – Serviço de Produção de Informação, 1997. 70 p.

LOPES, G. M. B.; NASCIMENTO, S. M.; SILVA JUNIOR, J. F.; GONÇALVES, W. M. **Difusão de tecnologia para o sistema produtivo de banana na Zona da Mata Norte de Pernambuco**: a educação rural como eixo estratégico. Recife: IPA, 2002. 51p. (Documentos, 29).

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, n. 19, p. 3049-3057, 2008.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MACCLELLAND, M. T.; SMITH, M. A. L.; CAROTHERS, Z. B. The effects of *in vitro* and *ex vitro* root initiation on subsequent microcutting root quality in three woody

plants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 23, n. 2, p. 115-123, 1990.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MARQUES, M. C. S.; CARDOSO, M. G.; SOUZA, P. E.; GAVILANES, M. L.; SOUZA, J. A.; PEREIRA, N. E.; NEGRÃO, I. O. Efeito fungitóxico dos extratos de *Caryocar brasiliense* Camb. sobre os fungos *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum truncatum* e *Fusarium oxysporum*. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 7, p. 1410 - 1419, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 674p.

MATAMOROS, M. A.; DALTON, D. A.; RAMOS, J.; CLEMENTE, M. R.; RUBIO, M. C.; BECANA, M. Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia-legume symbiosis. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 133, p. 499-509, 2003.

MATOS, A. P.; CORDEIRO, Z. J. M.; SILVEIRA, J. S.; FERREIRA, D. M. V. O Mal-do-Panamá ou murcha de fusarium da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p. 38-50.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5<sup>th</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification of maize silicon influx transporters. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 50, p. 5-12, 2009.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 7, p. 405-410, 2002.

MOLINA, A. B.; FABREGAR, E. G.; SINOHIN, V.; FOURIE, G.; VILJOEN, A. Tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causing new Panama wilt epidemics in Cavendish varieties in the Philippines. **Phytopathology**, Saint. Paul, v. 98, n. 6 (Suppl.), p. S108, 2008.

MOREIRA, S. R. **Banana**: teoria e prática de cultivo. 2. ed. São Paulo: Fundação Cargill. 1999. [CD-ROM].

NICHOLSON, R. L.; HAMMERSCHMIDT, R. Phenolic compounds and their role in disease resistance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 30, p. 369-389, 1992.

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.

OLIVEIRA, J. C.; ALBUQUERQUE, G. M. R.; MARIANO, R. L. R.; GONDIM, D. M. F.; OLIVEIRA, J. T. A.; SOUZA, E. B. Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated by silicon. **Journal of Plant Pathology**, Piza, v. 94, n. 2, p. 297-304, 2012.

OLIVEIRA, L. A.; ABREU JUNIOR, C. H.; CARNEIRO, J. M. T.; BENDASSOLLI, J. A. Mecanismos de absorção do silício pelas plantas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5., 2010, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2010. p. 61-88.

ORELLANA, P.; PEREZ PONCE, J.; AGRAMONTE, D.; GOMEZ, R.; JIMENEZ, E.; MARTINEZ, S.; ALMAGUER, E.; GOMEZ, P. La micropropagacion del plátano a escala comercial en Cuba. **ACEVIV Boletín Científico**, Bogotá, v. 3, p. 29-38, 1991.

PEREIRA, J. C. R.; GASPAROTTO, L.; COELHO, A. F. S.; VERAS, S. M. **Doenças da bananeira no Estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2003. 12 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 20).

PEREIRA, L. V.; NORMANDO, M. C. S. Sobrevivência de *Pseudomonas solanacearum* raça 2 em solos de terra firme do Estado do Amazonas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 137-142, 1993.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHKE, S.; FRANÇA, A. C.; NUNES, C. F.; LIMA, C.; GONÇALVES, V. D.; SALLES, B. P.; MORAIS, D. L. B.; KOBAYASHI, M. K. Aclimatização de mudas micropropagadas de bananeira sob diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n. 2, p. 238-240, 2005.

PIERIK, R. L. M. **Cultivo *in vitro* de las plantas superiores**. Madri: Mundi-Prensa, 1990. 326 p.

- PLOETZ, R. C. Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 9, p. 653-656, 2006.
- PLOETZ, R. C. Population biology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, In: PLOETZ, R. C. (Ed.). **Fusarium wilt of banana**. Saint Paul: APS Press, 1990. p. 63-67.
- PLOETZ, R.C.; THOMAS, J.E.; SLABAUGH, W.R. Diseases of banana and plantain. In: PLOETZ, R.C. (ed). **Disease of tropical fruit crops**. CABI: Wallingford, p. 73-134. 2003.
- PONTE, J. J.; FREIRE, F. O. C. “Moko Disease” da bananeira nos perímetros irrigados do Nordeste. **Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia**, Brasília, v.5, n. 2, p.191-195, 1972.
- PONTES, J. J. Um Basta aos Agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFENSIVOS ALTERNATIVOS, 1., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Academia Cearense de Ciências, 2000. p. 9 -12.
- QUYNH, N. T.; UYEN, N. V. **Adapted propagation techniques for commercial crops of the tropics**. Stockholm: International Foundation for Science, 1993. 244p.
- RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 123-130, 2003.
- RODRIGUES, F. Á.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 85, n. 8, p. 827-832, 2001.
- RODRIGUES, F. Á.; McNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; Jones, J. B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 94, n. 2, p. 177-183, 2004.
- RODRIGUES, F. Á.; VALE, F. X. R.; KORNDÖRFER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; OLIVEIRA, A. M. A.; ZAMBOLIM, L. Influence of silicon on sheath blight of rice in Brazil. **Crop Protection**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 23-29, 2003.

SANADA, M. Micropropagation of semitropical crop and its application to cultivation in Okinawa. In: THIQUYNH, N.; UYEN, N. V. (Eds.). **Adapted propagation techniques for commercial crops of the tropics**. Stockholm: International Foundation for Science, 1993. p. 101-105.

SAROWAR, S.; KIM, E. N.; KIM, Y. J.; OK, S. H.; KIM, K. D.; HWANG, B. K.; SHIN, J. S. Overexpression of a pepper ascorbate peroxidase-like 1 gene in tobacco plants enhances tolerance to oxidative stress and pathogens. **Plant Science**, Oxford, v. 169, p. 55-63, 2005.

SILVA, D. P. C. **Meios de cultura e fontes de silício no desenvolvimento *in vitro* de gérbere**. 2007a, 98 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007a.

SILVA, J. C. **Uso de óleos essenciais, extratos vegetais e indutores de resistência no controle alternativo do mal-do-Panamá da bananeira**. 2007, 33p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007b.

SILVA, I. T.; RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, J. R.; PEREIRA, S. C.; ANDRADE, C. C. L.; SILVEIRA, R. P.; CONCEIÇÃO, M. M. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by silicon. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 158, n. 4, p. 253-262, 2010.

SILVA, J. R. **Coletânea de informações sobre o “Moko” da bananeira** (versão preliminar). Brasília: MARA. s/p. 1997.

SOARES, J. D. R.; VILLA, F.; RODRIGUES, F. A.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G. **Fontes de Silício na propagação *in vitro* de orquídea**. Viçosa: UFV, 2007. Disponível em: [http://www.maa.gba.gov.ar/.../63%5B1%5D.Abubacao\\_com\\_silicio\\_de\\_orquidea\\_FINAL.doc](http://www.maa.gba.gov.ar/.../63%5B1%5D.Abubacao_com_silicio_de_orquidea_FINAL.doc). Acesso em: 23 mar. 2013.

SOUTO, R. F.; RODRIGUES, M. G. V.; RUGGIERO, C.; MENEGUCCI, J. L. P. Novas Perspectivas em sistemas de implantação, condução e práticas de manejo da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 196, p. 10-15, 1999.

SOUZA JÚNIOR, E. E.; BARBOZA, S. B. S. C.; SOUZA, L. A. C. Efeitos de substratos e recipientes na aclimação de plântulas de abacaxizeiro [*Ananas comosus*

(L.) Merrill] cv. Pérola. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 31, n. 2, p. 147-151, 2001.

SOUZA JÚNIOR, S. F.; ANDRADE, A. L.; ALMEIDA, P. S. G.; MARCÍLIO, H. C.; FOLMAN, R.; BEZERRA, F. F.; VILALBA, R.; SCHERER, S. Acúmulo de silício em folhas de bananeira (*Musa* sp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20. E ANNUAL MEETING OF THE INTERAMERICAN SOCIETY FOR TROPICAL HORTICULTURE, 54., 2008, Vitória. **Anais...** Vitoria: Incaper, 2008. p. 1-4.

SOUZA, J. S.; TORRES FILHO, P. Mercado. In: **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA-SPL, 1997. p. 525-543.

STOVER, R. H. **Banana, plantain and abaca diseases**. England: Commonwealth Mycological Institute, Kew, 1972. 316p.

SUN, E. J.; SU, H. J.; KO, W. H. Identifications of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4 from soil or host tissue by cultural characters. **Phytopathology**, Saint Paul, v.68, n. 4, p. 1672-1673, 1978.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Eds.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TAKATSU A. Proceedings of the Moko da bananeira no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Jaboticabal. FUNEP (Pubs.). **Anais Jaboticabal**. 2001, p.439-452.

TALAMINI, V.; SILVA, A. M. F.; ALMEIDA, N. A.; MORAIS, A. C.; WARWICK, D. R. N.; NASCIMENTO, M. A. A.; DEVI, C. K. **Situação do moko da bananeira no Estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. Disponível em: < [http://www.cpatc.embrapa.br/publicações\\_2010/doc\\_159.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicações_2010/doc_159.pdf) >. Acesso em: 15 nov. 2012.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Tel Aviv, v. 34, n. 1, p. 68-71, 2006.

VENTURA, A. J.; HINZ, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM L.; VALE, F. X. R.; MONTEIRO, A. J. A.; COSTA, H. (Eds.). **Controle de doenças de plantas Fruteiras**. Viçosa: UFV, 2002. v. 2, p. 839- 938.

VERMEIRE, M. L.; KABLAN, L.; DOREL, M.; DELVAUX, B.; RISÈDE, J. M.; Legrève, A. Protective role of silicon in the banana-*Cylindrocladium spathiphylli* pathosystem. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 131, n. 4, p. 621–630, 2011.

VERZIGNASSI, J. R.; KUROZAWA, C.; TOKESHI, H.; VILLAS-BÔAS, R. L. Efeito dos microrganismos eficazes no controle da mancha púrpura do alho (*Alternaria porri*). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 29, n. 4, p. 301 - 308, 2003.

WICKER, E.; GRASSART, L.; CORANSON-BEAUDU, R.; MIAN, D.; GUILBAUD, C.; FEGAN, M. *Ralstonia solanacearum* Strains from Martinique (French West Indies) Exhibiting a New Pathogenic Potential. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 21, p. 6790–6801, 2007.

XU, J. O.; PAN, Z. C.; XU, J. S.; ZHANG, Z.; ZHANG, H.; ZHANG, L. Q.; HE, L. Y.; FENG, J. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from China. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 125, n. 4, p. 641–653, 2009.

YABUUCHI, E.; KOSAKO, Y.; YANO, I.; HOTTA, H.; NISHIUCHI, Y. Transfer of two *Burkholderia* and an *Alcaligenes* species to *Ralstonia* gen. nov.: proposal of *Ralstonia pickettii* (Ralston, Palleroni and Doudoroff, 1973) comb. nov., *Ralstonia solanacearum* (Smith 1896) comb. nov. and *Ralstonia eutropha* (Davis 1969) comb. nov. **Microbiology Immunology**, Tokyo, v. 39, n. 11, p. 897-904, 1995.

YANAR, Y., YANAR, D.; GEBOLOGLU, N. Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.10, n. 16, p. 3121-3123, 2011.

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

ZHOU, T. S. The detection of the accumulation of silicon in *Phalaenopsis* (Orchidaceae). **Annals of Botany**, London, v. 75, n. 6, p. 605-607, 1995.

## Capítulo II

---

*Silício na micropropagação de bananeira visando o manejo da  
murcha-de-fusário*



# Silício na micropropagação de bananeira visando o manejo da murcha-de-fusário

C. L. Rollemberg<sup>1</sup>, K. C. S. Felix<sup>1</sup>, A. C. B. Barros<sup>2</sup>, E. B. Souza<sup>1</sup>, R. L. R. Mariano<sup>1</sup>

1 Laboratório de Fitobacteriologia, Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

2 Centro de Tecnologia Estratégicas do Nordeste (CETENE), Recife, Brasil.

## Resumo

Este estudo avaliou o uso do silício (Si) na micropropagação de bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ visando a redução da severidade da murcha-de-fusário, causada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. As mudas de bananeira foram produzidas *in vitro* com adição de silicato de cálcio e silicato de potássio (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup>) ao meio de cultivo nas fases de multiplicação e enraizamento. Após o cultivo *in vitro*, as plântulas foram transferidas para tubetes contendo substrato adicionado das mesmas fontes de Si, e mantidas em casa de vegetação por 45 dias, inoculadas com *F. oxysporum* f. sp. *cubense* raça 1. Nas cultivares Maçã e Pacovan Ken, a elevação das doses de Si aumentou o período de incubação (PI) e reduziu o índice de doença (IDO) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Em ‘Maçã’, o silicato de cálcio foi significativamente mais eficiente que o silicato de potássio, o que não ocorreu na ‘Pacovan Ken’. A concentração de Si na parte aérea e raízes das cultivares, em ambas as fontes, antes e após a aclimatização foi maior na dose 1,0 g L<sup>-1</sup> em relação à testemunha sem Si. Antes da aclimatização, o silicato de cálcio proporcionou maior concentração de Si na parte aérea que o silicato de potássio. O contrário aconteceu com a concentração de Si nas raízes. Após aclimatização, não houve diferença entre o silicato de cálcio e o silicato de potássio, para as duas cultivares de bananeira utilizadas. Em geral, para ambas as cultivares e fontes de Si foram observadas correlações

---

## Correspondência

PhD. R. L. R. Mariano, Laboratório de Fitobacteriologia, Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. Email: rrmbac@gmail.com (✉)

positivas da concentração de Si com PI e correlações negativas com IDO e AACPD. Antes e após a aclimatização das plantas, as espessuras da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ foram influenciadas pelas fontes de Si. O silicato de cálcio foi mais eficiente no aumento da espessura da epiderme radicular, córtex e cilindro central, enquanto o silicato de potássio foi mais eficiente no aumento da espessura da endoderme. Em geral, foram observadas correlações positivas das variáveis anatômicas das raízes com PI e correlações negativas com IDO e AACPD, exceto para silicato de potássio em bananeira Maçã. O fornecimento de Si na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ promoveu redução da murcha-de-fusário e pode ser utilizado como uma nova tecnologia no manejo da doença.

**Palavras-chave:** *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, ‘Maçã’, Mal do Panamá, *Musa* spp., ‘Pacovan Ken’, resistência.

## Introdução

A bananicultura tem grande expressão econômica no Brasil, que em 2011 produziu cerca de sete milhões de toneladas de frutos, em aproximadamente 493 mil hectares. As regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, juntas, responderam por 69% da produção nacional de bananas. Em 2009, os estados com maior produção foram: São Paulo (1.225.193 t), Bahia (1.152.892 t), Santa Catarina (675.704 t), Minas Gerais (642.746 t) e Pará (531.927 t) (Agrianual, 2012). A bananeira é afetada por diversos problemas fitossanitários dentre os quais o mais importante é a murcha-de-fusário, também conhecida como mal do Panamá, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (E. F. Smith) Snyder e Hansen (Trindade *et al.*, 2002).

Distribuída de forma endêmica em todo o território nacional, a doença causa prejuízos principalmente nas cultivares Prata e Maçã do grupo AAB. Muito apreciadas no mercado brasileiro, essas cultivares vêm perdendo espaço, gradativamente, para as bananas do grupo AAA, subgrupo Cavendish, como as cultivares Nanica e Nanicão que são resistentes à doença (Cordeiro *et al.*, 2004).

Quatro raças fisiológicas de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* com especificidade patogênica distinta têm sido relatadas. As raças 1, 2 e 4 afetam a bananeira, enquanto a raça 3 afeta *Heliconia* spp. (Cordeiro *et al.*, 2004). Estas quatro raças são distinguidas

por subgrupos diferenciadores (Stover, 1972; Sun *et al.*, 1978). A raça 1 infecta o subgrupo Gros Michel e Prata e a cultivar Maçã (Pereira *et al.*, 2003); a raça 2 infecta subgrupo Bluggoe; e a raça 4 infecta os subgrupos Gros Michel, Bluggoe e Cavendish. A constatação da raça 4 infectando o subgrupo Cavendish é altamente preocupante uma vez que as cultivares pertencentes a este grupo são as mais cultivadas mundialmente.

A raça 4 está presente em países asiáticos e ainda não foi relatada na América Latina. Esta raça foi dividida em raça 4 subtropical (ST4) e raça 4 tropical (TR4). A raça ST4 causa doença no subgrupo Cavendish nos subtrópicos, principalmente em plantas com estresses abióticos, mas a TR4 afeta Cavendish tanto em condições tropicais quanto subtropicais causando danos severos em cultivares deste subgrupo na Malásia, Indonésia, Sul da China, Filipinas e Austrália (Ploetz, 2006; Molina *et al.*, 2008; Buddenhagen, 2009). Portanto, se a raça TR4 chegar a América Latina e, mais especificamente, ao Brasil, não haverá mais cultivares resistentes. Atualmente, a raça mais importante no Brasil é a raça 1, por afetar principalmente as cultivares preferidas para consumo nacional, como a ‘Maçã’ e a ‘Prata’.

A manifestação dos sintomas numa fase adiantada do desenvolvimento da cultura, e principalmente a capacidade do patógeno em ser habitante do solo e produzir clamidósporos, que sobrevivem neste habitat por mais de 20 anos, na ausência do hospedeiro, dificultam bastante o controle da doença (Stover, 1972; Ventura; Hinz, 2002).

Entre as diversas formas de disseminação do patógeno, tais como água de irrigação, movimentação do solo pela ação antrópica, por animais e equipamentos, a mais importante é o método convencional de propagação de bananeira a partir de mudas “chifrinho” retiradas das plantas adultas infectadas (Cordeiro *et al.*, 2004). Deste modo, a micropropagação desponta como técnica promissora na produção de mudas com alto padrão sanitário e homogeneidade. Associada a micropropagação, o uso do silício tem sido considerada uma tecnologia limpa e sustentável. Este elemento tem o potencial para diminuir o uso de agrotóxicos e aumentar a produtividade das culturas favorecendo uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente. Além disso, o silício tem diminuído a intensidade de doenças de grande importância econômica (Datnoff *et al.*, 2007), causadas por diferentes patógenos, como por exemplo em banana, *Cylindrocladium spathiphylli* (Vermeire *et al.*, 2011), *Mycosphaerella fijiensis* (Kablan *et al.*, 2012) e *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Conceição, 2010; Fortunato *et al.*, 2012);

em tomateiro, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Huang *et al.*, 2011) e *Ralstonia solanacearum* (French-Monar *et al.*, 2010); e em pimentão, *R. solanacearum* (Dannon & Wydra, 2004; Alves, 2012); entre outras.

A bananeira é considerada uma planta acumuladora de silício (Henriet *et al.*, 2006), com concentrações médias em folhas de plantas jovens na faixa de 0,7 a 3,8% (Jauhari *et al.*, 1974). Em vertissolos, a bananeira é mais resistente às infecções fúngicas, devido à alta concentração de silício disponível na solução do solo (Delvaux, 1995), o que sugere a adubação silicatada como alternativa para o controle da murcha-de-fusário.

O silício aplicado via solo no cultivo de plantas de bananeira micropropagadas promoveu o controle da murcha-de-fusário (Conceição, 2010; Fortunato *et al.*, 2012) e quando adicionado ao meio de cultivo, proporcionou adequado desenvolvimento das plantas (Asmar *et al.*, 2011). No entanto, não há relatos até o momento que o fornecimento de Si ao meio de cultura utilizado no processo de micropropagação de bananeira visando o controle dessa doença e os possíveis eventos associados com este fenômeno. Portanto, este trabalho teve como objetivo preencher esta lacuna, investigando se a suplementação com Si durante a micropropagação da bananeira afeta alguns componentes de resistência à murcha-de-fusário, a concentração de Si nos tecidos vegetais e a anatomia dos tecidos radiculares; bem como se existe correlação entre o comportamento destes componentes com a concentração de Si e as alterações anatômicas nos tecidos vegetais.

## **Material e Métodos**

### **Micropropagação das bananeiras ‘Maçã’ e Pacovan Ken’ com silício**

O estabelecimento do material vegetal das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ foi realizado em meio nutritivo MS básico (Murashig & Skoog, 1962), suplementado com 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 18 g L<sup>-1</sup> de ágar, sendo o pH ajustado para 5,7. A multiplicação dos explantes foi feita no mesmo meio de cultura, suplementado com 4,0 mg L<sup>-1</sup> de benzilaminopurina (BAP), 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 18 g L<sup>-1</sup> de ágar, e as dosagens de silicato de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) ou de silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup>), sendo o pH ajustado para 5,7. Já o enraizamento foi realizado em meio MS com

metade da concentração de sais minerais, suplementado com 0,5 mg L<sup>-1</sup> de ácido  $\mu$ -naftalenoacético (ANA) e 1,0 mg L<sup>-1</sup> de BAP, e as dosagens de silicato de cálcio e de silicato de potássio, citadas anteriormente, sendo o pH ajustado para 5,7. Os explantes foram dispostos sobre 20 mL de meio de cultura, em frascos com 10 cm de altura por 6 cm de diâmetro e vedados com tampas de polipropileno e plástico do tipo PVC. O experimento foi mantido a 25±2°C, fotoperíodo de 16 horas e intensidade luminosa de 27,91  $\mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , fornecida por lâmpadas brancas fluorescentes, durante 45 dias.

O processo de multiplicação foi realizado por meio de subcultivos das gemas laterais, sendo efetuada a subdivisão longitudinal dos explantes sempre que possível (Cronauer & Krikorian, 1984). A multiplicação foi realizada em 30 dias e o enraizamento em 15 dias. Após o enraizamento *in vitro*, as plântulas foram transferidas para casa de vegetação em tubetes de 110 cm<sup>3</sup>, contendo substrato composto por areia, terra preta e pó de coco (1:1: 0,5), com as seguintes características: pH = 6,5; P disponível = 677 mg dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 1,27 cmolc dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 2,51 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> = 6,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> = 3,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>+3</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 2,28 cmolc dm<sup>-3</sup>; C. O. = 17,6 g kg<sup>-1</sup>; M. O. = 30,4 g kg<sup>-1</sup>; Si disponível = 14,6 mg dm<sup>-3</sup>, acrescido das doses de silicato de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) e silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup>) permanecendo 45 dias em condições de umidade relativa de 85%, sombreamento de 60% com intensidade luminosa de 10.357 lux, temperatura média de 32,5°C e irrigadas por microaspersão para aclimatização das plantas.

### **Infestação do solo e quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ à murcha-de-fusário**

O isolado monospórico da raça 1 de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (CMM 0807) foi obtido da Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos “Prof<sup>a</sup>. Maria Menezes” da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e cultivado em meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar) sob fotoperíodo de 12 horas de luz/escuro e temperatura de 25 ± 3° C. Os conídios de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* foram obtidos de acordo com Subramaniam *et al.* (2006). A suspensão de conídios foi ajustada para 2,0 x 10<sup>8</sup> conídios mL<sup>-1</sup>.

Plantas micropropagadas de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’, cultivadas por 45 dias em tubetes de 110 cm<sup>3</sup>, conforme já descrito, foram inoculadas fazendo-se um ferimento semicircular com auxílio de escalpelo, na região da rizosfera próximo do pseudocaule de cada planta, onde foram depositados 20 mL da suspensão conidial. As avaliações foram realizadas diariamente por 30 dias quanto à presença de sintomas e severidade da doença com auxílio da escala de notas descritiva de 0 a 4 (Nielsen & Haynes, 1960), onde: 0 = ausência de sintomas, 1 = plantas com 1/3 das folhas murchas, 2 = plantas com 2/3 das folhas murchas, 3 = plantas totalmente murchas e 4 = plantas mortas. Com os dados obtidos foram determinados os seguintes componentes de resistência da doença: a) incidência da doença, representada pela porcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de plantas inoculadas; b) período de incubação (PI), representado pelo número de dias entre a inoculação e o aparecimento dos sintomas da doença; c) índice de doença (IDO) aos 30 dias, utilizando-se os dados de severidade da doença (McKinney, 1923); e d) área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Shaner & Finney, 1977).

Para cada cultivar de banana, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com nove tratamentos (sem Si, quatro concentrações de silicato de cálcio e quatro de silicato de potássio) e quatro repetições. A parcela experimental foi composta de cinco tubetes contendo uma planta em cada.

### **Concentração de silício nos tecidos vegetais**

Foram coletadas, antes e após aclimatização, parte aérea (folhas + pseudocaule) e raízes, que foram secas em estufa ventilada, a 60°C, por 72 horas e moídas, separadamente, em micro moinho tipo Willey (TF-648, Tecnal, Brasil). A determinação de silício foi realizada pela metodologia proposta por Korndörfer *et al.* (2004). Para isso, 0,1 g da amostra (parte aérea ou raízes, secas e moídas) foi pesada em tubo de polietileno e a esta adicionados 2,0 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30% (v/v) e 3,0 mL de NaOH (25 mol L<sup>-1</sup>). Os tubos foram fechados e levados para digestão em autoclave, por uma hora, a 123°C e 0,15 MPa.

Após resfriamento, uma alíquota de 1 mL desse extrato foi transferida para frasco com capacidade de 20 mL, sendo este volume completado com água deionizada. A concentração de silício foi determinada por espectrofotometria com monitoramento, a

410 nm, da cor amarela do ácido molibdosilícico formado após reação entre silício e molibdato de amônio em meio HCl. Foi verificada a concentração de silício na parte aérea e raízes de três diferentes plantas por tratamento.

### **Análises anatômicas das raízes**

Para estudos anatômicos foram preparadas lâminas histológicas utilizando o terço médio da maior raiz, coletada de três diferentes plantas por tratamento antes e após a aclimatização. As raízes foram fixadas em formalina-ácido acético-álcool etílico (FAA) preparado com etanol 50% por 48 horas (Johansen, 1940), desidratadas em série butílica e infiltradas em Paraplast<sup>®</sup> (Kraus; Arduin, 1997). O material foi seccionado em micrótomo rotatório (8-12  $\mu$ m de espessura) e corado com solução aquosa de azul de astra 0,5% e safranina 0,5% (Bukatsch, 1972). Os cortes histológicos foram analisados em microscópio óptico (Leica DM 500, Leica, Brasil) e fotografados com auxílio de câmera digital com zoom óptico de três vezes (Leica ICC50 HD). As imagens foram analisadas com o programa LAS EZ, medindo-se cinco campos por repetição, para as variáveis: EER = espessura da epiderme radicular, EC = espessura do córtex, EE = espessura da endoderme e ECC = espessura do cilindro central.

### **Análises estatísticas**

Para os componentes de resistência das bananeiras à murcha-de-fusário foram realizadas análises de regressão, desdobrando-se todos os graus de liberdade dos tratamentos em efeitos de regressão. Para cada variável estudada, uma equação de regressão foi ajustada, considerando-se os efeitos lineares e/ou quadráticos significativos na análise de variância ( $P \leq 0,01$ ). Para concentração de silício e análises anatômicas foram realizadas análises de variância com teste F de Fisher-Snedecor; cada variável foi formada por dois níveis (silicato de cálcio e silicato de potássio) e compararam-se as médias pelo teste t de Student. Foram ainda calculados os coeficientes de correlação de Pearson entre as concentrações de silício e as análises anatômicas com os componentes de resistência à doença. Os experimentos foram conduzidos duas vezes e como foi detectada reprodutibilidade dos resultados, sem diferenças significativas, realizou-se

análise conjunta dos dados. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Statistix for Windows® (versão 9.0, Analytical Software Tallahassee).

## **Resultados**

### **Quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ à murcha-de-fusário**

A aplicação de Si antes e após aclimatização das mudas micropropagadas alterou os componentes de resistência da murcha-de-fusário de diferentes formas.

Na cultivar Maçã, as análises de regressão (Fig. 1A, 1C, 1E) mostraram que a elevação das doses de Si causou um aumento de forma quadrática ( $P \leq 0,01$ ) no PI. Os primeiros sintomas da murcha-de-fusário foram observados quinze dias após a inoculação, como murcha das folhas inferiores em plantas não tratadas com Si. O PI foi elevado de 15,1 para 16,7 dias. Com o incremento das doses de Si houve reduções do IDO e AACPD ajustadas ao modelo quadrático. Na dose  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  o silicato de cálcio reduziu IDO e AACPD em 22,2%. O silicato de cálcio foi significativamente mais eficiente que o silicato de potássio, reduzindo a IDO na maior dose ( $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ) e a AACPD já aos  $0,75 \text{ g L}^{-1}$ . Não houve redução da incidência da doença.

Na cultivar Pacovan Ken, resistente à doença, com o incremento na concentração de Si verificou-se o aumento do PI e decréscimo do IDO e AACPD, todos ajustados ao modelo quadrático, resultando em redução da severidade da doença (Fig. 1B, 1D, 1F). O PI foi elevado de 25 para 30 dias, considerando o tempo final de avaliação conforme Iamsupasit *et al.* (1993). Só as plantas sem Si apresentaram sintomas da doença, embora com baixa severidade, os quais não evoluíram posteriormente. Não houve sintomas nas plantas tratadas a partir da dose  $0,25 \text{ g L}^{-1}$ , ou seja, o IDO e AACPD foram reduzidos em 100%. Ambos os silicatos apresentaram o mesmo efeito, não diferindo entre si.

### **Concentração de silício nos tecidos vegetais**

A concentração de Si na parte aérea e raízes de ambas as cultivares e fontes, antes e após a aclimatização foi maior na dose  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  em relação à testemunha sem Si (Fig.2).



Nas duas cultivares, antes da aclimatização, o silicato de cálcio foi mais eficiente que o silicato de potássio ( $P \leq 0,05$ ) em acumular Si na parte aérea (Fig. 2A e 2E). O contrário aconteceu nas raízes, onde o silicato de potássio foi mais eficiente (Fig. 2C, 2G). Após aclimatização, 45 dias após o plantio, não houve diferença significativa entre as fontes de Si (Fig. 2B, 2D, 2F, 2H).

Na parte aérea da cultivar Maçã houve aumento de 6,4 % da concentração de Si promovido pelo silicato de cálcio, enquanto que o silicato de potássio promoveu um aumento de 28,7%. Já nas raízes, o silicato de cálcio aumentou a concentração de Si em 28,5% e o silicato de potássio aumentou em 19,4%. Na parte aérea da ‘Pacovan Ken’ houve aumento de 5,4% da concentração de Si promovido pelo silicato de cálcio, enquanto que o silicato de potássio promoveu um aumento de 20,6%. Já nas raízes, o silicato de cálcio aumentou a concentração de Si em 11,5% e o silicato de potássio aumentou em 2,8%.

Para as cultivares Maçã e Pacovan Ken, tanto no silicato de cálcio quanto no de potássio, houve correlação positiva significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre o PI e a concentração de silício na parte aérea (‘Maçã’ SC:  $r=0,93$  e SP:  $r=0,87$ ; ‘Pacovan Ken’ SC:  $r=0,56$  e SP:  $r=0,59$ ) e raízes (‘Maçã’ SC:  $r=0,90$  e SP:  $r=0,89$ ; ‘Pacovan Ken’ SC:  $r=0,56$  e SP:  $r=0,59$ ). Para a cultivar Maçã, na parte aérea, o silicato de cálcio teve correlação negativa significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre o IDO e a concentração de silício ( $r=-0,68$ ), e entre a AACPD e a concentração de silício ( $r=-0,80$ ). Já para o silicato de potássio esta correlação não existiu. No entanto, nas raízes, as duas fontes de Si apresentaram correlação negativa significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre a IDO e a concentração de silício (SC:  $r=-0,69$  e SP:  $r=-0,55$ ), e entre a AACPD e a concentração de silício (SC:  $r=-0,78$  e SP:  $r=-0,46$ ). Para a cultivar Pacovan Ken, tanto a parte aérea quanto as raízes nas duas fontes de Si, apresentaram correlação significativa negativa ( $P \leq 0,05$ ) entre a IDO e a concentração de silício (SC:  $r = -0,56$  e SP:  $r = -0,59$ ) e entre a AACPD e a concentração de silício (SC:  $r = -0,71$  e SP:  $r = -0,75$ ).

### **Análises anatômicas das raízes**

Antes e após a aclimatização das plantas, as espessuras da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ foram influenciadas pelas fontes de Si. O silicato de cálcio foi mais eficiente que o silicato de

potássio no aumento da espessura da epiderme radicular, córtex e cilindro central, enquanto o silicato de potássio foi mais eficiente no aumento da espessura da endoderme (Fig. 5).

Em ‘Maçã’, após a aclimatização, houve aumentos de 21,2; 24,8; 21,2 e 23,9% na espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central, respectivamente, promovido pelo silicato de cálcio, enquanto que o silicato de potássio promoveu aumentos de 8,9; 2,1; 7,7 e 1,4%, respectivamente (Fig. 3A, 3B, e 3C). Em ‘Pacovan Ken’, após a aclimatização, houve aumentos de 19,4; 43,0; 2,9 e 39,7% na espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central, respectivamente, promovidos pelo silicato de cálcio, enquanto que o silicato de potássio promoveu aumentos de 6,3; 17,1; 3,9; e 11,3%, respectivamente (Fig. 4D, 4E e 4F).

Na banana ‘Maçã’ cultivada com silicato de cálcio houve correlação significativa positiva ( $P \leq 0,05$ ) entre o PI e todas as variáveis anatômicas (EER:  $r=0,85$ ; EC:  $r=0,82$ ; EE:  $r=0,79$ ; ECC:  $r=0,64$ ), bem como correlação significativa negativa ( $P \leq 0,05$ ) entre IDO e as variáveis anatômicas (EER:  $r=-0,54$ ; EC:  $r=-0,71$ ; EE:  $r=-0,62$ ; ECC:  $r=-0,54$ ), e entre AACPD e as variáveis anatômicas (EER:  $r=-0,72$ ; EC:  $r=-0,77$ ; EE:  $r=-0,80$ ; ECC:  $r=-0,65$ ). Já com o silicato de potássio, esta correlação positiva só foi observada entre PI com a espessura do córtex ( $r=0,79$ ), endoderme ( $r=0,93$ ) e cilindro central ( $r=0,77$ ). Correlação negativa só foi encontrada entre IDO e espessura da endoderme e ( $r=-0,46$ ). Na ‘Pacovan Ken’ cultivada tanto no silicato de cálcio quanto no de potássio houve correlação significativa positiva entre o PI e todas as variáveis anatômicas (SC - EER:  $r=0,62$ ; EC:  $r=0,65$ ; EE:  $r=0,39$ ; ECC:  $r=0,70$  e SP - EER:  $r=0,48$ ; EC:  $r=0,57$ ; EE:  $r=0,64$ ; ECC:  $r=0,60$ ), bem como correlação negativa entre IDO e as variáveis anatômicas (SC- EER:  $r=-0,62$ ; EC:  $r=-0,65$ ; EE:  $r=-0,39$ ; ECC:  $r=-0,70$  e SP- EER:  $r=-0,48$ ; EC:  $r=-0,57$ ; EE:  $r=-0,64$ ; ECC:  $r=-0,60$ ) e entre AACPD e as variáveis anatômicas (SC- EER:  $r=-0,80$ ; EC:  $r=-0,82$ ; EE:  $r=-0,53$ ; ECC:  $r=-0,89$  e SP- EER:  $r=-0,64$ ; EC:  $r=-0,75$ ; EE:  $r=-0,85$ ; ECC:  $r=-0,77$ ).

## Discussão

O silício tem efeito evidente na redução de várias doenças de plantas (Korndörfer & Oliveira, 2010), inclusive em bananeira, na podridão radicular (Vermeire *et al.*, 2011), sigatoka negra (Kablan *et al.*, 2012) e murcha-de-fusário (Conceição,

2010; Fortunato *et al.*, 2012); bem como favorece a melhoria estrutural e fisiológica de plantas micropropagadas (Adatia & Besford, 1986; Zhou, 1995; Silva, 2007; Soares *et al.*, 2007; Braga *et al.*, 2008, 2009; Asmar *et al.*, 2011). Neste trabalho, o uso de silício na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ adiou o aparecimento da murcha-de-fusário (PI) e diminuiu a severidade da doença (IDO e AACPD). Na cultivar Maçã, suscetível à doença, a severidade foi reduzida em até 22,2% com o silicato de cálcio (Fig 1). Pesquisas com Si em bananeira têm obtido índices variáveis de redução da severidade de doenças. Com relação à murcha-de-fusário, o tratamento com Agrosilício<sup>®</sup> no solo para cultivo de ‘Maçã’ e ‘Grande Naine’ reduziu a AACPD em 47,0% (Conceição, 2010), entretanto, a área abaixo da curva de progresso dos sintomas reflexos da doença em bananeira ‘Maçã’ foi reduzida em apenas 12,4% pela aplicação de silicato de cálcio ao solo (Fortunato *et al.*, 2012). Já Vermeire *et al.* (2011) obtiveram redução de aproximadamente 50% da severidade da podridão radicular da bananeira (*Cylindrocladium spathiphylli*) pela adição de 2 mM de Si, na forma de silicato de cálcio em solo em casa de vegetação. Desta forma, os índices de redução de severidade obtidos neste trabalho estão dentro das respostas até agora encontradas na literatura, com o diferencial que foram iniciados na fase *in vitro* da propagação das plantas de bananeira, proporcionando mais um método alternativo para controle da doença, que seria a produção de mudas silicatadas. Até onde vai o conhecimento atual da literatura especializada, este tipo de trabalho ainda não foi realizado visando o controle específico de doenças, mas sim o aumento de vigor de plantas de gérbera (Silva, 2007), morango (Braga *et al.*, 2009), orquídea (Soares *et al.*, 2011) e banana (Asmar *et al.*, 2011). É importante enfatizar que o Si também produz efeitos benéficos em doenças foliares da bananeira, pois o uso de ácido silícico em campo, reduziu em média 45,3% dos sintomas de sigatoka negra (Kablan *et al.*, 2012).

Antes da aclimatização, a concentração de Si na folha foi maior quando o silicato de cálcio foi acrescido ao meio de cultivo (Fig. 2 A, E), devido à maior absorção deste elemento pelas raízes e posterior translocação para a parte aérea, justificando, assim, as baixas concentrações de Si observadas nas raízes destes tratamentos (Fig. 2C, G). É importante salientar que o ácido monossilícico, forma pela qual o Si é absorvido, compete com o Ca por sítios de ligação na parede celular de plantas, devido à sua afinidade por ácidos orgânicos, álcoois polihídricos, lignina, carboidratos e alguns compostos fenólicos (Inanaga & Okasaka, 1995). Quando o silicato de potássio foi

utilizado, o silício concentrou-se nas raízes, indicando reduzida distribuição e translocação para as folhas. O mesmo foi verificado por Asmar *et al.* (2011), quando usou silicato de cálcio, silicato de potássio e silicato de sódio na micropropagação de bananeira ‘Maçã’. De forma geral, o silício tende a se concentrar nos tecidos de sustentação do caule, nas folhas e, em menores concentrações, nas raízes (Elawad & Green Junior, 1979).

Após a aclimatização, a concentração de Si nos tecidos vegetais não dependeu da fonte de Si utilizada, mas sim das doses de Si no meio de cultura (Fig. 2). Esse resultado confirma o de Henriët *et al.* (2006) que relataram o acúmulo de silício em plantas jovens de bananeira dependente da concentração de Si na solução, ou seja uma relação dose-resposta à absorção deste elemento. Além disso, neste estudo verificou-se, também, que as bananeiras continuavam a acumular Si, mesmo 45 dias após aclimatização, concordando com Fortunato *et al.* (2012), que relataram aumento significativo da concentração de Si de 8 para 24, 32 e 40 dias após a inoculação de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* em mudas de bananeira ‘Maçã’ e ‘Grande Naine’.

O transporte radial de Si da solução externa para as raízes inclui transportadores de influxo e efluxo. O Ls1 é um transportador de influxo do Si da solução externa às células de raízes (Ma *et al.*, 2006, 2008), enquanto o Ls2 é o transportador de efluxo capaz de transportar Si para fora das células. No sistema radicular, o Ls1 encontra-se nas raízes principais e laterais, mas não nos pêlos absorventes (Oliveira *et al.*, 2010).

Além disso, a absorção de Si na região apical das raízes (0 a 10 mm), que constitui o meristema apical e na zona de alongamento é mais baixa do que nas regiões basais (> 10 mm) (Yamaji & Ma, 2007). Portanto, no presente trabalho, o terço médio da maior raiz foi uma boa escolha para verificar a concentração de Si no tecido radicular, pois as raízes formadas *in vitro* são pouco funcionais por não apresentarem pelos radiculares (MacClelland *et al.*, 1990). Isto indica, provavelmente, que a informação genética para codificação do transportador Ls1 estava no explante e que sua inoculação em meio de cultura contendo este elemento, permitiu sua expressão e o influxo do Si.

A absorção de Si também está relacionada a alguma forma de defesa da planta, seja ela contra estresse biótico ou abiótico. Assim, as plantas absorvem mais deste elemento em condições de estresse e com isso aumentam a resistência às condições adversas (Oliveira *et al.*, 2010). Provavelmente, neste trabalho houve uma maior

absorção do Si pelas mudas de bananeira micropropagadas, já que o processo de micropropagação causa elevado estresse ao tecido vegetal durante a preparação do explante e ao longo do cultivo *in vitro*, devido à composição dos meios de cultura e aos fatores ambientais (Camara & Willadino, 2005). A quantidade de Si a ser adicionada ao meio de cultura precisa ser definida ou calculada com bastante critério, pois segundo Korndörfer *et al.* (2004), quanto mais Si for absorvido pela planta, maiores são as chances de resultados promissores no controle de doenças.

A presença de silício nos tecidos da testemunha, cultivada em meio MS sem silício, pode ser explicada pelo fato do Si ser um elemento muito abundante na natureza, estando presente em toda parte, inclusive na água (Luz *et al.*, 2006). No entanto, não há como confirmar esta hipótese, pois não foi medida a quantidade deste elemento na água utilizada para o preparo do meio de cultura.

A bananeira é uma monocotiledônea e, em geral, o conteúdo médio de Si nas raízes é menor quando comparado com o pseudocaule e folhas (Fortunato *et al.*, 2012). A maior parte do Si transportado das raízes pela corrente transpiratória é acumulado e precipitado como SiO<sub>2</sub> em órgãos da parte aérea, tornando-se imóvel (opala biogênica) e, portanto, não sendo redistribuído (Jones & Handreck, 1967). Mais uma vez, a bananeira comportou-se como acumuladora de silício (0,94 e 1,09 g kg<sup>-1</sup>) concordando com Jauhari *et al.* (1974) e Kablan *et al.* (2012), os quais verificaram uma variação de 0,7-3,8 dag kg<sup>-1</sup> e 1 a 2,8 dag kg<sup>-1</sup> de Si nas folhas de plantas jovens de bananeira, respectivamente. A cultivar Pacovan Ken (AAAB), lançada em 2004-2005, ainda não estudada quanto ao Si, teve comportamento similar ao das triplóides ‘Maçã’ e ‘Grande Naine’ (Asmar *et al.*, 2011; Fortunato *et al.*, 2012) em relação a acumulação deste elemento nos tecidos.

Mesmo apresentando uma menor concentração de Si em relação a parte aérea, as duas fontes de Si promoveram melhoria na estruturação das raízes da bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’. O silicato de cálcio foi mais eficiente que o silicato de potássio no aumento da espessura da epiderme radicular, córtex e cilindro central, ocorrendo o contrário no caso da espessura da endoderme (Fig. 5). Estas modificações fortalecem as raízes e promovem o seu funcionamento, favorecendo a translocação do Si para parte aérea, já que as raízes produzidas *in vitro* são fracas e pouco funcionais, por não apresentarem pêlos radiculares, além de propiciarem pobre conexão vascular com a parte aérea das plantas, resultando numa restrita transferência de água e nutrientes para

a parte aérea, comprometendo o crescimento (Pierik, 1990; MacClelland, *et al.*,1990). No presente trabalho, o Si foi facilmente absorvido, pois não dependeu dos pêlos radiculares para esta absorção e prontamente translocado para a parte aérea da planta, por ter melhorado a estruturação das raízes.

Após a aclimatização, os aumentos médios de espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central variaram de 21,2 a 24,8% para o silicato de cálcio e 1,4 a 8,9% para o silicato de potássio, respectivamente. O processo de aclimatização de plantas consiste em modificações morfológicas, anatômicas e fisiológicas, como forma de diminuir a possibilidade de estresse, para que as mesmas possam sobreviver e crescer vigorosamente em um novo ambiente (Hararika, 2003). Esse processo tem sido um grande entrave para a micropropagação de muitas espécies e sua otimização pode melhorar ainda mais a eficiência na sobrevivência e vigor das mudas (Pereira *et al.*, 2005). O uso de silício contribui para a qualidade final do vegetal, pois seu acúmulo na parede celular permite proteção às plantas, aumento da capacidade fotossintética, redução de perda de água e, ainda, promove um maior crescimento (Epstein, 1999).

Em geral, para ambas as cultivares e fontes de Si foram observadas correlações da concentração de Si nos tecidos e variáveis anatômicas das raízes, positivas com o PI e negativas com IDO e AACPD, exceto para silicato de potássio em bananeira ‘Maçã’. A verificação dessas correlações indica que, a adição de silicatos ao meio de micropropagação de mudas de bananeira, resulta em geral no aumento da concentração de Si nos tecidos vegetais e maior estruturação das raízes, o que contribui para a redução da severidade da murcha-de-fusário em mudas silicatadas.

Os componentes da resistência de bananeira à doença foram influenciados pelo Si, mostrando o papel benéfico deste elemento na redução dos sintomas da murcha-de-fusário. Além disso, as mudas tratadas com o Si apresentaram elevados teores deste elemento nas raízes e parte aérea, bem como melhor estruturação dos tecidos das raízes.

Portanto, uma vez que, cultivares resistentes a murcha-de-fusário com características agronômicas aceitáveis são praticamente inexistentes, o uso de mudas micropropagadas com fontes de Si solúvel pode tornar-se uma nova tecnologia a ser incluída no manejo integrado da doença, principalmente no caso de bananeiras suscetíveis, a exemplo da cultivar Maçã.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a FACEPE (APQ-0583-5.01/08) pela concessão de auxílio financeiro e pela bolsa concedida ao primeiro autor. Ao CNPq (Proc. 309.697/2011-5) pela concessão de bolsa de produtividade a R. L. R. Mariano e E. B. Souza. Ao CETENE pela micropropagação das bananeiras e pelas análises microscópicas realizadas. A Manoel Urbano, Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, pela disponibilização dos explantes de bananeira 'Maçã' e 'Pacovan Ken' e à professora Terezinha Rangel Camara, da UFRPE, pela orientação em micropropagação.

## Referências bibliográficas

- Agriannual 2012: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2012.
- Alves, A.O. (2012) *Controle alternativo da murcha bacteriana do pimentão utilizando óleos essenciais vegetais e silicato de cálcio*. Doutorado. Tese. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Asmar A.S., Pasqual M., Rodrigues F.A., Araujo A.G., Pio L.A.S., Silva S.O. (2011) Fontes de silício no desenvolvimento de plântulas de bananeira 'Maçã' micropropagadas. *Ciência Rural*, **41**, 1127-1131.
- Adatia, M. H., Besford, R. T. (1986) The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*, **58**, 343-351.
- Braga, F. T., Rafael, G. C., Valente, T. T. C., Nunes, C. F., Pasqual, M. (2008) Fontes e concentrações de silício na multiplicação *in vitro* de abacaxizeiro cv. 'Iac Gomo de Mel'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., Vitória. Anais... Vitória: INCAPER, 2008. Disponível em: <[www.incaper.es.gov.br/congressos/congresso.../Trabalho%20Poster.pdf](http://www.incaper.es.gov.br/congressos/congresso.../Trabalho%20Poster.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- Braga F.T., Nunes C.F., Favero A.C., Pasqual M., Carvalho J.G., Castro E.M. (2009) Anatomical characteristics of the strawberry seedlings micropropagated using different sources of silicon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **44**, 128-132.
- Buddenhagen, I.W. (2009) Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and history of introduction of 'tropical race 4' to better manage banana production. In *Proceedings of the International Symposium on Recent Advances in Banana Crop Protection for Sustainable Production and Improved Livelihoods*, pp. 193–204, Eds. Jones, D., Van Den, I.B. White River, South Africa.

- Bukatsch, F. (1972). Bermerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. *Mikrokosmos*, **61**, 255.
- Camara T.R., Willadino L. (2005) Compreendendo o estresse abiótico in vitro. In *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*, pp. 325-333. Eds R.J.M. Nogueira, E.L.A. Araújo, L. Willadino, U. Maaze. Recife, PE, BRA: MXM Gráfica e Editora.
- Conceição, E.G.J. (2010) *Uso do silício na nutrição da bananeira e no controle do Mal-do-panamá*. Mestrado. Dissertação. Universidade do Rêconcavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil.
- Cordeiro Z.J.M., Matos A.P., Filho, P.E.M. (2004) Doenças e métodos de controle. In *O Cultivo da bananeira*, pp. 146-182. Eds BORGES *et al.* Cruz das Almas, BA, BRA: Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Cordeiro Z.J.M., Matos A.P., Kimati H. (2005) Doenças da bananeira (*Musa* spp.) In *Manual de Fitopatologia. Doenças das plantas cultivadas*, pp. 99-117. Eds H. Kimati, L. Amorin, J.A.M. Rezende, A. Bergamin Filho, L.E.A. Camargo. São Paulo, SP, BRA: Editora Agronômica Ceres.
- Cronauer S.S., Krikorian A.D. (1984) Rapid multiplication of bananas and plantains by in vitro shoot tip culture. *HortScience*, **19**, 234-235.
- Dannon, E. A.; Wydra, K. (2004) Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **64**, 233-243.
- Datnoff L.E., Rodrigues F.A., Seebold K.W. (2007) Silicon and Plant Disease. In *Mineral Nutrition and Plant Disease*, pp. 233–246. Eds L.E. Datnoff, W.H. Elmer, D.M. Huber. St. Paul, MN, USA: APS Press.
- Delvaux B. (1995) Soils. In *Bananas and plantains*, pp. 230-257. Ed S.GOWEN. London, ENGL, UK: Chapman and Hall.
- Elawad S. H., Green Jr. V.E. (1979) Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Revista IL RISO*, **28**, 235-253.
- Epstein E. (1999) Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **50**, 641–664.
- Fortunato A.A., Rodrigues F.Á., Baroni J.C.P., Soares G.C.B., Rodriguez M.A.D., Pereira O.L. (2012) Silicon Suppresses Fusarium Wilt Development in Banana Plants. *Journal of Phytopathology*, **160**, 674-679.

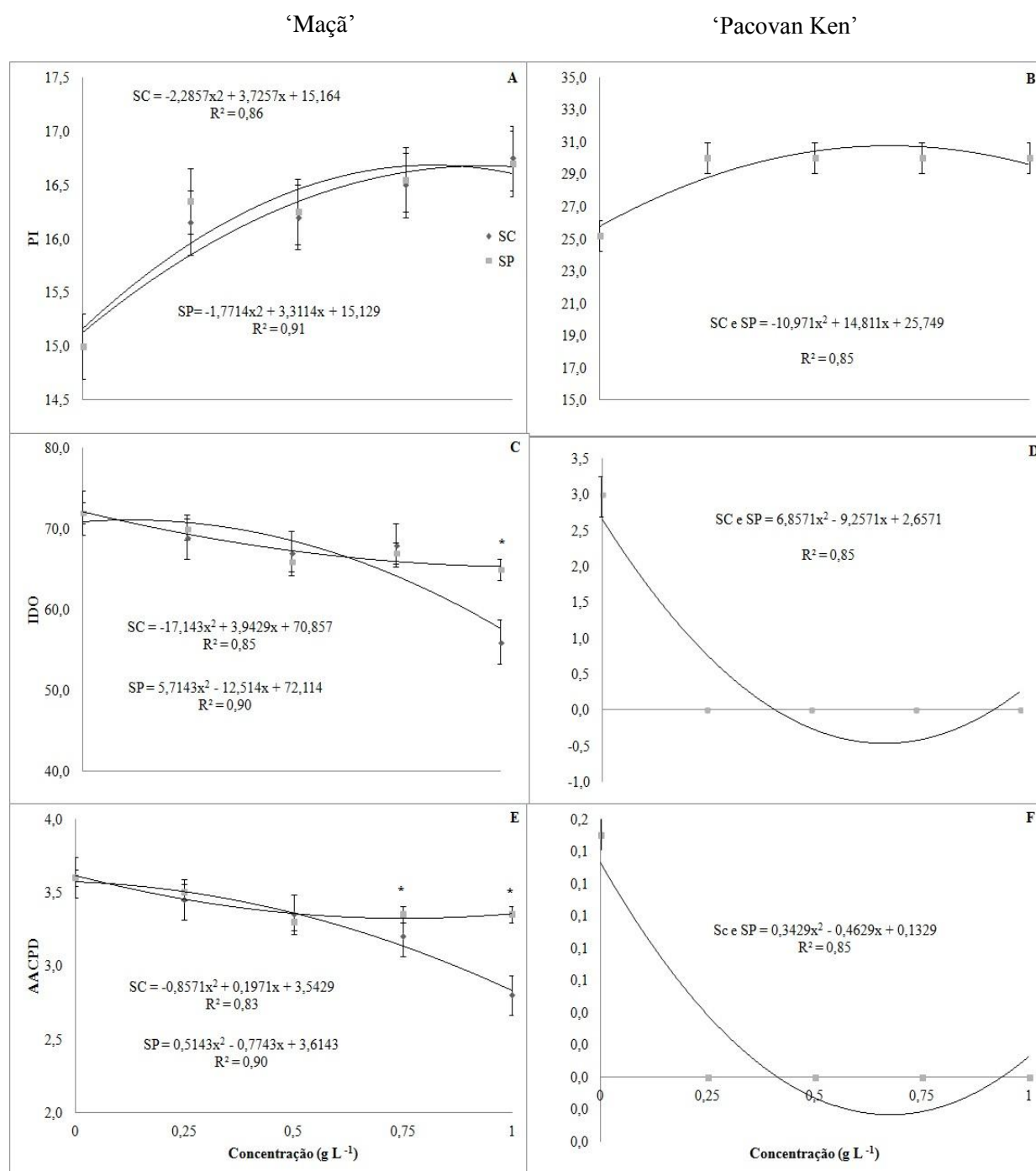


- French-Monar R.D., Rodrigues F.A., Korndörfer G.H., Datnoff L.E. (2010) Silicon suppresses Phytophthora blight development on bell pepper. *Journal of Phytopathology*, **158**, 554–560.
- Hararika B.N. (2003) Acclimatization of tissue-cultured plants. *Current Science*, **85**, 1704-1712.
- Henriet C., Draye X., Oppitz L., Swennen R., Delvaux B. (2006) Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. *Plant Soil*, **287**, 359-374.
- Huang C.H., Roberts P.D., Datnoff L.E. (2011) Silicon suppresses Fusarium crown and root rot of tomato. *Journal of Phytopathology*, **159**, 546–554.
- Iamsupasit, N., Chakraborty S., Cameron D.F., Adkins S.W. (1993) Components of quantitative resistance to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) in tetraploid accessions of the pasture legume *Stylosanthes hamata*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Sydney, **33**, 855-860.
- Inanaga S., Okasaka A. (1995) Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. *Soil Science and Plant Nutrition*, **41**, 103–110.
- Jauhari O.S., Mishra R.A., Tewari C.B. (1974) Nutrient uptake of banana (*Musa paradisiaca*) var. Basrai Dwarf. *Indian Journal of Agricultural Chemistry*, **74**, 73–79.
- Johansen D.A. (1940) *Plant microtechnique*. pp. 533. New York, NY, USA: MacGraw-Hill.
- Jones L.H.P., Handreck K.A. (1967) Silica in soils, plants and animals. *Advances in Agronomy*, **19**, 107-149.
- Kablan L., Lagauche A., Delvaux B., Legréve A. (2012) Silicon reduces black sigatoka development in banana. *Plant Disease*, **96**, 273–278.
- Korndörfer G.H., Pereira H.S., Nola A. (2004) *Análise de Silício: Solo, Planta e Fertilizante*. pp. 34. Uberlândia, MG, BRA: GPSi-ICIAG-UFU.
- Korndörfer G.H., Oliveira L.A. (2010) Uso de silício em culturas comerciais. In *Silício na agricultura*, pp. 3-26, Ed. Rodrigues, F.A. Viçosa, UFV.
- Kraus J.E., Arduin M. (1997). *Manual básico de métodos em morfologia vegetal*. pp. 198. Rio de Janeiro, RJ, BRA: Editora da Universidade Rural.
- Luz J.M.Q., Guimarães S.T.M.R., Korndörfer G.H. (2006) Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. *Horticultura Brasileira*, **24**, 295-300.

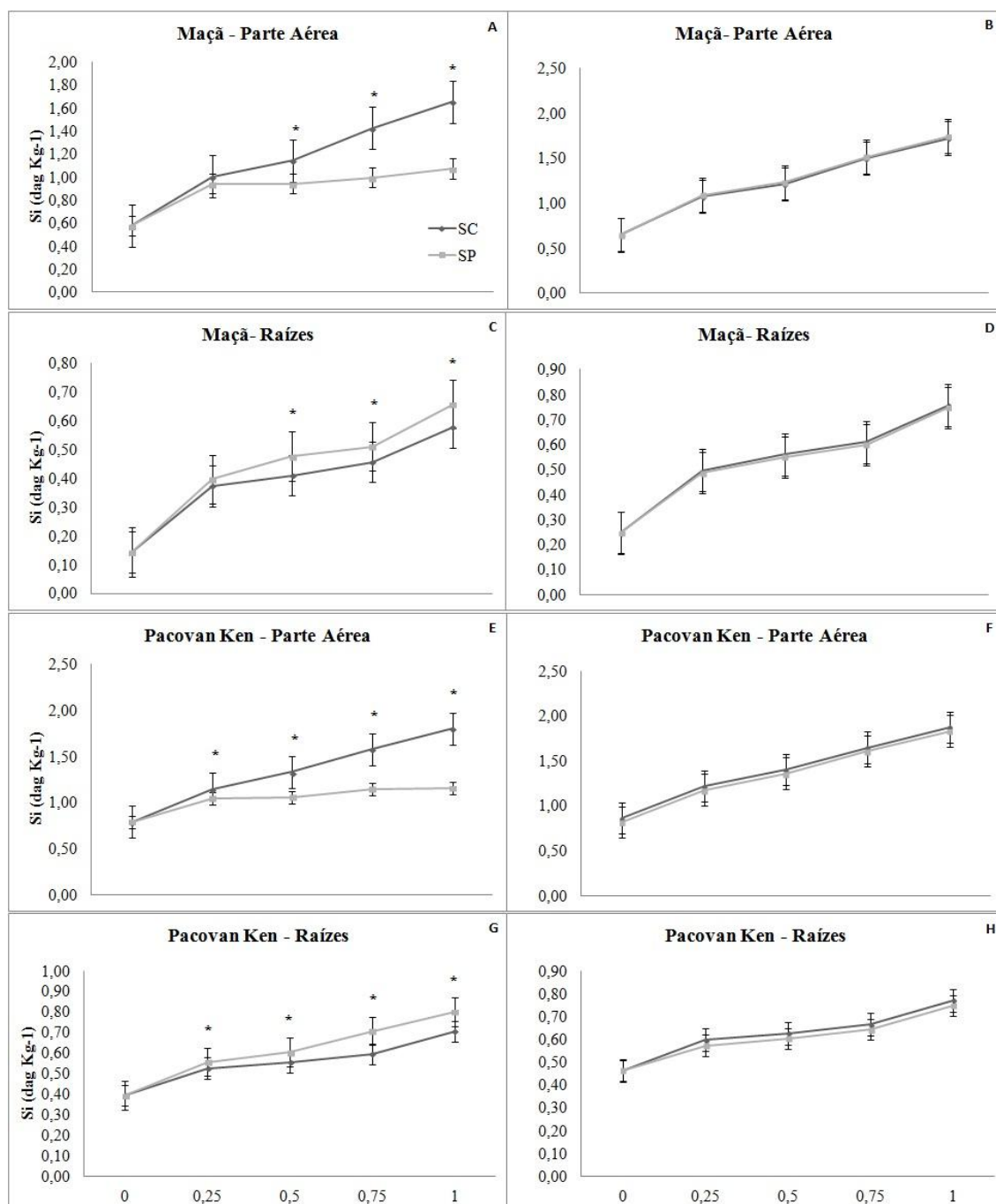
- Ma, J.F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., Katsuhara, M., Ishiguro, M., Murata, Y., Yano, M. (2006). A silicon transporter in rice. *Nature*, **440**, 688–691.
- Mcclelland M.T., Smith M.A.L., Carothers Z.B. (1990) The effects of *in vitro* and *ex vitro* root initiation on subsequent microcutting root quality in three woody plants. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, **23**, 115-123.
- Mckinney, R.H. (1923) Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research*, **6**, 195-218.
- Molina A.B.; Fabregar E.G.; Sinohin V.; Fourie G.; Viljoen A. (2008) Tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causing new Panama wilt epidemics in Cavendish varieties in the Philippines. *Phytopathology*, **98**, S108.
- Murashige T.; Skoog F. (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, **15**, 473-497.
- Nielsen L.W., Haynes F.L., (1960) Resistance in *Solanum tuberosum* to *Pseudomonas solanacearum*. *American Potato Journal*, **37**, 260-267.
- Oliveira L.A., Abreu Junior C.H., Carneiro J.M.T., Bendassolli J.A. (2010) Mecanismos de absorção do silício pelas plantas. In *Silício na Agricultura: Anais do V Simpósio Brasileiro sobre silício na agricultura*, pp. 61-88. Ed F.A. Rodrigues. Viçosa, MG: UFV.
- Pereira J.C.R.; Gasparotto L.; Coelho A.F.S.; Vêras S.M. (2003) Doenças da bananeira no Estado do Amazonas. 3. ed. rev. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 12 p. (Embrapa Amazônia Ocidental, Circular Técnica, 20).
- Pereira M.C.T., Nietsche S., França A.C., Nunes C.F., Lima C., Gonçalves V.D., Salles B.P., Morais D.L.B., Kobayashi M.K. (2005) Aclimatização de mudas micropropagadas de bananeira sob diferentes condições de luminosidade. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **27**, 238-240.
- Pierik R.L.M. (1990) Produccion de plantas libres de enfermedades In *Cultivo in vitro de las plantas superiores*, pp.169-180. Ed R.L.M Pierik. Madrid, SPA: Ediciones Mundi-Pronsa.
- Ploetz R.C. (1990) Variability in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Canadian Journal of Botany*, **68**, 1357–1363.
- Ploetz R.C. (2006) Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology*, **96**, 653–656.

- Shaner, G., Finney, R.E. (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, **67**, 1051-1056.
- Silva, D.P. (2007) *Meios de cultura e fontes de silício no desenvolvimento in vitro de gérbera*. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Soares J.D.R., Villa F., Rodrigues F.A., Pasqual M., Carvalho, J. G. Fontes de Silício na propagação *in vitro* de orquídea. Lavras: UFLA, 2007. Disponível em: <[http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.maa.gba.gov.ar%2Fagricultura\\_ganaderia%2Ffloricultura%2FMACRO%2520MICRO%2520PROPAG%2F70%255B1%255D.Fontes\\_de\\_silicio\\_na\\_propagacao\\_de\\_orquidea.doc&ei=btDEUfS9DJTH0gGHs4C4BQ&usq=AFQjCNHZVn0uv5dzilJW-n3a-Uxs2zDyFA&sig2=6NqxmLhC0QdgOosRPBmv4g](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.maa.gba.gov.ar%2Fagricultura_ganaderia%2Ffloricultura%2FMACRO%2520MICRO%2520PROPAG%2F70%255B1%255D.Fontes_de_silicio_na_propagacao_de_orquidea.doc&ei=btDEUfS9DJTH0gGHs4C4BQ&usq=AFQjCNHZVn0uv5dzilJW-n3a-Uxs2zDyFA&sig2=6NqxmLhC0QdgOosRPBmv4g)>. Acesso em: 23 mar. 2013.
- Soares J.D.R., Pasqual M., Rodrigues F. A., Villa F., Araujo, A. G. (2011) Fontes de silício na micropropagação de orquídea do grupo *Cattleya*. *Acta Scientiarum Agronomy*, **33**, 503-507.
- Stover R.H. (1972) *Banana, plantain and abaca diseases*. pp. 316. Kew, ENGL, UK: Commonwealth Mycological Institute.
- Subramaniam S., Maziah M., Sariah M., Puad M.P., Xavier R. (2006) Bioassay method for testing *Fusarium* wilt disease tolerance in transgenic banana. *Scientia Horticulturae*, **108**, 378–389.
- Sun E.J., Su H.J., Ko W.H. (1978) Identifications of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4 from soil or host tissue by cultural characters. *Phytopathology*, **68**, 1672-1673.
- Trindade D.R., Tabosa S.A., Leite M.A.N., Poltronieri L.S., Duarte M.L.R. (2002) Doenças da bananeira no Estado do Pará. pp. 8. Belém, PA, BRA: EMBRAPA (Circular Técnica, 27).

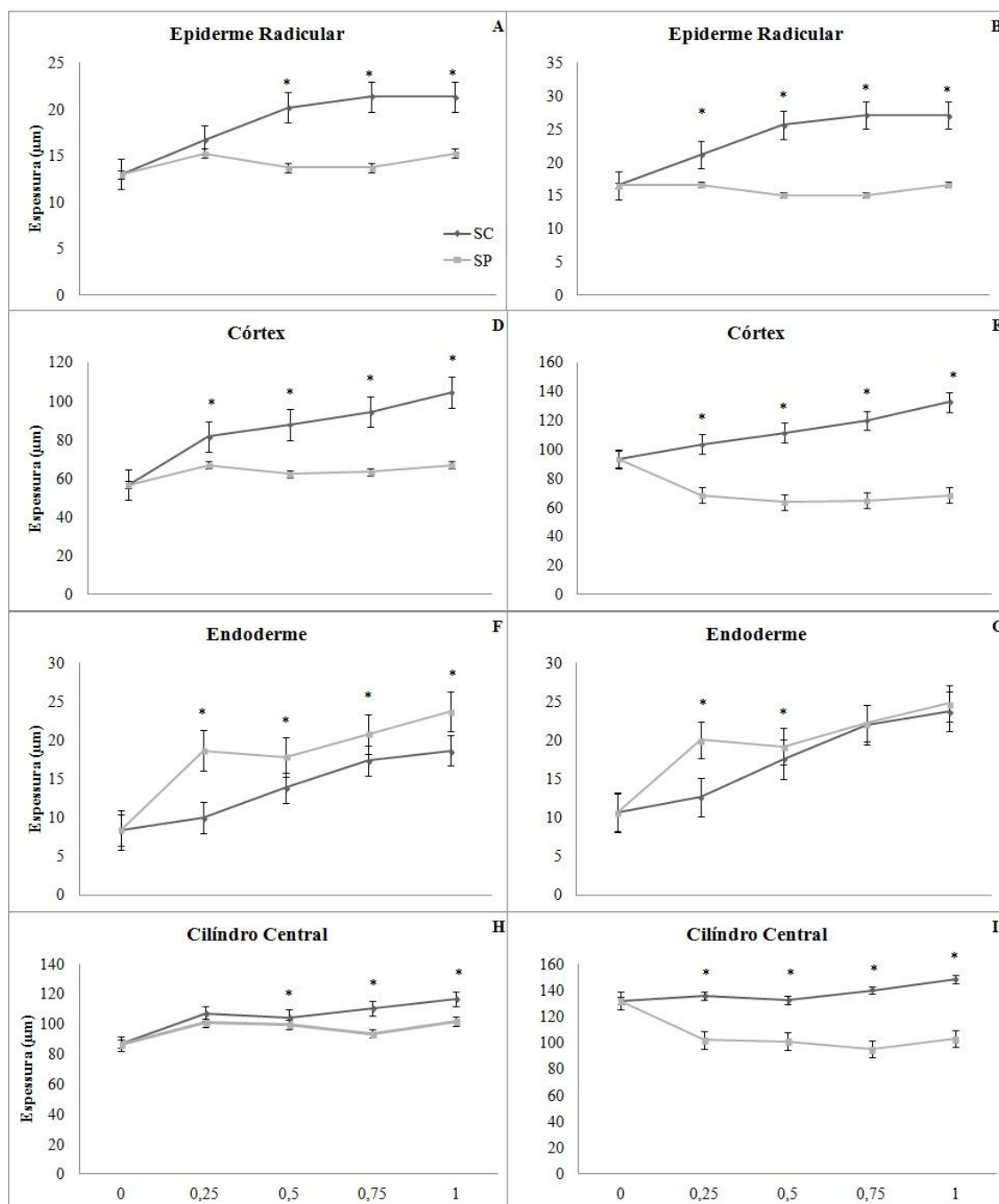
- Ventura A.J., Hinz R.H. (2002) Controle das doenças da bananeira. In Controle de doenças de plantas pp. 839- 938. Eds. Zambolim L., Vale F.X.R., Monteiro A.J.A., Costa H, Fruteiras. Vol. 2. Viçosa MG.
- Vermeire M.L., Kablan L., Dorel M., Delvaux B., Rise`de J.M., Legrèvê A. (2011) Protective role of silicon in the banana-*Cylindrocladium spathiphylli* pathosystem. *European Journal of Plant Pathology*, **131**, 621–630.
- Yamaji, N., Ma, J.F. (2007) Spatial distribution and temporal variation of the rice silicon transporter Lsi1. *Plant Physiology*, **143**, 1306–1313.
- Zhou, T.S. (1995) The detection of the accumulation of silicon in *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Annals of Botany*, **75**, 605-607.



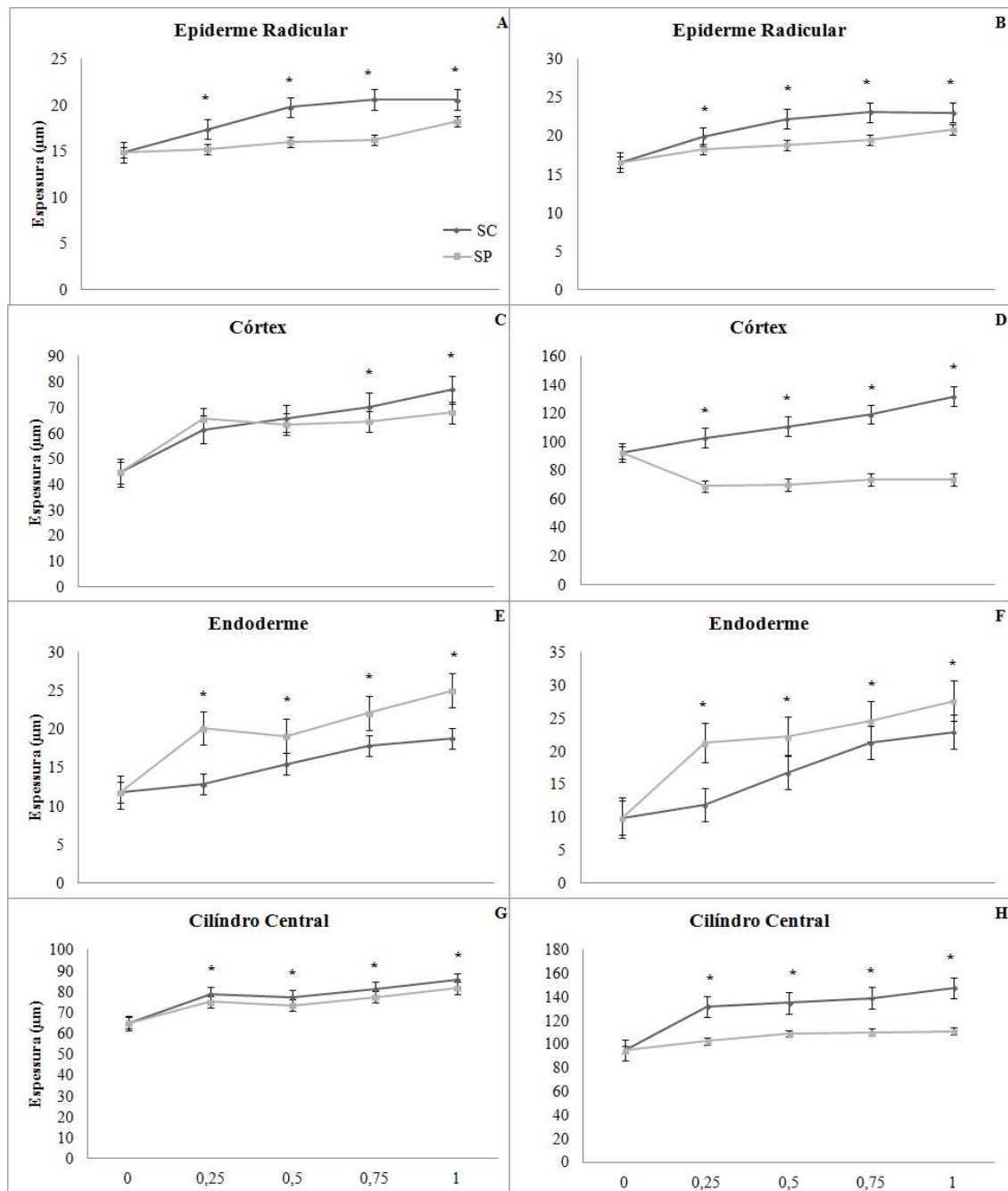
**Figura 1** Efeito de dosagens de silicato de cálcio (SC) e de silicato de potássio (SP) no controle da murcha-de-fusário causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raça 1, inoculado aos 45 dias após início da aclimatização, avaliado pelo período de incubação (PI), índice de doença (IDO) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), em mudas de bananeira das cultivares Maçã (A, C, E) e Pacovan Ken (B, D, F). Cada ponto representa a média de cinco repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos SC e SP seguidas por \* diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 2** Efeito de dosagens de silicato de cálcio (SC) e de silicato de potássio (SP) na concentração de silício (Si) na parte aérea e raízes de bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ cultivadas antes da aclimatização por 45 dias (A, C, E, G) e após aclimatização por 45 dias (B, D, F, H). Cada ponto representa a média de três repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos SC e SP seguidas por \* diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

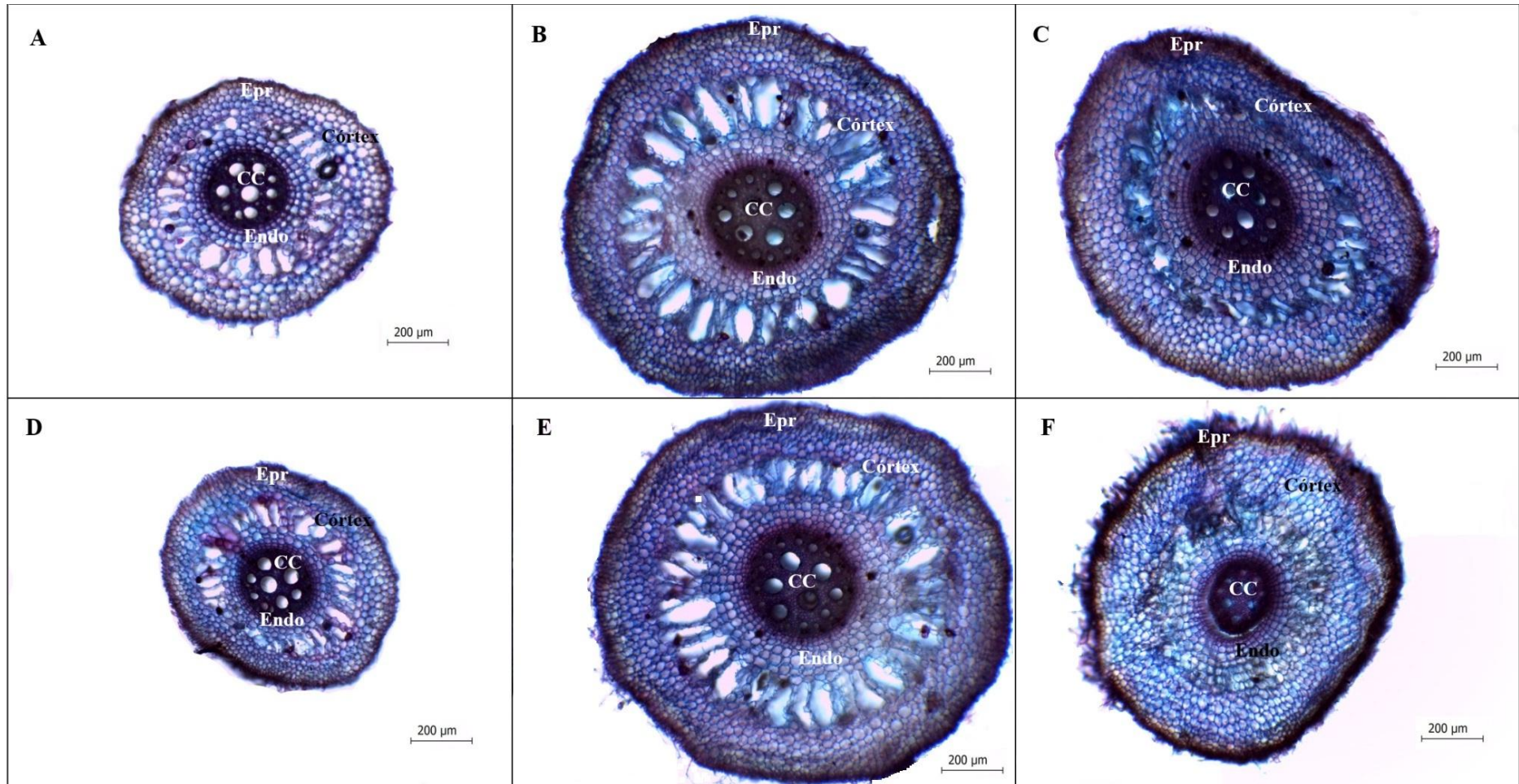


**Figura 3** Efeito de dosagens de silicato de cálcio (SC) e de silicato de potássio (SP) na espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central de raízes de bananeira ‘Maçã’ cultivada antes da aclimatização por 45 dias (A, C, E, G) e após a aclimatização por 45 dias (B, D, F, H). Cada ponto representa a média de três repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos SC e SP seguidas por \* diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 4** Efeito de dosagens de silicato de cálcio (SC) e de silicato de potássio (SP) na espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central de raízes de banana ‘Pacovan Ken’ cultivada antes da aclimatização por 45 dias (A, C, E, G) e após a aclimatização por 45 dias (B, D, F, H). Cada ponto representa a média de três repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos SC e SP seguidas por \* diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.





**Figura 5** Efeito de dose de 1,0 g L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio (SC) (B e E) e de silicato de potássio (SP) (C e F) na espessura da epiderme radicular (Epr), córtex, endoderme (Endo) e cilindro central (CC) de raízes de bananeira ‘Maçã’ (A, B, e C) e ‘Pacovan Ken’ (D, E e F) cultivada após a aclimatização por 45 dias.

## Capítulo III

---

*Silício na micropropagação visando o manejo do moko da bananeira*

# SILÍCIO NA MICROPROPAGAÇÃO VISANDO O MANEJO DO MOKO DA BANANEIRA

C. L. Rollemberg<sup>1</sup>, K. C. S. Felix<sup>1</sup>, L. A. Santos<sup>1</sup>, A. C. B. Barros<sup>2</sup>, E. B. Souza<sup>1</sup>, R. L. R. Mariano<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Fitobacteriologia, Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia Estratégicas do Nordeste (CETENE), Recife, Brasil.

## RESUMO

Foi avaliado o uso do silício (Si) na micropropagação de bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ visando a redução da severidade do moko da bananeira, causada pela *Ralstonia solanacearum* raça 2. As mudas de bananeira foram produzidas *in vitro* com adição de silicato de cálcio e silicato de potássio (0; 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup>) ao meio de cultivo MS nas fases de multiplicação e enraizamento. Após o cultivo *in vitro*, as plantas foram transferidas para tubetes contendo substrato acrescido das mesmas fontes de Si, e mantidas em casa de vegetação por 45 dias, quando foram inoculadas com *R. solanacearum*. Nas cultivares Maçã e Pacovan Ken, a elevação das doses de Si promoveu aumento no período de incubação (PI) e reduções do índice de doença (IDO) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Na dosagem de 1,0 g L<sup>-1</sup>, a AACPD foi reduzida em até 27,3%. Em bananeira ‘Maçã’ o silicato de cálcio foi mais eficiente que o silicato de potássio (P=0,05), enquanto na ‘Pacovan Ken’ não houve diferença. Nas duas cultivares, plantas tratadas com Si, apresentaram de maneira geral, concentrações de clorofilas *a*, *b* e total maiores que as plantas Si- até os seis dias após inoculação, o que pode ter influenciado o PI da doença. Em geral, tanto as enzimas relacionadas ao estresse oxidativo (CAT, SOD e APX), quanto as de defesa da planta (POX, PFO, GLU e QUI), tiveram suas atividades aumentadas nos tratamentos com silício, especialmente com silicato de cálcio, indicando uma possível participação na redução da severidade da doença.

---

<sup>3</sup>Autor para correspondência: R. L. R. Mariano  
Fax: +55.81.3320-6205  
E-mail: rrmac@gmail.com

31

32 **Palavras-chave:** *Ralstonia solanacearum*, ‘Maçã’, murcha bacteriana, cultura de tecido,  
33 ‘Pacovan Ken’, resistência.

34

35

## 36 INTRODUÇÃO

37

38 A bananeira é afetada por diversos problemas fitossanitários, dentre os quais o  
39 moko ou murcha bacteriana causado por *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et  
40 al. raça 2. No Brasil, esta bactéria é uma praga quarentenária A2, que ocorre nos estados  
41 do Amazonas, Amapá, Pará, Acre, Rondônia, Roraima e Sergipe. No Amazonas, em  
42 2001, o moko da bananeira foi detectado em cinco dos 15 municípios visitados, com  
43 prevalência variando entre 11 a 100% das propriedades (Coelho Neto e Nutter Jr.,  
44 2005). No Nordeste, foram detectados focos do moko da bananeira na Paraíba, Ceará  
45 (Ponte e Freire, 1972), Sergipe (Cares, 1988) e Alagoas (Takatsu, 2001). Em Sergipe, a  
46 detecção foi feita em 1987, em áreas irrigadas do Projeto Cotinguiba, município de  
47 Propriá, bem como no Projeto Betume, município de Neópolis. Estes focos foram  
48 erradicados e a área ficou sob vigilância fitossanitária (Silva, 1997). O moko da  
49 bananeira continua ocorrendo na região do baixo São Francisco sergipano, porém com  
50 baixa prevalência, indicando que o foco está sob satisfatório controle quarentenário  
51 (Talamini *et al.*, 2010). Em Alagoas, a doença foi detectada no município de Igreja  
52 Nova e erradicada e está atualmente sob monitoramento (Amorim *et al.*, 2006). Em  
53 Pernambuco, as regiões produtoras de banana estão livres desse patógeno, mas a doença  
54 foi relatada em helicônias, tanto neste estado (Assis *et al.*, 2005) quanto no Amazonas  
55 (Coelho Netto *et al.*, 2004).

56

57 Por ser uma bactéria muito variável e adaptada a uma grande gama de  
58 hospedeiros e condições climáticas, *R. solanacearum* tem sido classificada ao nível  
59 infraespecífico em cinco raças (He *et al.*, 1983) e seis biovars (Hayward, 1964). Com o  
60 advento das técnicas moleculares, a taxonomia de *R. solanacearum* foi revisada e,  
61 atualmente, é considerada um complexo de espécies, sendo classificada em filotipos (I-  
62 IV), sequevares (1-51), clones ou linhagens clonais e biotipos (1-11) (Fegan e Prior,  
63 2005; Xu *et al.*, 2009). Mais recentemente, Remenant et al. (2011) propuseram duas  
novas espécies, além da *R. solanacearum* e três subespécies.

64 O controle de *R. solanacearum* é muito difícil, principalmente devido à ampla  
65 gama de hospedeiros, alta variabilidade genética e sobrevivência no solo por longos  
66 períodos a grandes profundidades, tornando o controle químico inviável e  
67 antieconômico (Hayward, 1994; Lopes e Quezado-Soares, 1997). Os métodos de  
68 controle da doença estão baseados em práticas culturais, como eliminação de ráquis  
69 florais, plantas ou materiais vegetativos contaminados e no ensacamento dos frutos  
70 (Freitas; Aguilar Vildoso, 2004; Bringel *et al.*, 2001). Não existem medidas de controle  
71 eficientes ou variedades resistentes disponíveis que tenham qualquer nível de resistência  
72 ou tolerância à doença, sendo, então, tomadas medidas de exclusão, que visam impedir  
73 que a doença atinja novas áreas (Agrios, 2005). Os prejuízos causados às plantações de  
74 bananeira podem chegar até 100%, em condições favoráveis (Talamini *et al.*, 2010).

75 Uma medida alternativa para o controle de doenças de plantas é o aumento da  
76 resistência mediante a nutrição mineral. O silício (Si) não é considerado elemento  
77 essencial às plantas porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade  
78 (Mengel e Kirkby, 2001), porém promove o fortalecimento das plantas, por sua  
79 deposição, acumulação e expansão na parede celular (Epstein, 1999). A indução de  
80 resistência com envolvimento dos silicatos tem sido evidenciada pelo espessamento da  
81 parede celular, aumento da lignificação, ativação de mecanismos específicos como a  
82 produção de fitoalexinas (Fawe *et al.*, 2001), síntese de enzimas removedoras de  
83 espécies reativas de oxigênio e proteínas relacionadas à patogênese (Chérif *et al.*, 1994;  
84 Datnoff *et al.*, 2001). Desta forma, o Si tem se destacado por reduzir a severidade de  
85 importantes doenças de plantas, com resultados promissores no controle de  
86 fitobacterioses como a mancha aquosa do meloeiro (Ferreira, 2009), mancha bacteriana  
87 do maracujazeiro (Brancaglione *et al.*, 2009), estria bacteriana do trigo (Silva *et al.*,  
88 2010), murcha bacteriana do tomateiro (Ayana *et al.*, 2011; Dannon e Wydra, 2004;  
89 Diogo e Wydra, 2007), mancha angular do algodoeiro (Oliveira *et al.*, 2012) e murcha  
90 bacteriana do pimentão (Alves, 2012). Outra forma de utilização do Si é na  
91 micropropagação de plantas, onde podem promover o crescimento, tanto antes quanto  
92 após a aclimatização. Em bananeira, o silício adicionado ao meio de cultivo,  
93 proporcionou adequado desenvolvimento das plantas antes da aclimatização (Asmar *et*  
94 *al.*, 2011), enquanto que aplicado ao solo para cultivo de plantas micropropagadas  
95 promoveu o controle da murcha-de-fusário (Conceição, 2010; Fortunato *et al.*, 2012).

96 A despeito da importância do moko da bananeira para o Norte e Nordeste do  
97 Brasil, nenhuma pesquisa sobre a influência do Si neste patossistema tem sido  
98 conduzida. Portanto, os objetivos deste trabalho foram: verificar se a suplementação  
99 com Si durante a micropropagação de bananeira ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ afeta alguns  
100 componentes da resistência ao moko da bananeira e averiguar possíveis mecanismos  
101 envolvidos nesta resistência.

102

## 103 MATERIAL E MÉTODOS

104

105 **Micropropagação das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ com silício.** O  
106 estabelecimento do material vegetal das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ foi  
107 realizado em meio nutritivo MS básico (Murashig e Skoog, 1962), suplementado com  
108 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose e 18 g L<sup>-1</sup> de ágar, sendo o pH ajustado para 5,7. A multiplicação  
109 dos explantes foi feita no mesmo meio de cultura, suplementado com 4,0 mg L<sup>-1</sup> de  
110 benzilaminopurina (BAP), 30 g L<sup>-1</sup> de sacarose, 18 g L<sup>-1</sup> de ágar, e com as doses 0;  
111 0,25; 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) ou silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>),  
112 sendo o pH ajustado para 5,7. O enraizamento foi realizado em meio MS com metade  
113 da concentração de sais minerais, suplementado com 0,5 mg L<sup>-1</sup> de ácido  $\mu$ -  
114 naftalenoacético (ANA) e 1,0 mg L<sup>-1</sup> de BAP, e com as doses de silicato de cálcio e  
115 silicato de potássio, citadas anteriormente, sendo o pH ajustado para 5,7. Os explantes  
116 foram dispostos sobre 20 mL de meio de cultura, em frascos com 10 cm de altura por 6  
117 cm de diâmetro e vedados com tampas de polipropileno e plástico do tipo PVC. O  
118 experimento foi mantido a 25±2°C, fotoperíodo de 16 horas e intensidade luminosa de  
119 27,91  $\mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , fornecida por lâmpadas brancas fluorescentes, durante 45 dias.

120 O processo de multiplicação foi realizado por meio de subcultivos das gemas  
121 laterais, sendo efetuada a subdivisão longitudinal dos explantes sempre que possível  
122 (Cronauer e Krikorian, 1984). A multiplicação foi realizada em 30 dias e o  
123 enraizamento em 15 dias. Após o enraizamento *in vitro*, as plantas foram transferidas  
124 para casa de vegetação em tubetes de 110 cm<sup>3</sup>, contendo substrato (areia, terra preta e  
125 pó de coco (1:1: 0,5), com as seguintes características: pH = 6,5; P disponível = 677 mg  
126 dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 1,27 cmolc dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 2,51 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> = 6,6 cmolc dm<sup>-3</sup>;  
127 Ca<sup>+2</sup> = 3,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>+3</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 2,28 cmolc dm<sup>-3</sup>; C. O. = 17,6 g  
128 kg<sup>-1</sup>; M. O. = 30,4 g kg<sup>-1</sup>; Si disponível = 14,6 mg dm<sup>-3</sup>) acrescido das doses 0; 0,25;

129 0,5; 0,75 e 1 g L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio (CaSiO<sub>3</sub>) ou silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Nesta  
130 fase de aclimatização, as plantas permaneceram por 45 dias em condições de umidade  
131 relativa de 85%, sombreamento de 60% com intensidade luminosa de 10.357 lux e  
132 temperatura média de 32,5°C, sendo irrigadas por microaspersão.

133

134 **Infestação do solo e quantificação dos componentes de resistência do moko**  
135 **da bananeira.** O isolado de *R. solanacearum* raça 2 (Cotpin 2: filotipo II, biovar 3) foi  
136 obtido da Coleção de Bactérias Fitopatogênicas do Laboratório de Fitopatologia da  
137 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Tabuleiros Costeiros e  
138 cultivado em meio Ágar Nutritivo-Dextrose-Extrato de levedura (NYDA) (Pusey e  
139 Wilson, 1984). A suspensão bacteriana foi ajustada em fotocolorímetro (Analyser<sup>®</sup>) a  
140 570 nm de absorvância (A<sub>570nm</sub>) para 0,36 que corresponde a 1,0 x 10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>.

141 Plantas micropropagadas de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’, cultivadas por  
142 45 dias em tubetes de 110 cm<sup>3</sup> foram inoculadas fazendo-se um ferimento semicircular  
143 com auxílio de escalpelo, no solo perto do pseudocaule de cada planta, onde foram  
144 depositados 20 mL da suspensão bacteriana. As avaliações foram realizadas por 30 dias  
145 quanto à presença de sintomas e severidade da doença com auxílio da escala de notas  
146 descritiva de 0 a 4 (Nielsen e Haynes, 1960), onde: 0 = ausência de sintomas, 1 =  
147 plantas com 1/3 das folhas murchas, 2 = plantas com 2/3 das folhas murchas, 3 =  
148 plantas totalmente murchas e 4 = plantas mortas. Com os dados obtidos foram  
149 determinados os seguintes componentes de resistência da doença: a) incidência da  
150 doença, representada pela porcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de  
151 plantas inoculadas; b) período de incubação (PI), representado pelo número de dias  
152 entre a inoculação e o aparecimento dos sintomas da doença; c) índice de doença (IDO)  
153 aos 30 dias, utilizando-se os dados de severidade da doença (McKinney, 1923); e d)  
154 área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Shaner e Finney, 1977).

155 Para cada cultivar de banana, o delineamento experimental utilizado foi  
156 inteiramente casualizado com nove tratamentos (sem Si, quatro concentrações de  
157 silicato de cálcio e quatro de silicato de potássio) e quatro repetições. Cada parcela  
158 experimental foi composta de cinco tubetes com uma planta cada.

159

160 **Determinação das concentrações de clorofila no tecido foliar.** A  
161 quantificação dos teores de clorofila *a*, *b* e total foi feita de acordo com Arnon (1949),

162 0, 6 e 12 dias após a inoculação do patógeno. Amostras de 0,5 g da terceira folha, de  
163 três plantas de cada tratamento foram maceradas em nitrogênio líquido, filtradas e o  
164 volume completado em balão volumétrico de 25 mL com acetona 80%. Em seguida, o  
165 material foi centrifugado, a 8.000 x g, por 15 minutos. Os sobrenadantes foram  
166 coletados para determinação, em espectrofotômetro (663 nm e 645 nm), dos teores dos  
167 pigmentos e os resultados foram expressos em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de massa fresca.

168

169 **Determinação das atividades enzimáticas.** Para avaliar a atividade enzimática  
170 foram utilizadas mudas de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ produzidas *in vitro* na  
171 dose de  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  de silicato de cálcio e silicato de potássio. O experimento foi realizado  
172 da mesma forma do estudo de quantificação de componentes de resistência da bananeira  
173 ao moko. Os pseudocaulos das mudas micropropagadas com silicato de cálcio, silicato  
174 de potássio e sem silício (Si-) foram coletados nos tempos 0, 6 e 12 dias após a  
175 inoculação sendo imediatamente congelados em nitrogênio líquido e conservados em  
176 freezer a  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente  
177 casualizado com três repetições, constituídas por uma planta cada.

178 Para determinar a quantidade de proteínas solúveis totais e atividade enzimática,  
179 0,5 g do pseudocaulo foram macerados em nitrogênio líquido. Foram acrescentados  
180 0,05g de polivinilpirrolidona (PVP) mais 4 mL do tampão fosfato de potássio (50 mM),  
181 pH 7,0, contendo  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e 1 mM de EDTA. O extrato bruto foi colocado em tubos, os  
182 quais foram centrifugados (10.000 rpm a  $4^\circ\text{C}$ , 10 min), sendo os extratos enzimáticos  
183 armazenados em tubos eppendorf. Os sobrenadantes foram conservados em freezer a -  
184  $20^\circ\text{C}$ . A concentração de proteínas solúveis totais ( $\text{mg g}^{-1}$  matéria fresca – MF) em cada  
185 amostra foi determinada pelo método colorimétrico (Bradford, 1976). A atividade da  
186 catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi determinada pela metodologia descrita por Havir e  
187 Mchale (1987). Para a determinação da atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC  
188 1.11.1.11) foi utilizada a metodologia de Nakano e Asada (1981) modificada por  
189 Koshiba (1993). A atividade da superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi  
190 determinada segundo Giannopolitis e Ries (1977) pela redução do azul de *p*-  
191 nitrotetrazólio pelo extrato enzimático. As atividades da peroxidase (POX, EC 1.11.1) e  
192 polifenoloxidase (PFO, EC 1.10.3.1) foram determinadas pela oxidação do pirogalol, de  
193 acordo com Kar e Mishra (1976). A atividade de  $\beta$ -1,3-glucanases (GLU, EC 3.2.1.39)  
194 foi determinada de acordo com Lever (1972) utilizando-se a degradação do substrato



195 laminarina. Por último, a quitinase (QUI, EC 3.2.1.14) foi determinada como descrito  
196 por Harman *et al.* (1993). Todas as atividades enzimáticas foram medidas em U min<sup>-1</sup>  
197 mg<sup>-1</sup> proteína solúvel.

198

199 **Análises estatísticas.** Para os componentes de resistência das bananeiras ao moko  
200 foram realizadas análises de regressão, desdobrando-se todos os graus de liberdade dos  
201 tratamentos em efeitos de regressão. Para cada componente, uma equação de regressão  
202 foi ajustada, considerando-se os efeitos lineares e/ou quadráticos significativos na  
203 análise de variância ( $P \leq 0,01$ ). Cada variável foi formada por dois níveis (silicato de  
204 cálcio e silicato de potássio) e as médias foram comparadas pelo teste t de Student ao  
205 nível de 5% de probabilidade. Para concentração de clorofilas e atividades enzimáticas  
206 foram realizadas análises de variância com teste F de Fisher-Snedecor. Cada fator foi  
207 formado por três níveis (silicato de cálcio, silicato de potássio e sem Si) e as médias  
208 comparadas pelo teste Least Significant Difference (LSD) ao nível de 5% de  
209 probabilidade. Os experimentos foram conduzidos duas vezes e como foi detectada  
210 reprodutibilidade dos resultados, sem diferenças significativas, realizou-se análise  
211 conjunta dos dados. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa  
212 Statistix for Windows® (versão 9.0, Analytical Software Tallahassee).

213

## 214 **RESULTADOS**

215

216 **Quantificação dos componentes de resistência das bananeiras ‘Maçã’ e**  
217 **‘Pacovan Ken’ ao moko da bananeira.** Na cultivar Maçã, as análises de regressão  
218 (Fig. 1A, C e E) mostraram que a elevação das doses de Si promoveu um aumento de  
219 forma linear (silicato de cálcio) e quadrática (silicato de potássio) ( $P \leq 0,01$ ) no PI (Fig  
220 1A). O início da murcha foi adiado significativamente ( $P \leq 0,05$ ) de 5 para 7 dias após a  
221 inoculação, em plantas tratadas com silicato de cálcio. As reduções do IDO (Fig. 1C)  
222 também seguiram os ajustes do modelo linear para o silicato de cálcio e quadrático para  
223 o silicato de potássio. O silicato de cálcio foi significativamente mais eficiente ( $P \leq 0,05$ )  
224 que o de potássio, na redução da IDO a partir de 0,75 g L<sup>-1</sup>. Já na AACPD, com o  
225 incremento das doses de Si houve reduções ajustadas ao modelo quadrático para ambas  
226 as fontes de Si utilizadas, as quais não diferiram entre si ( $P \leq 0,05$ ). Na dose 1,0 g L<sup>-1</sup>, o  
227 silicato de cálcio promoveu reduções de IDO e AACPD de 21,2 e 27%,

228 respectivamente, enquanto o silicato de potássio reduziu as mesmas variáveis em 12,5 e  
229 27,3%. Não houve redução da incidência da doença.

230 Na cultivar Pacovan Ken, as análises de regressão (Fig. 1B, D e F) mostraram  
231 que a elevação das doses de Si aumentou de forma quadrática o PI, de 5 para 6 dias  
232 ( $P \leq 0,01$ ) (Fig. 1B). Houve reduções do IDO e AACPD também ajustadas ao modelo  
233 quadrático (Fig. 1D e F). Não houve diferença significativa entre os silicatos ( $P \leq 0,01$ )  
234 para PI e AACPD ( $P \leq 0,01$ ) (Fig. 1B, e F). O silicato de potássio foi significativamente  
235 ( $P = 0,05$ ) mais eficiente que o silicato de cálcio na redução do IDO a partir de  $0,25 \text{ g L}^{-1}$ .  
236 Na dose  $1,0 \text{ g L}^{-1}$ , o silicato de potássio e cálcio reduziram o IDO em 12,5 e 10%,  
237 respectivamente e ambos os silicatos reduziram a AACPD em 26,9%. Não houve  
238 redução da incidência da doença.

239

240 **Determinação dos teores de clorofila no tecido foliar.** Nas duas cultivares  
241 Maçã e Pacovan Ken, após aclimatização (tempo 0) as concentrações de clorofila *a*, *b* e  
242 total foram significativamente maiores ( $P \leq 0,05$ ) em plantas suplementadas com Si do  
243 que em plantas Si- (Fig. 2).

244 Na cultivar Maçã, com a evolução da doença aos 6 e 12 dias após inoculação  
245 (dai), as concentrações de clorofila *a*, *b* e total foram reduzidas nas plantas tratadas e  
246 não tratadas com Si (Fig. 2A, 2C e 2E). As plantas Si- apresentaram sempre  
247 concentrações de clorofila *a* e total significativamente menores ( $P \leq 0,05$ ) em relação às  
248 plantas suplementadas com Si, as quais de maneira geral diferiram estatisticamente (Fig.  
249 3A e 3E).

250 A cultivar Pacovan Ken também apresentou redução das clorofilas *a*, *b* e total,  
251 dos 6 até os 12 dai para todos os tratamentos (Fig. 2B, 2D, 2C, 2F). Aos 6 dai, as  
252 plantas tratadas com silicato de cálcio e potássio não apresentaram diferença  
253 significativa na concentração da clorofila *a*, que foi significativamente maior que nas  
254 plantas Si- (Fig. 2B). No mesmo tempo a concentração de clorofila *b* (Fig. 2D) diferiu  
255 significativamente ( $P \leq 0,05$ ) entre as plantas tratadas com silicato de cálcio, silicato de  
256 potássio e as Si-; enquanto a concentração de clorofila total (Fig. 2F) nas plantas  
257 tratadas com silicato de cálcio foi significativamente maior ( $P \leq 0,05$ ) que as das plantas  
258 tratadas com silicato de potássio e Si-, as quais não diferiram entre si. Aos 12 dai, as  
259 plantas tratadas com silicato de cálcio e Si- não diferiram significativamente entre si

260 ( $P \leq 0,05$ ) nas concentrações das clorofilas *a*, *b* e total, mas foram significativamente  
261 maiores que nas plantas tratadas com silicato de potássio (Fig. 2B, 2D e 2F).

262

263 **Determinação de atividades enzimáticas.** Na cultivar Maçã, em plantas  
264 tratadas com silício, a concentração de proteínas solúveis totais foi significativamente  
265 maior ( $P=0,05$ ) do que em plantas Si- em todos os períodos de avaliação, porém não  
266 houve diferença significativa entre os silicatos. A concentração de proteínas solúveis  
267 totais foi reduzida com a evolução da doença. (Fig. 3A).

268 Na cultivar Maçã, com referência às enzimas relacionadas ao estresse oxidativo,  
269 a atividade da CAT foi maior em plantas tratadas com Si nas três avaliações, porém  
270 todas apresentaram reduções a partir dos 6 dai (Fig. 3B). Silicato de cálcio promoveu  
271 significativamente ( $P \leq 0,05$ ) maior atividade de CAT do que o silicato de potássio que  
272 diferiu das plantas Si- (Fig. 3B).

273 A APX, em plantas Si-, apresentou um pico de atividade ( $982,7 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$   
274 proteína solúvel) aos 6 dai seguido por redução aos 12 dai. Já em plantas tratadas com  
275 silicato de cálcio houve diminuição da atividade aos 6 dai e aumento aos 12 dai,  
276 enquanto em plantas tratadas com silicato de potássio houve aumento linear na atividade  
277 da enzima a partir do 6 dai (Fig. 3C). Os níveis máximos de atividade enzimática, para  
278 as plantas tanto com silicato de cálcio e como com silicato de potássio, ocorreram aos  
279 12 dai ( $1040$  e  $1035 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína solúvel, respectivamente), diferindo  
280 significativamente ( $P=0,05$ ) das plantas Si- (Fig. 3C).

281 A atividade da SOD foi significativamente maior em plantas tratadas com silício  
282 aos 6 dai, não havendo diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os silicatos neste tempo,  
283 quando picos de atividade enzimática de  $65,3$  e  $60,9 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína foram  
284 determinados para silicato de cálcio e potássio, respectivamente (Fig. 3D). Aos 12 dai  
285 não houve diferença significativa entre plantas tratadas com e sem silício, bem como  
286 entre fontes.

287 Quanto às enzimas associadas à defesa vegetal, a atividade da POX teve  
288 aumento aos 6 dai e diminuição até 12 dai com diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre  
289 plantas com e sem silício (Fig. 3E). Não houve diferença significativa entre os silicatos.  
290 Picos de atividade da POX para plantas com silício e Si- foram de  $1245$  e  $1178 \text{ Umin}^{-1}$   
291  $\text{mg}^{-1}$  proteína solúvel, respectivamente (Fig. 3E).

292 A atividade da PFO foi aumentada aos 6 dai, mantendo-se estável até os 12 dai  
293 com diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre plantas com silício e Si- (Fig. 3F). Não houve  
294 diferença significativa entre os silicatos (Fig. 3F).

295 A atividade da GLU em plantas com silício e Si- foi aumentada a partir dos 6  
296 dai. Aos 12 dai, as plantas tratadas com silicato de cálcio apresentaram atividade  
297 significativamente maior ( $P \leq 0,05$ ) da GLU ( $9,14 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína solúvel) seguido  
298 por plantas Si- ( $8,49 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína solúvel) e por plantas tratadas com silicato de  
299 potássio ( $8,11 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína solúvel) (Fig. 3G).

300 A atividade da QUI foi elevada aos 6 dai diferindo significativamente ( $P \leq 0,05$ )  
301 em plantas com silício e Si-. Em plantas tratadas com silicato de potássio foi observado  
302 um pico aos 6 dai ( $4,18 \text{ Umin}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  proteína solúvel) seguido por redução aos 12 dai  
303 (Fig. 3H).

304 Na cultivar Pacovan Ken, plantas com silício e Si- apresentaram aumento da  
305 concentração de proteínas solúveis totais aos 6 dai, a qual diferiu significativamente  
306 ( $P \leq 0,05$ ) nas plantas tratadas com silicato de cálcio das tratadas com silicato de potássio  
307 e das plantas Si- (Fig. 4A). Aos 12 dai, as proteínas solúveis totais nas plantas tratadas  
308 com silicato de cálcio e nas Si- não diferiram, sendo significativamente maiores  
309 ( $P \leq 0,05$ ) ( $20590 \text{ mg g}^{-1}$  MF) que a concentração nas plantas com silicato de potássio  
310 (Fig. 4A).

311 Com relação às enzimas associadas ao estresse oxidativo, as atividades da CAT  
312 e da SOD foram similares. Plantas com silício e Si- apresentaram aumento da atividade  
313 aos 6 dai e estabilidade até os 12 dai (Fig. 4B e 4D). As plantas tratadas com silicato de  
314 cálcio e as Si- apresentaram maior atividade enzimática diferindo estatisticamente  
315 ( $P \leq 0,05$ ) das plantas tratadas silicato de potássio (Fig. 4B e 4D). Aos 6 dai, a atividade  
316 de CAT e SOD nas plantas com silicato de cálcio diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ )  
317 das plantas Si- e aos 12 dai, essa diferença não foi observada.

318 A atividade da APX em plantas tratadas com silicato de cálcio e Si- foi maior  
319 aos 6 dai e manteve-se estável até os 12 dai, não havendo diferença significativa  
320 ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos durante o período de avaliação. Já em plantas tratadas  
321 com silicato de potássio não houve alteração na atividade de APX ao longo do período  
322 analisado, sendo esta atividade significativamente menor ( $P \leq 0,05$ ) em relação aos  
323 outros tratamentos exceto na avaliação aos 0 dai (Fig. 4C e 4C).

324 Quanto às enzimas associadas à defesa vegetal, a atividade da POX foi similar a  
325 da enzima APX (Fig. 4C e 4E). Já a atividade da PFO em plantas Si- e com silicato de  
326 cálcio aumentou aos 6 dai seguindo-se estabilidade até os 12 dai (Fig. 4F). Aos 6 dai, as  
327 plantas com silicato de cálcio diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) das plantas Si- e  
328 aos 12 dai, essa diferença não aconteceu (Fig. 4F). Em plantas tratadas com silicato de  
329 potássio houve aumento aos 6 dai e estabilidade até os 12 dai (Fig. 4F), mas sempre  
330 com menor atividade enzimática ( $P \leq 0,05$ ) do que nas plantas tratadas com silicato de  
331 cálcio e das Si- (Fig. 4E).

332 A atividade da GLU e QUI em plantas tratadas com silício e Si- foi aumentada  
333 aos 6 dai e as plantas tratadas com silício apresentaram maiores atividades das enzimas  
334 em relação as plantas Si-. Em plantas Si- o aumento das enzimas continuou até os 12  
335 dai. Plantas tratadas com silício apresentaram aumento na atividade da enzima aos 6 dai  
336 e estabilidade até 12 dai. (Fig. 4G e 4H). Na atividade da GLU, aos 6 dai, houve  
337 diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos e aos 12 dai não houve diferença  
338 significativa entre as plantas tratadas com silicato de cálcio e as plantas Si- (Fig 4G).  
339 Enquanto que na atividade da QUI, aos 6 dai, as plantas tratadas com silicato de cálcio  
340 diferiram estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ) das plantas tratadas com silicato de potássio e das  
341 plantas Si-, as quais não apresentaram diferença significativa entre elas. Aos 12 dai não  
342 houve diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre as plantas tratadas com silicato de cálcio e  
343 as plantas Si- (Fig 4G e 4H).

344

## 345 DISCUSSÃO

346

347 Os resultados do presente estudo não só demonstram que o Si pode aumentar a  
348 resistência de bananeira a fitopatógenos (Vermeire *et al.*, 2011; Fortunato *et al.* 2012;  
349 Kablan *et al.*, 2012), mas também proporcionam novas evidências bioquímicas  
350 associadas a um aumento na resistência contra infecção de *R. solanacearum* raça 2 em  
351 bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ micropropagadas com silício.

352 O uso de silício na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’  
353 retardou o aparecimento do moko da bananeira (PI) e diminuiu a severidade da doença  
354 (IDO e AACPD). Apesar de existirem estudos similares com o patógeno vascular  
355 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Conceição, 2010; Fortunato *et al.*, 2012;

356 Rollemberg, 2013), este é o primeiro relato da redução da severidade do moko pela  
357 utilização do Si na micropropagação de bananeiras.

358 O PI do moko da bananeira foi aumentado pelo tratamento com todas as doses  
359 de Si. Na dosagem de 1,0 g L<sup>-1</sup>, a severidade da doença (AACPD) foi reduzida em até  
360 27,3%. Pesquisas com Si em bananeira têm obtido índices variáveis de redução da  
361 severidade de doenças. Rollemberg (2013) obteve redução de 22,5% da murcha-de-  
362 fusário em bananeiras ‘Maçã’ utilizando silicato de cálcio e potássio em  
363 micropropagação. Neste mesmo patossistema houve redução de aproximadamente  
364 12,4% da área abaixo da curva de progresso dos sintomas reflexos da doença, pelo uso  
365 de silicato de cálcio aplicado no solo (Fortunato *et al.*, 2012); enquanto a AACPD teve  
366 redução de 47,05% em ‘Maçã’ e ‘Grande Naine’ tratadas com Agrosilício® (Conceição,  
367 2010). Com relação a patógenos radiculares, Vermeire *et al.* (2011) obtiveram redução  
368 de aproximadamente 50% da podridão radicular da bananeira (*Cylindrocladium*  
369 *spathiophylli*) pela adição de 2 mM de Si, na forma de silicato de cálcio. Na área foliar,  
370 redução média de 45,3% nos sintomas de sigatoka negra foram obtidos com ácido  
371 silícico (Kablan *et al.*, 2012).

372 Na redução da severidade da murcha bacteriana, o efeito do Si também tem sido  
373 relatado em outros patossistemas. O silicato de potássio aplicado em solução nutritiva  
374 causou reduções da AACPD da murcha (*R. solanacearum* raça 1) em tomateiro  
375 suscetível e moderadamente resistente de 26,8 e 56,1%, respectivamente (Dannon e  
376 Wydra, 2004); bem como em moderadamente resistente e resistente, 33,8% e 81,2%  
377 (Diogo e Wydra, 2007; Ayana *et al.* 2011). Em pimentão, o IDO e a AACPD foram  
378 reduzidos em 63,0 e 47,4%, respectivamente, pelo silicato de cálcio (Alves, 2012).

379 Apesar das reduções de severidade do moko obtidas no presente trabalho não  
380 serem elevadas, elas não diferem muito do já encontrado em literatura para outros  
381 patógenos vasculares da bananeira ou para outros hospedeiros de *R. solanacearum*, pois  
382 sabe-se que esta bactéria é de difícil controle. Entretanto, é importante notar que a  
383 influência benéfica do Si usada na micropropagação se verifica tanto para esta doença,  
384 quanto para a murcha-de-fusário, podridão radicular e sigatoka negra, um conjunto de  
385 doenças de grande importância para a bananicultura no Brasil.

386 As plantas das cultivares Maçã e Pacovan Ken, tratadas com silicato de cálcio e  
387 com silicato de potássio, apresentaram de maneira geral, concentrações de clorofilas *a*,  
388 *b* e total maiores que as plantas Si- até os 6 daí, o que pode ter influenciado o PI do

389 moko. A deposição de Si na parede celular aumenta a sua resistência mantendo, dessa  
390 forma, as plantas eretas e as folhas bem posicionadas para interceptar a luz solar,  
391 contribuindo para a eficiência fotossintética das plantas (Epstein, 1994). Asmar *et al.*  
392 (2011) também observaram que o uso de fontes de Si na micropropagação de bananeira  
393 ‘Maçã’ aumentou a concentração de clorofila nas folhas.

394       As elevadas concentrações iniciais das clorofilas nas folhas de bananeiras  
395 ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ cultivadas com silício e Si- não se mantiveram após a infecção  
396 pelo patógeno. A redução dos teores das clorofilas em ambas as cultivares durante o  
397 período de avaliação foi, provavelmente, uma consequência da restrição de água,  
398 levando à produção de enzimas peroxidativas que estão associadas com a degradação de  
399 clorofilas na membrana tilacóide (Gandul-Rojas *et al.*, 2004). Provavelmente, essa  
400 restrição de água foi causada pela colonização por *R. solanacearum*. Este patógeno  
401 penetra pelos ferimentos nas raízes, invade os espaços intercelulares do córtex da raiz  
402 em menos de quatro horas e após dois a quatro dias coloniza inteiramente esses espaços  
403 e o parênquima vascular (Saile *et al.*, 1997), movimentando-se em direção à parte  
404 superior da planta. A presença do grande número de células bacterianas e a produção de  
405 exopolissacarídeo (EPS), considerado o principal fator de virulência, resulta na redução  
406 do transporte de água e nutrientes e consequente murcha e amarelecimento das folhas  
407 (Hikichi *et al.*, 2007).

408       Com a restrição de água, diminui o transporte de nitrogênio, elemento essencial  
409 para a formação de clorofila, e de outros nutrientes, como comprovado em plantas de  
410 arroz por Watanabe *et al.* (2002). Entretanto, em condições de déficit de água, o silício  
411 aumentou proporcionalmente as concentrações de clorofila *a*, *b* e total em duas  
412 cultivares de tomate, indicando a síntese de novos pigmentos e a manutenção de  
413 clorofilas existentes anteriormente (Silva *et al.*, 2012).

414       Em bananeiras da cultivar ‘Grande Naine’ e ‘Maçã’ tratadas com Si, Fortunato  
415 *et al.* (2012) verificaram efeito indireto das elevadas concentrações de pigmentos  
416 (clorofila *a*, *b* e total e carotenóides) das folhas com a redução da severidade nas raízes  
417 durante a infecção por *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, determinado pelas variáveis  
418 comprimento relativo da lesão e colonização fúngica assintomática do tecido. Esse  
419 efeito indireto não foi constatado neste trabalho com o patossistema banana-*R*  
420 *.solanacearum*.

421 Sabe-se que o acúmulo de proteínas ligadas à reação de hipersensibilidade ou  
422 relacionadas à patogênese são expressas pela ativação dos mecanismos de defesa  
423 (Resende *et al.* 2000), o qual pode ser favorecido pelo Si (Ferreira, 2009; Alves, 2012;  
424 Andrade, 2012). Neste trabalho, a cultivar ‘Pacovan Ken’ apresentou aumento de  
425 proteínas solúveis totais ao contrário da cultivar ‘Maçã’ que apresentou redução dos  
426 teores das mesmas.

427 As atividades da CAT, APX e SOD em plantas de bananeira ‘Maçã’ mostraram  
428 aumentos quando tratadas com Si, o mesmo acontecendo nas plantas de ‘Pacovan Ken’,  
429 em relação às atividades da CAT e SOD. As enzimas relacionadas ao estresse oxidativo,  
430 CAT, SOD e APX, são responsáveis pela retirada de espécies reativas de oxigênio  
431 (EROs), principalmente  $H_2O_2$  do citosol, cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos  
432 (Inzé e Montagu, 1995). A CAT está presente nos peroxissomas e glioxissomas das  
433 plantas e pode dismutar diretamente o  $H_2O_2$  em água e oxigênio, ou oxidar substratos,  
434 tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico. Essas enzimas podem exercer  
435 também uma função de lignificação, no entanto a exata função biológica permanece  
436 desconhecida (Resende *et al.*, 2003). A SOD, por sua vez, é encontrada nos cloroplastos  
437 e catalisa a conversão de radicais superóxido ( $O_2^-$ ) a  $H_2O_2$  (Mittler, 2002). Já APX é  
438 responsável pela retirada de EROs, utilizando o ascorbato como um doador de elétrons  
439 (Noctor e Foyer, 1998) para reduzir o peróxido de hidrogênio à água.

440 O  $H_2O_2$  tem papel importante na proteção vegetal, mas em excesso é prejudicial,  
441 podendo levar à oxidação de proteínas, ácidos graxos insaturados e DNA, causando  
442 danos celulares e eventual morte da célula (Halliwell, 2006), inclusive inativando  
443 enzimas como a SOD (Bowler *et al.*, 1994). Assim, quanto maior a quantidade de  $H_2O_2$   
444 menor a atividade da SOD e vice-versa (Dallagnol *et al.*, 2012). Por ser um oxidante  
445 estável e sem carga, a passagem do  $H_2O_2$  pela membrana celular é facilitada,  
446 contribuindo para uma rápida resposta de defesa da planta. Além disto, o  $H_2O_2$  pode  
447 agir diretamente sobre patógenos (Wu *et al.*, 1995; Oliveira *et al.*, 2012), pode ser usado  
448 como substrato das peroxidases na lignificação (Lamb e Dixon 1997) e atuar como  
449 agente sinalizador para a expressão de genes que codificam PR-proteínas, fitoalexinas e  
450 enzimas envolvidas na proteção ao estresse oxidativo e lignificação, dentre outras  
451 respostas (Levine *et al.*, 1994; Lamb e Dixon, 1997; Hancock *et al.*, 2002; Shetty *et al.*,  
452 2008).



453 A manutenção de altos níveis de atividade da SOD é importante para a  
454 autodefesa da planta contra níveis elevados dos radicais superóxidos, o que foi  
455 observado aos 6 dai, ocasionando então uma redução do teor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nos tecidos das  
456 bananeiras tratadas com silício e Si-, mas que poderia ser considerada, também, como  
457 uma redução das defesas das plantas contra *R. solanacearum*. No entanto, o aumento da  
458 atividade da enzima SOD e concomitante diminuição da enzima CAT resultam na  
459 formação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a partir da dismutação do ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), seguida de seu  
460 acúmulo citoplasmático devido à redução na atividade da CAT (Dallagnol *et al.*, 2012).  
461 Este fato foi verificado neste trabalho nas plantas da cultivar ‘Maçã’.

462 A alta atividade de APX em plantas tratadas com silício quando comparada a  
463 plantas Si-, na cultivar Maçã, pode ter contribuído para reduzir a severidade da doença.  
464 Sarowar *et al.* (2005) verificaram que a superexpressão da APX em plantas de fumo  
465 transgênicas, pela inserção do gene da ascorbato peroxidase de pimentão (CAPOA1),  
466 promoveu resistência a *Phytophthora nicotianae* e fraca resistência a *R. solanacearum*.

467 A atividade das enzimas associadas à defesa vegetal, POX e PFO, em bananeiras  
468 ‘Maçã’ foi elevada pelo silicato de potássio e cálcio, porém apenas o silicato de cálcio  
469 aumentou a atividade da PFO aos 6 dai em ‘Pacovan Ken’. As POXs estão relacionadas  
470 com o processo de proteção antioxidativa, o qual catalisa a oxidação de componentes  
471 celulares como o peróxido de hidrogênio, além de promover o aumento na síntese de  
472 lignina que fortalece a parede celular contra a ação de enzimas líticas produzidas pelos  
473 patógenos (Kvaratskhelia *et al.*, 1997). A POX de plantas aumenta em resposta a  
474 diferentes estresses biótico e abiótico, por participarem nos processos de reforço da  
475 parede celular de plantas hospedeiras como a oxidação de fenóis, suberização e  
476 lignificação durante as reações de defesa contra patógenos (Syros *et al.*, 2004).

477 A PFO é outra importante enzima de defesa que catalisa a oxidação de *orto*-  
478 difenóis formando *orto*-quinonas, as quais apresentam atividade antimicrobiana e  
479 também estão envolvidas na biossíntese da lignina (Umesha, 2006). É responsável pelos  
480 processos fisiológicos e bioquímicos como crescimento, formação celular,  
481 desenvolvimento de frutos, biossíntese de etileno e resposta a vários estresses  
482 (Matamoros *et al.*, 2003). Oliveira *et al.* (2012) verificaram em plantas tratadas com Si  
483 via solo, um aumento na atividade da enzima POX na resistência à mancha angular do  
484 algodoeiro. Em outros trabalhos foi possível verificar o aumento da atividade da POX e  
485 da PFO em plantas tratadas com silício no aumento da resistência à pinta pequena do

486 tomateiro (Andrade, 2012) e murcha-de-fusário em bananeiras (Fortunato *et al.*, 2012).  
487 Já aumentos da atividade da POX, mas não da PFO, em plantas tratadas com silício  
488 foram observados na murcha bacteriana em pimentão (Alves, 2012) e estria bacteriana  
489 do trigo (Silva *et al.*, 2010).

490 Nas cultivares Maçã e Pacovan Ken houve aumentos nas atividades de GLU e  
491 QUI em plantas tratadas com Si, variando de acordo com as fontes e períodos de  
492 avaliação. A  $\beta$ -1,3-glucanase é uma proteína relacionada à patogênese pertencente à  
493 família PR-2, que possui atividade hidrolítica, exercendo o controle de doenças  
494 mediante a quebra de polímeros estruturais ( $\beta$ -1,3- glucanos) presentes nas paredes dos  
495 patógenos e liberando oligossacarídeos biologicamente ativos (elicitors e supressores)  
496 capazes de regular o estado de imunização da planta (Labanca, 2002). Já a QUI catalisa  
497 a hidrólise da quitina (polímero de *N*-acetilglucosamina), componente da parede celular  
498 fúngica e exoesqueleto de artrópodes (Wen-Chi *et al.*, 1998). No controle da murcha-  
499 de-fusário, Fortunato *et al.*, (2012) verificaram aumento significativo da atividade de  
500 GLU e QUI em plantas de bananeira ‘Grande Naine’ e ‘Maçã’ tratadas com Si. Apesar  
501 de  $\beta$ -1,3-glucanos não serem constituintes da parede celular de bactérias  
502 fitopatogênicas, algumas fitobactérias produzem compostos similares ao  $\beta$ -1,3-glucano  
503 como a exemplo do  $\beta$ -1,2-glucano cíclico extracelular produzido por *Xanthomonas*  
504 *campestris* pv. *campestris*, o qual está relacionado à virulência desta bactéria a  
505 *Arabidopsis thaliana* e *Nicotiana benthamiana*, suprimindo defesas locais e sistêmicas  
506 do hospedeiro (Oliveira *et al.*, 2012). Outros glucanos cíclicos também são produzidos  
507 por outras bactérias fitopatogênicas (Rigano *et al.*, 2007) e podem ser alvos de  
508 glucanases. Fato esse demonstrado por Klarzynski *et al.* (2000), os quais utilizaram  $\beta$ -  
509 1,3-glucanos lineares (laminarina) para induzir respostas de defesa em fumo (produção  
510 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, PAL, ácido salicílico, glucanases e quitinases, entre outros). Ainda verificaram  
511 ainda grande redução da infecção por *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*  
512 quando as plantas foram inoculadas cinco dias após a indução.

513 As atividades da GLU e outras enzimas na resistência de plantas à infecção por  
514 patógenos bacterianos ainda são pouco conhecidas (Cavalcanti *et al.*, 2006). No entanto  
515 o Si tem causado aumento desta atividade em algodoeiro (Oliveira *et al.* (2012). Quanto  
516 a QUI já foi encontradas em trigo tratado com Si (volastonita) para aumento de  
517 resistência à estria bacteriana (*X. translucens* pv. *undulosa*) (Silva *et al.*, 2010). Ainda a

518 QUI apresentou atividade maior nos três tempos de avaliação do efeito do silício  
519 aplicado ao solo no controle da murcha bacteriana em pimentão (Alves, 2012).

520 Em conclusão, a aplicação do silício na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’  
521 e ‘Pacovan Ken’ tem papel benéfico na redução da severidade do moko. Foi  
522 demonstrado que o Si pode influenciar as concentrações de clorofila *a*, *b* e total nos  
523 estádios iniciais de infecção por *R. solanacearum*, aumentando o PI da doença. Em  
524 geral, tanto as enzimas relacionadas ao estresse oxidativo, quanto às de defesa da planta,  
525 tiveram suas atividades aumentadas nos tratamentos com silício, especialmente naqueles  
526 com silicato de cálcio, indicando uma possível participação na redução da severidade da  
527 doença. Portanto, uma vez que não existem cultivares de bananeira resistentes ao moko,  
528 o uso de mudas micropropagadas com fontes de Si solúvel pode tornar-se uma nova  
529 tecnologia a ser incluída no manejo integrado da doença, principalmente para as  
530 cultivares Maçã e Pacovan Ken.

531

## 532 **AGRADECIMENTOS**

533

534 Os autores agradecem a FACEPE (APQ-0583-5.01/08) pela concessão de  
535 auxílio financeiro e pela bolsa concedida ao primeiro autor. Ao CNPq (Proc.  
536 309.697/2011-5) pela concessão de bolsa de produtividade a R. L. R. Mariano e E. B.  
537 Souza. Ao CETENE pela micropropagação das bananeiras. A Manoel Urbano, Instituto  
538 Agrônômico de Pernambuco - IPA, pela disponibilização dos explantes de bananeira  
539 ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ e à professora Terezinha Rangel Camara, da UFRPE, pela  
540 orientação em micropropagação.

541

## 542 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

543

- 544 Agrios G. N. *Plant Pathology*. Burlington, MA: Elsevier Academic, 922p. 2005.
- 545 Alves, A.O., 2012. Controle alternativo da murcha bacteriana do pimentão utilizando  
546 óleos essenciais vegetais e silicato de cálcio. Doutorado. Tese. Universidade  
547 Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.
- 548 Amorim, E.P.R., Silva, J.C., Andrade, F.W.R., Rufino, M.J., Eloy, A. P., Lemos, E. E.  
549 P., Incidência da murcha bacteriana (Moko) em bananeira no estado de Alagoas. In:  
550 Congresso Brasileiro de Fruticultura, 19, 2006, Cabo Frio: **Anais...** Cabo Frio:

- 551 Sociedade Brasileira de Fruticultura. p. 219.
- 552 Andrade, C.L., 2012. Silício e indutores de resistência no controle da pinta bacteriana  
553 do tomateiro e na atividade de enzimas de defesa. Mestrado. Dissertação.  
554 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.
- 555 Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxylase in *Beta*  
556 *vulgaris*. *Plant Physiology*, **24**:1-15.
- 557 Asmar, A.S., Pasqual, M., Rodrigues, F.A., Araujo, A.G., Pio, L.A.S., Silva, S.O. 2011.  
558 Fontes de silício no desenvolvimento de plântulas de bananeira 'Maçã'  
559 micropropagadas. *Ciência Rural*, **41**:1127-1131.
- 560 Assis, S.M.P., Oliveira, I.S., Covello, V.N., Rehn, K.G., Mariano, R.L.R. Bacterial wilt  
561 of heliconia in Pernambuco, Brazil: first report and detection by PCR in soil and  
562 rhizomes. p. 431-436. In: Allen, C., P. Prior, A.C. Hayward. 2005. *Bacterial wilt*  
563 *disease and the Ralstonia solanacearum species complex*. St. Paul: APS Press.
- 564 Ayana, G., Fininsa, C., Ahmed, S., Wydra, K., 2011. Effects of soil amendment on  
565 bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and tomato yields in Ethiopia.  
566 *Journal of Plant Protection Research*, **51**:72-76.
- 567 Bowler, C., Van Camp, W., Van Montagu, M., Inzé, D., 1994. Superoxide dismutase in  
568 plants. *Critical Review in Plant Science*, **13**:199-218.
- 569 Bradford, M.N., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram  
570 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.  
571 *Analytical Biochemistry*, **72**:248-254.
- 572 Brancaglione, P., Sampaio, A. C., Fischer, I. H., Almeida, A. M., Fumis, T, F., 2009.  
573 Eficiência de argila silicatada no controle de *Xanthomonas axonopodis* pv.  
574 *passiflorae*, in vitro e em mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de*  
575 *Fruticultura*, **31**:718-724.
- 576 Bringel, J. M. M., Takatsu, A., Uesugi, C. H., 2001. Colonização radicular de plantas  
577 cultivadas por *Ralstonia solanacearum* biovars 1, 2 e 3. *Scientia Agricola*, **58**:497-  
578 500.
- 579 Cavalcanti, F.R., Resende, M.L.V., Zacaroni, A.B., Ribeiro Junior, P.M., Costa, J.C.B.  
580 Souza, R.M., 2006. Acibenzolar-S-metil e Ecolife® na indução de respostas de  
581 defesa do tomateiro contra a mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*).  
582 *Fitopatologia Brasileira*, **31**:372-380.

- 583 Cares, J. E., 1988. Moko: situação da doença no Brasil. *Revista Brasileira de*  
584 *Fruticultura*, **10**:81-88.
- 585 Chérif, M., Asselin, A., Bélanger, R.R., 1994. Defense responses induced by soluble  
586 silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, **84**:236-242.
- 587 Coelho Netto, R. A., Assis, L. A. G., 2002. *Coleus barbatus*: Um Novo Hospedeiro De  
588 *Ralstonia solanacearum*. *Fitopatologia Brasileira*, **27**: 226.
- 589 Coelho Netto, R.A., & Nutter Jr. F.W. Use of GPS and GIS technologies to map the  
590 prevalence of moko disease of banana in the amazon region of Brazil. In: (Eds.)  
591 Allen, C.; Prior, P.; Hayward, A. C. *Bacterial wilt disease and the Ralstonia*  
592 *solanacearum species complex*. St. Paul: APS Press. 2005. pp.431-436.
- 593 Coelho Netto, R.A., Pereira, B.G., Noda, H., Boher, B., 2004. Murcha bacteriana no  
594 Estado do Amazonas, Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, **29**:21-27.
- 595 Conceição, E.G.J., 2010. Uso do silício na nutrição da bananeira e no controle do Mal-  
596 do-panamá. Mestrado. Dissertação. Universidade do Rêconcavo da Bahia, Cruz das  
597 Almas, Brasil.
- 598 Cronauer, S.S., Krikorian, A.D., 1984. Rapid multiplication of bananas and plantains by  
599 in vitro shoot tip culture. *HortScience*, **19**:234-235.
- 600 Dallagnol, L. J., Rodrigues, F.A., Tanaka, F. A. O., Amorim, L., Camargo, L. E. A.,  
601 2012. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on  
602 melon. *Plant Pathology*, **61**:323-330.
- 603 Dannon, E., Wydra, K., 2004. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt  
604 development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes.  
605 *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **64**:233-243.
- 606 Datnoff, L. E., Seebold, K. W., Correa, V. F. J., 2001. The use of silicon for integrated  
607 disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant  
608 resistance. In L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (Eds.), *Silicon in*  
609 *Agriculture* (pp. 171-183). Amsterdam: Elsevier Science
- 610 Diogo R.V.C., Wydra K., 2007. Silicon-induced basal resistance in tomato against  
611 *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polisaccharide  
612 structure. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **70**:120-129.
- 613 Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of National*  
614 *Academy of Sciences of the United States of America*, **91**:11-17.

- 615 Epstein, E., 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular*  
616 *Biology*, **50**:641–664.
- 617 Fawe, A., Menzies, J. G., Cherif, M., Bélanger, R. R. silicon and disease resistance in  
618 dicotyledons. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndörfer, G. H. (Eds.). *Silicon in*  
619 *agriculture*. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.
- 620 Fegan, M., Prior, P., How complex is the *Ralstonia solanacearum* species complex? In:  
621 Allen C.; Prior P.; Hayward A. C. (Eds.) *Bacterial Wilt: the disease and the*  
622 *Ralstonia solanacearum species complex*. St. Paul: American Phytopathological  
623 Society, 2005. p. 449-461.
- 624 Ferreira, H. A., 2009. Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*Cucumis*  
625 *melo L.*). Mestrado. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
626 Recife, Brasil.
- 627 Fortunato, A. A., Rodrigues, F. Á, Baroni, J. C. P, Soares, G. C. B., Rodriguez, M. A.  
628 D., Pereira, O. L. 2012. Silicon Suppresses Fusarium Wilt Development in Banana  
629 Plants. *Journal of Phytopathology*, **160**: 674-679.
- 630 Freitas, S. S., Aguilar Vildoso, C. I., 2004. Rizobactérias e promoção do crescimento de  
631 plantas cítricas. *Revista brasileira de Ciências do solo*, **28**:987-994.
- 632 Gandul-Rojas, B., Roca, M., Mínguez-Mosquera, M.I., 2004. Chlorophyll and  
633 carotenoid degradation mediated by thylakoid-associated peroxidative activity in  
634 olives (*Olea europaea*) cv. Hojiblanca. *Journal of Plant Physiology*, **161**:499–507.
- 635 Giannopolitis C.N., Ries S.K., 1977. Superoxide dismutase I: occurrence in higher  
636 plants. *Plant Physiology*. **59**:309-314.
- 637 Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental  
638 theme of aerobic life. *Plant Physiology*, **141**:312-322.
- 639 Hancock, J.T., Desikan, R., Clarke, A., Hurst, R.D., Neill, S.J., 2002. Cell signaling  
640 following plant/pathogen interactions involves the generation of reactive oxygen  
641 and reactive nitrogen species. *Plant Physiology and Biochemistry*, **40**:611-617.
- 642 Harman G.E., Hayes C.K., Lorito M., Broadway R.M., Pietro A., Peterbauer C.,  
643 Tronsmo A., 1993. Chitinolytic enzymes of *Trichoderma harzianum*: purification  
644 of chitobiosidase and endochitinase. *Phytopathology* **83**:313-318.
- 645 Hayward, A. C. The hosts of *Pseudomonas solanacearum*. In: Hayward, A. C.;  
646 Hartman, G. L. (Eds.) *Bacterial wilt - the disease and its causative agent,*  
647 *Pseudomonas solanacearum*. Wallingford: CAB International, 1994. p. 9-24.

- 648 Hayward, A.C., 1964. Characteristics of *Pseudomonas solanacearum*. *Journal of*  
649 *Applied Bacteriology*, **27**:265-277.
- 650 He, L.Y; Sequeira, L; Kelman, A., 1983.Characteristics of strains of *Pseudomonas*  
651 *solanacearum*. *Plant Disease*, **67**:1357-1361.
- 652 Hikichi, Y., Yoshimochi, T., Tsujimoto, S., Shinohara, R., Nakaho, K., Kanda, A.,  
653 Kiba, A., Ohnishi, K., 2007. Global regulation of pathogenicity mechanism of  
654 *Ralstonia solanacearum*. *Plant Biotechnology*, **24**:149-154.
- 655 Inzé, D., Montagú, M. V., 1995. Oxidative stress in plants. *Current opinion in*  
656 *Biotechnology*, **6**:153-158.
- 657 Kablan L, Lagauche A, Delvaux B, Legréve A., 2012. Silicon reduces black sigatoka  
658 development in banana. *Plant Disease*, **96**:273–278.
- 659 Kar, M., Mishra, D., 1976. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during  
660 rice leaf senescence. *Plant Physiology*, **57**:315-319.
- 661 Klarzynski O., Plesse B., Joubert J.M., Yvin J.C., Kopp M., Kloareg B., Fritig B.,  
662 2000. Linear  $\beta$ -1,3 glucans are elicitors of defence responses in tobacco. *Plant*  
663 *Physiology*, **124**:1027-1038.
- 664 Koshiha T., 1993. Cytosolic ascorbate peroxidase in seedlings and leaves of maize (*Zea*  
665 *mays*). *Plant and Cell Physiology*, **34**:713-721.
- 666 Kvaratskhelia M., George S.J., Thorneley, R.N.F., 1997. Salicylic acid is a reducing  
667 substrate and not an effective inhibitor of ascorbate peroxidase. *The Journal of*  
668 *Biological Chemistry*, **272**:20998-21001.
- 669 Labanca, E.R.G., 2002. *Purificação parcial de elicitores presentes em Saccharomyces*  
670 *cerevisiae: atividade como indutores de resistência em pepino (Cucumis sativus)*  
671 *contra Colletotrichum lagenarium e da síntese de gliceolinas em soja (Glycine*  
672 *max)*. Ph.D. Tese. Departamento de Fitopatologia, Universidade de São Paulo,  
673 Piracicaba, Brasil.
- 674 Lamb, C., Dixon, R.A., 1997. The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual*  
675 *Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **48**:251-275.
- 676 Lever M., 1972. A new reaction for colorimetric determination of carbohydrates.  
677 *Analytical Biochemistry*, **47**:273-279.
- 678 Levine, A., Tenhaken, R., Dixon, R., Lamb, C., 1994. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> from the oxidative burst  
679 orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell*, **79**:583-593.

- 680 Lopes, C. A.; Quezado-Soares, A. M. *Doenças bacterianas das hortaliças*. Brasília, DF:  
681 Embrapa – Serviço de Produção de Informação, 70 p., 1997.
- 682 Matamoros, M. A., Dalton, D. A., Ramos, J., Clemente, M. R., Rubio, M. C., Becana  
683 M., 2003. Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia-  
684 legume symbiosis. *Plant Physiology*, **133**:499-509.
- 685 Mckinney, R.H., 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat  
686 seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research*, **6**:195-  
687 218.
- 688 Mengel, K., E.A. Kirkby. *Principles of Plant Nutrition*. Netherlands. Kluwer Academic  
689 Publishers. 849 p., 2001.
- 690 Miller G. L., 1956. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing  
691 sugar. *Analytical Chemistry*, **31**:426-428.
- 692 Mittler R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant*  
693 *Science*, **7**:405-410.
- 694 Murashige, T., Skoog, F., 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with  
695 tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, **15**:473-497.
- 696 Nakano Y., Asada K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific  
697 peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, **22**:867-880.
- 698 Noctor G., Foyer C.H., 1998. Ascorbate and glutathione keeping active oxygen under  
699 control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **49**:249-  
700 79.
- 701 Oliveira, J.C., Albuquerque, G.M.R., Mariano R.L.R., Gondim D.M.F., Oliveira J.T.A.,  
702 Souza E.B., 2012. Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated  
703 by silicon. *Journal of Plant Pathology*, **94**:297-304.
- 704 Ponte, J.J., Freire, F.O.C., 1972. “Moko Disease” da bananeira nos perímetros irrigados  
705 do Nordeste. *Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia*, **5**:191-195.
- 706 Pusey, P.L., Wilson, C.L., 1984. Postharvest biological control of stone fruit brown rot  
707 by *Bacillus subtilis*. *Plant Disease*, **68**:753-756.
- 708 Remenant, B., Cambiaire, J.C., Cellier, G., Jacobs, J.M., Mangenot, S., Barbe, V.,  
709 Lajus, A., Vallenet, D., et al. 2011. *Ralstonia syzygii*, the blood disease bacterium  
710 and some Asian *R. solanacearum* strains form a single genomic species despite  
711 divergent life- styles. *PLoS ONE*, **6**:e24356.



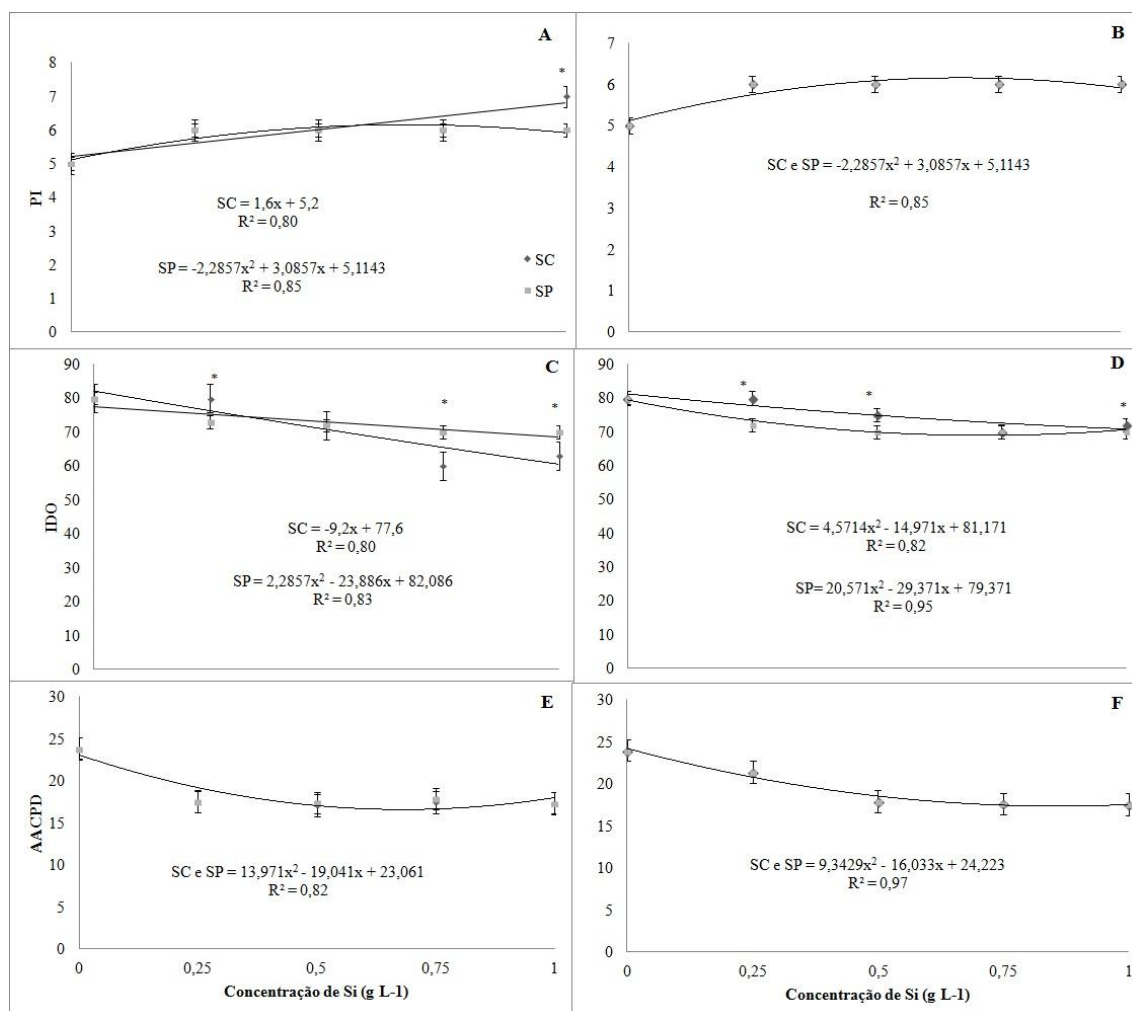
- 712 Resende, M.L.V., Nojosa, G.B.A., Aguilar, M.A.G., Silva, L.H.C.P., Niella, G.R.,  
713 Carvalho, G.A., Giovanin, G.R., Castro, R.M., 2000. Perspectivas da indução de  
714 resistência em cacauzeiro contra *Crinipellis pernicioso* através do benzotiadiazole  
715 (BTH). *Fitopatologia Brasileira*, **25**:149-156.
- 716 Resende, M.L.V., Salgado, S.M.L., Chaves, Z.M., 2003. Espécies ativas de oxigênio na  
717 resposta de defesa de plantas a patógenos. *Fitopatologia Brasileira*, **28**:123-130.
- 718 Rigano, L. A., Payette, C., Brouillard, G., Marano, M. R., Abramowicz, L., Torres, P.  
719 S., Yun, M., Castagnaro, A. P., Oirdi, M., Dufour, V., Malamud, F., Dow, J. M.,  
720 Bourab, K., Vojnov, A. A. (2007). Bacterial cyclic  $\beta$  - (1, 2)-glucan acts in  
721 systemic suppression of plant immune responses. *The Plant Cell*, **19**:2077-2089.
- 722 Rollemberg, C.L., 2013. Uso do silício na micropropagação de bananeira visando  
723 manejo da murcha-de-fusário e do moko da bananeira. Doutorado. Tese.  
724 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.
- 725 Saile, E., Schell, M. A., Denny, T. P., 1997. Role of extracellular polysaccharide and  
726 endoglucanase in root invasion and colonization of tomato plants by *Ralstonia*  
727 *solanacearum*. *Phytopathology*, **87**:1264-1271.
- 728 Sarowar, S., Kim, E.N., Kim, Y.J., Ok, S.H., Kim, K.D., Hwang, B.K., Shin, J.S., 2005.  
729 Overexpression of a pepper ascorbate peroxidase-like 1 gene in tobacco plants  
730 enhances tolerance to oxidative stress and pathogens. *Plant Science*, **169**:55-63.
- 731 Shaner, G., Finney, R. E., 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of  
732 slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, **67**:1051-1056.
- 733 Shetty, N.P., Jorgensen, H.J.L., Jensen, J.D., Collinge, D.B., Shetty, H.S., 2008. Roles  
734 of reactive oxygen species in interactions between plants and pathogens. *European*  
735 *Journal of Plant Pathology*, **121**:267-280.
- 736 Silva, I. T., Rodrigues, F. A., Oliveira, J. R., Pereira, S. C., Andrade, C. C. L. Silveira,  
737 R. P., Conceição, M. M., 2010. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated  
738 by silicon. *Journal of Phytopathology*, **158**:253-262.
- 739 Silva, J.R. *Coletânea de informações sobre o "Moko" da bananeira* (versão  
740 preliminar). Brasília: MARA. s/p. 1997.
- 741 Silva, O.N., Lobato, A.K.S., Ávila, F.W., Costa, R.C.L., Oliveira Neto, C.F., Santos  
742 Filho, B.G., Martins Filho, A.P., Lemos, R.P., Pinho, J.M., Medeiros, M.B.C.L.,  
743 Cardoso, M.S., Andrade, I.P., 2012. Silicon-induced increase in chlorophyll is

- 744 modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars, *Plant,*  
745 *Soil and Environment*, **58**:481–486.
- 746 Syros, T., Yupsanis, T., Zafiriadis, H., Economou, A., 2004. Activity and isoforms of  
747 peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus*  
748 *cretica* L. *Journal of Plant Physiology*, **161**:69-77.
- 749 Takatsu, A. Moko da bananeira no Brasil. In: Simpósio Brasileiro De Bananicultura,  
750 2001, Jaboticabal: **Anais...** Jaboticabal: FUNEP. p.439-452. 2001.
- 751 Talamini, V.; Silva, A. M. F.; Almeida, N. A.; Morais, A. C.; Warwick, D. R. N.;  
752 Nascimento, M. A. A.; Devi, C. K. Situação do moko da bananeira no Estado de  
753 Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. Disponível em: <  
754 [http://www.cpatc.embrapa.br/publicações\\_2010/doc\\_159.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicações_2010/doc_159.pdf) >. Acesso em: 07  
755 abril 2012.
- 756 Umesha, S., 2006. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its  
757 relationship to bacterial canker disease resistance. *Phytoparasitica*, **34**:68-71.
- 758 Vermeire, M.L., Kablan, L., Dorel, M., Delvaux, B., Rise`de, J.M., Legre`vê, A., 2011  
759 Protective role of silicon in the banana-*Cylindrocladium spathiphylli* pathosystem.  
760 *European Journal of Plant Pathology*, **131**:621–630.
- 761 Watanabe, S., Fujiwara, T., Yoneyama, T., Hayashi, H., 2002. Effects of silicon  
762 nutrition on metabolism and translocation of nutrients in rice plants. *Developments*  
763 *in Plant and Soil Sciences*, **92**:174–175.
- 764 Wen-Chi, H., Ying-Chou, C., & Yaw-Huei L., 1998. Chitinase activity of sweet potato  
765 (*Ipomoea batatas* L. Lam var. *tainong*). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*,  
766 **39**:93-97.
- 767 Wu, G.S., Shortt, B.J., Lawrence, E.B., Levine, E.B., Fitzsimmons, K.C., Shah, D.M.,  
768 1995. Disease resistance conferred by expression of a gene encoding H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-  
769 generating glucoseoxidase in transgenic potato plants. *The Plant Cell*, **7**:1357-1368.
- 770 Xu, J., Pan, Z.C., Xu, J.S., Zhang, Z., Zhang, H., Zhang, L.Q., He, L.Y., Feng, J., 2009.  
771 Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from China. *European Journal*  
772 *of Plant Pathology*, **125**:641–653.
- 773
- 774

775

'Maçã'

'Pacovan Ken'



776

777 **Figura 1.** Efeito de doses de silicato de cálcio (SC) e de silicato de potássio (SP) no  
 778 controle do Moko da bananeira causado por *Ralstonia solanacearum* raça 2 inoculado  
 779 aos 45 dias após início da aclimatização, avaliado pelo período de incubação (PI), índice  
 780 de doença (IDO) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), em mudas  
 781 de bananeira das cultivares Maçã (A, C, E) e Pacovan Ken (B, D, F). Cada ponto  
 782 representa a média de cinco repetições. As barras representam o desvio padrão das  
 783 médias. Médias dos tratamentos SC e SP seguidas por \* diferem entre si pelo teste t ao  
 784 nível de 5% de probabilidade.

785

786

787

788

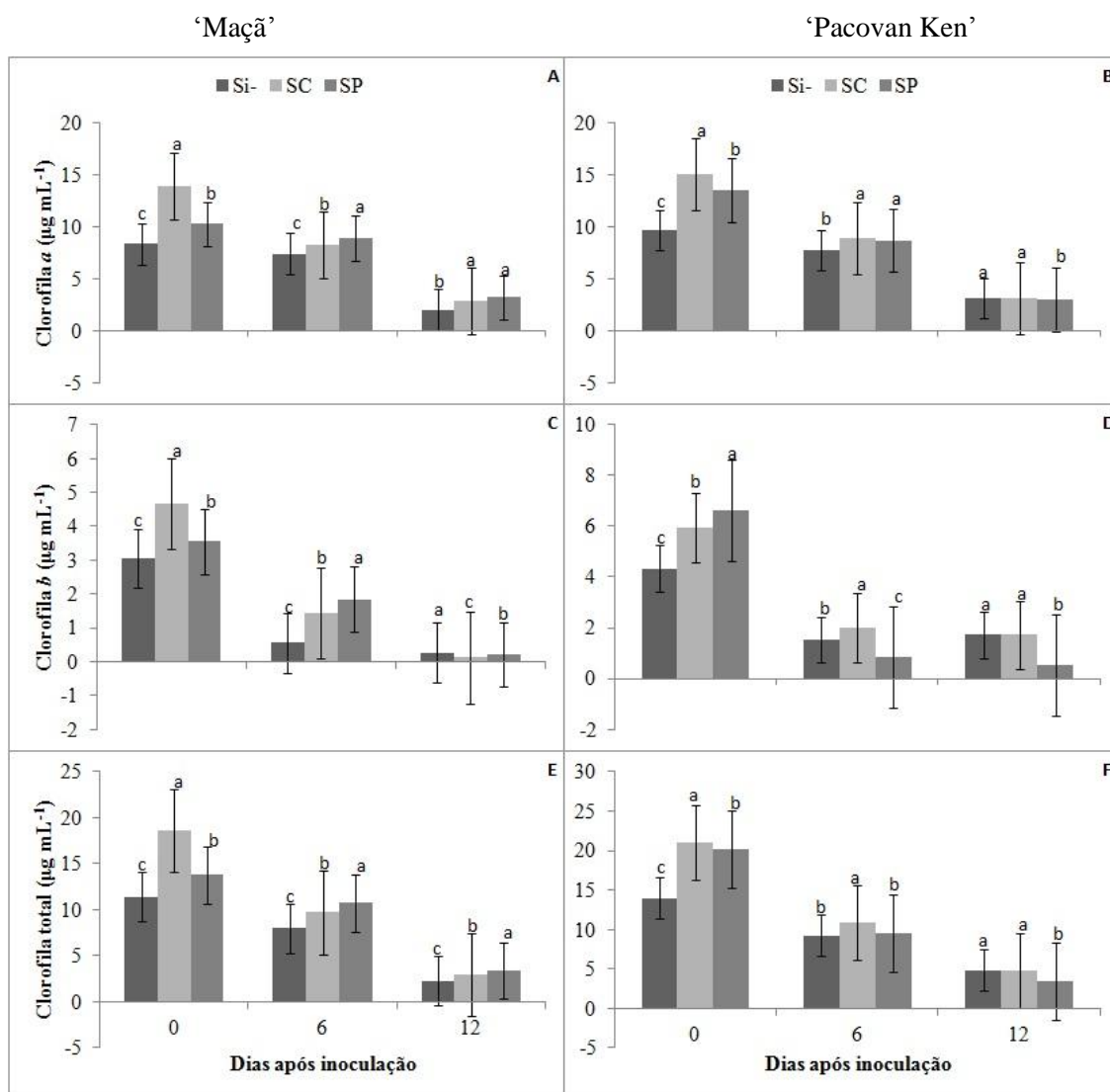
789

790

791

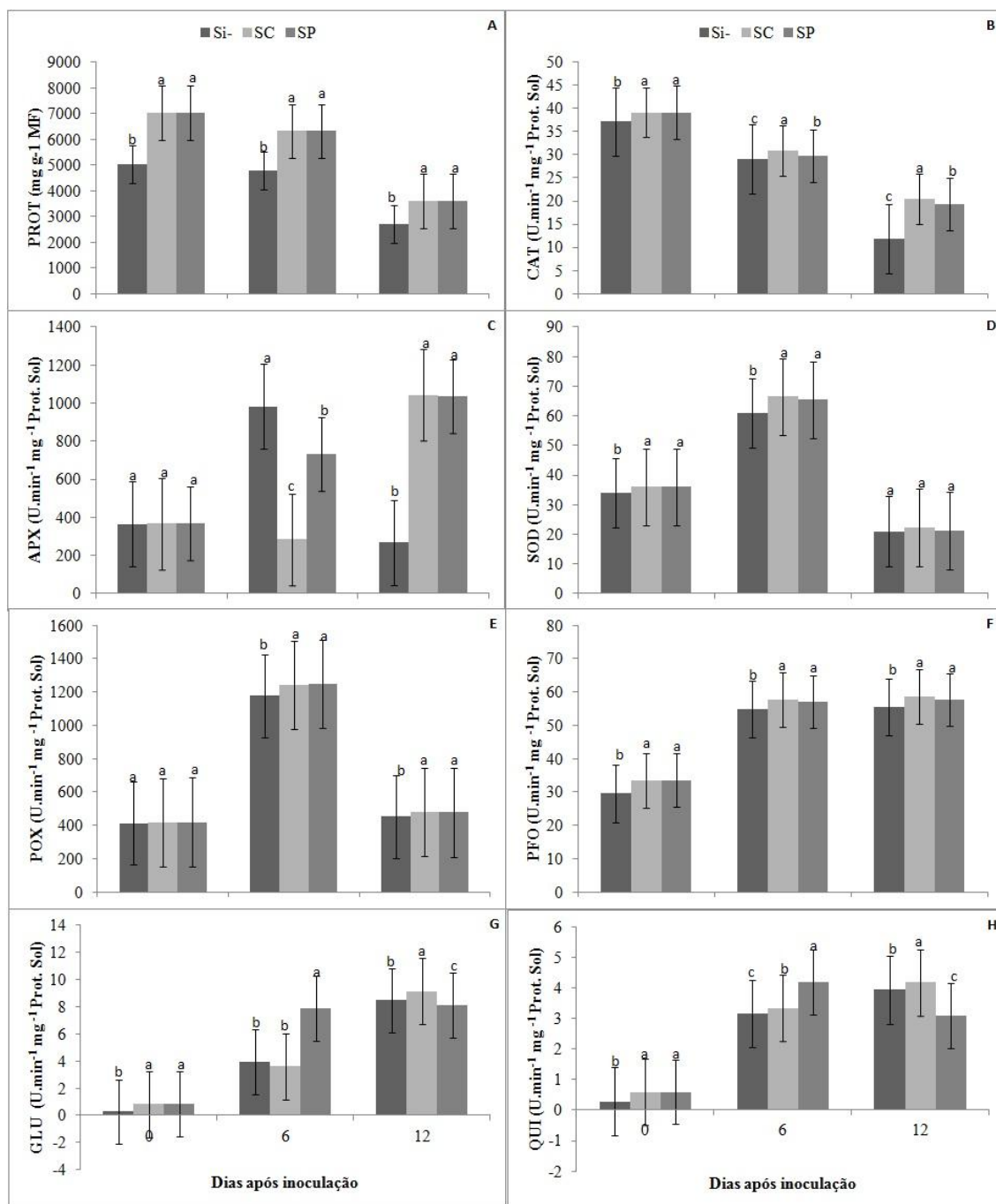
792

793



794

795 **Figura 2.** Concentrações de clorofila *a*, *b* e total em folhas de bananeira ‘Maçã’ (A, C,  
796 E) e ‘Pacovan Ken’ (B, D, F), avaliadas em 0, 6 e 12 dias após a inoculação de  
797 *Ralstonia solanacearum* raça 2, agente causal do moko da bananeira, em mudas  
798 micropropagadas com silicato de cálcio (SC), silicato de potássio (SP) e sem silício (Si-  
799 ). Cada valor representa a média de três repetições. As barras representam o desvio  
800 padrão das médias. Médias dos tratamentos Si-, SC e SP seguidas por letras diferentes  
801 diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade.



802

803

804

805

806

807

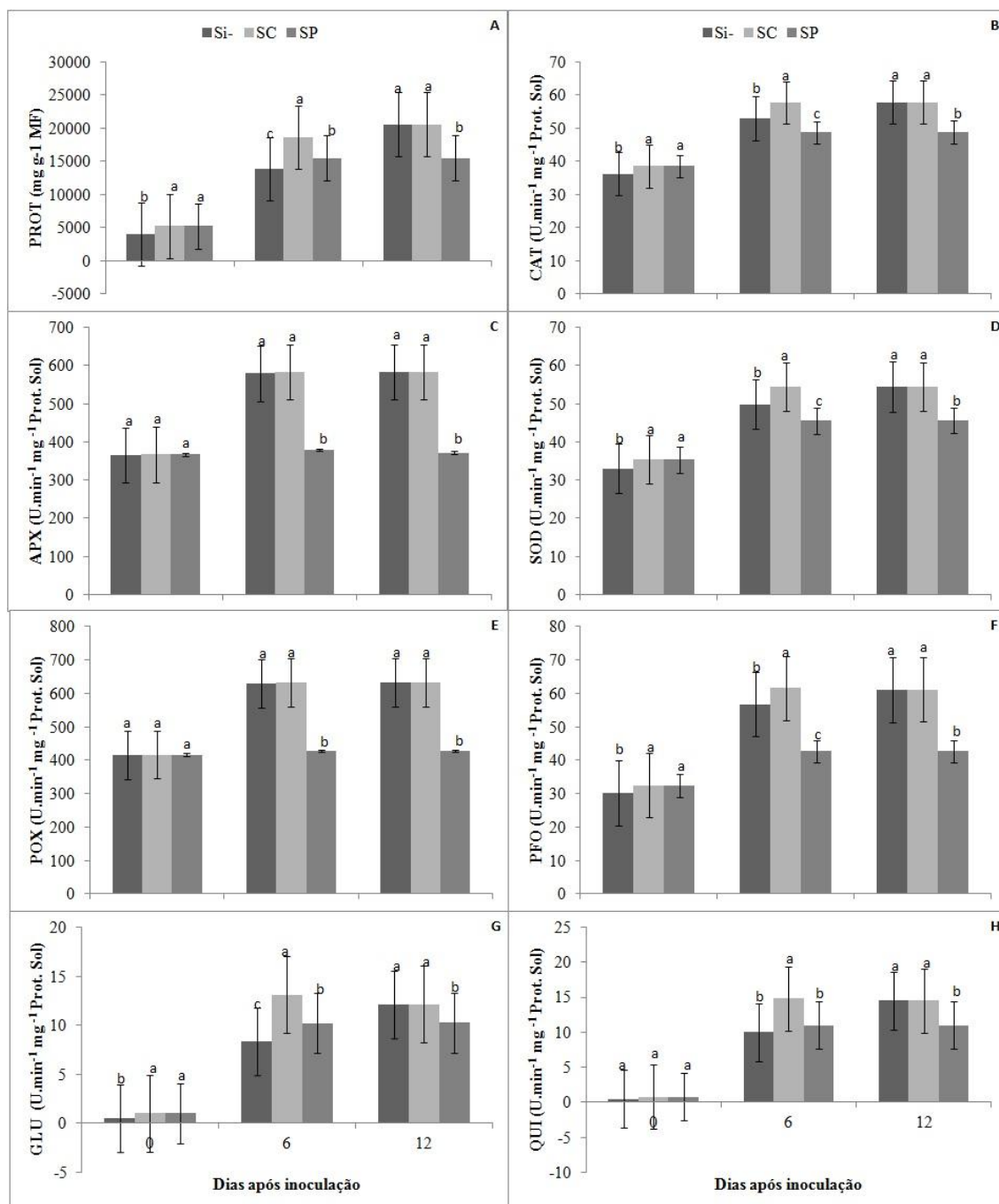
808

809

810

811

**Figura 3.** Alterações nas atividades de: A- proteínas solúveis totais (PROT), B- catalase (CAT), C- ascorbato peroxidase (APX), D- superóxido dismutase (SOD), E- peroxidase (POX), F- polifenoloxidase (PFO), G- glucanase (GLU) e H- quitinase (QUI) em bananeira ‘Maçã’, avaliadas aos 0, 6 e 12 dias após a inoculação de *Ralstonia solanacearum* raça 2, em mudas micropropagadas com silicato de cálcio (SC), silicato de potássio (SP) e sem silício (Si-). Cada valor representa a média de três repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos Si-, SC, SP seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade.



812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

**Figura 4.** Alterações nas atividades de: A- proteínas solúveis totais (PROT), B- catalase (CAT), C- ascorbato peroxidase (APX), D- superóxido dismutase (SOD), E- peroxidase (POX), F- polifenoloxidase (PFO), G- glucanase (GLU) e H- quitinase (QUI) em bananeira ‘Pacovan Ken’, avaliadas aos 0, 6 e 12 dias após a inoculação de *Ralstonia solanacearum* raça 2, em mudas micropropagadas com silicato de cálcio (SC), silicato de potássio (SP) e sem silício (Si-). Cada valor representa a média de três repetições. As barras representam o desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos Si-, SC, SP seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste LSD ao nível de 5% de probabilidade.

## **Conclusões Gerais**

---

## CONCLUSÕES GERAIS

- O fornecimento de Si na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ promove redução da murcha-de-fusário e do moko da bananeira;
- O silicato de cálcio é mais eficiente do que o silicato de potássio na redução da murcha-de-fusário e do moko da bananeira;
- Na murcha-de-fusário, a maior dose de silicato de cálcio e potássio promove maior concentração de Si na parte aérea e raízes das cultivares Maçã e Pacovan Ken, antes e após a aclimatização;
- A redução dos componentes de resistência da murcha-de-fusário está correlacionada com a concentração de Si;
- Em relação ao moko da bananeira, o Si induz aumentos das concentrações de clorofilas *a*, *b* e total nas duas cultivares, o que pode influenciar o PI da doença;
- O Si, especialmente o silicato de cálcio, aumenta as atividades das enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e de defesa de bananeiras, indicando uma possível participação destas enzimas na redução da severidade do moko;
- As fontes de Si alteram a anatomia radicular das bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’, aumentando a espessura da epiderme radicular, córtex, endoderme e cilindro central;
- O fornecimento de Si na micropropagação de bananeiras ‘Maçã’ e ‘Pacovan Ken’ pode ser utilizado como uma nova tecnologia no manejo da murcha-de-fusário e moko da bananeira.