

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Elizandra Pivotto Pavanello**

**SILÍCIO NO MANEJO PRÉ E PÓS-COLHEITA DA PODRIDÃO  
PARDA (*Monilinia fructicola*) NO PESSEGUEIRO**

Santa Maria, RS  
2016



**Elizandra Pivotto Pavanello**

**SILÍCIO NO MANEJO PRÉ E PÓS-COLHEITA DA PODRIDÃO  
PARDA (*Monilinia fructicola*) NO PESSEGUEIRO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup> Auri Brackmann

Santa Maria, RS  
2016



**Elizandra Pivotto Pavanello**

**SILÍCIO NO MANEJO PRÉ E PÓS-COLHEITA DA PODRIDÃO  
PARDA (*Monilinia fructicola*) NO PESSEGUEIRO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

**Aprovado em 24 de fevereiro de 2016:**

---

**Auri Brackmann, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Marlove Fátima Brião Muniz, Dra. (UFSM)**

---

**Diniz Fronza, Dr. (Colégio Politécnico, UFSM)**

---

**Rosa Maria Valdebenito Sanhueza, Dra. (PROTERRA)**

---

**Leandro José Dallagnol, Dr. (UFPel)**

Santa Maria, RS  
2016



## DEDICATÓRIA

“Aos meus pais Valdir e Alvenir Pavanello  
pela educação e exemplo de vida.  
A meu amado Adriano Zolin,  
pelo incentivo e apoio...”





## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pelo dom da vida, pela fé que me faz seguir em frente.*

*Aos meus pais, Valdir e Alvenir, pela vida, educação e pelo exemplo de vida, trabalho, perseverança e honestidade.*

*A meu querido e amado Adriano, pelo amor, compreensão e apoio incondicional, os quais foram fundamentais para vencer mais essa etapa da minha vida.*

*As minhas irmãs, Alessandra e Elisângela, que sempre me apoiaram durante toda minha trajetória.*

*Ao professor Auri Brackmann, pela oportunidade que me deste, pela credibilidade em mim depositada, pela orientação e pela contribuição na minha formação científica.*

*Aos colegas e amigos do Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita pela amizade e auxílio nos trabalhos.*

*Aos professores Ivan Francisco Dressler da Costa, Gustavo Brunetto e Daniela Guimarães Simão pelo espaço em seus grupos de pesquisa e pela colaboração na execução do trabalho.*

*Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo conhecimento transferido.*

*À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realizar o estudo.*

*Ao produtor Marcos Dallenogare e esposa por disponibilizar a área experimental permitindo a realização do trabalho acadêmico.*

*A todos os familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.*



## RESUMO

### SILÍCIO NO MANEJO PRÉ E PÓS-COLHEITA DA PODRIDÃO PARDA (*Monilinia fructicola*) NO PESSEGUEIRO

AUTORA: Elizandra Pivotto Pavanello

ORIENTADOR: Auri Brackmann

A podridão parda do pessegueiro é a doença de maior importância para a cultura, com danos em pré e pós-colheita. O controle é dificultado devido à habilidade do fungo de infectar os frutos e permanecer latente até que as condições tornem-se favoráveis à sua manifestação. Portanto, compreender o papel da infecção latente na incidência da doença, bem como encontrar estratégias que minimizem as perdas, com baixo impacto ambiental, é fundamental para o manejo sustentável da cultura. Esta tese é composta por quatro artigos científicos que resultaram de trabalhos com os seguintes objetivos: estudar a relação da infecção latente com a ocorrência da podridão parda em pós-colheita; avaliar o efeito da aplicação pré-colheita de fungicidas no controle do fungo *Monilinia fructicola* durante o armazenamento e comercialização de pêssegos; investigar o potencial do silício em pré e pós-colheita no controle da podridão parda do pessegueiro. Foram utilizados pêssegos das cultivares Eldorado e Pepita em experimentos a campo envolvendo pulverizações pré-colheita de fungicidas e aplicações pré e pós-colheita de produtos à base de silício e experimentos em condições de armazenamento refrigerado a  $-0,5$  °C. Os fungicidas iprodione, tebuconazole e difenoconazole foram eficazes no controle da podridão parda a campo, enquanto que em pós-colheita, a incidência foi controlada em 96,2% com iminoctadina. Esses produtos também reduziram a incidência de lesões decorrentes de infecções latentes. Há uma alta correlação entre a presença de infecções latentes em pré-colheita com a incidência da doença em pós-colheita, sendo a maior parte das lesões após o armazenamento refrigerado decorrentes das infecções latentes do fungo *Monilinia fructicola*. Aplicação foliar de  $6 \text{ g L}^{-1}$  de metassilicato de sódio ou de silicato de sódio foram eficazes no controle da doença sem causar fitotoxidez às plantas. Seis aplicações de silicato de sódio tiveram o mesmo efeito que seis aplicações de fungicidas no controle da podridão parda em pêssegos cv. Eldorado. A aplicação de metassilicato de sódio em pós-colheita, na dose de  $6 \text{ g L}^{-1}$ , reduziu a incidência da doença, mas causou escurecimento da epiderme dos frutos. Os mecanismos físicos de defesa das plantas são afetados pelo Si, pois houve aumento do conteúdo do elemento nas folhas e frutos e aumento da textura da epiderme, entretanto, o efeito do silício sobre os mecanismos bioquímicos de defesa pode envolver a síntese de polifenóis, pois em um dos anos da pesquisa verificou-se maior conteúdo destes compostos em frutos tratados com silício. Em geral, produtos à base de silício, aplicados isoladamente ou intercalados com fungicidas, controlam a doença em pré e pós-colheita proporcionando redução no uso de fungicidas e no custo de produção.

**Palavras-chave:** *Monilinia fructicola*. Qualidade. Metassilicato de sódio. Silicato de sódio.



## ABSTRACT

### SILICON IN MANAGEMENT PRE AND POSTHARVEST BROWN ROT (*Monilinia fructicola*) IN PEACH

AUTHOR: Elizandra Pivotto Pavanello  
ADVISER: Auri Brackmann

Brown rot is the main diseases of peaches, with pre and postharvest losses. Control it is difficult because the fungus infect fruit and remain latent until conditions are favorable to its manifestation. Therefore, to understand the role of latent infection of the disease incidence and find strategies to minimize losses, with low environmental impact, is essential for sustainable crop management. This thesis consists of four papers that resulted from work with the following objectives: to study the relationship between latent infection and the occurrence of postharvest brown rot; to evaluate the effect of preharvest fungicide application on the *Monilinia fructicola* control during storage and marketing of peaches; to investigate the pre and postharvest applications of silicon on the brown rot control in peach. They were used peaches of Eldorado and Pepita cultivars, in field experiments involving preharvest spraying of fungicides and pre and postharvest applications of silicon and experiments in refrigerated storage conditions at -0.5 ° C. Iprodione, tebuconazole and difenoconazole are effective in brown rot control in the field conditions, while in postharvest, the incidence was controlled in 96.2% with iminoctadine. These products decreased the incidence of injuries resulting from latent infections. There is a high correlation between the presences of latent infections in preharvest with the incidence of the disease in postharvest, with most of the damage after cold storage resulting from the latent infections of *Monilinia fructicola*. Foliar application of 6 g L<sup>-1</sup> sodium silicate or sodium metasilicate is effective in controlling the disease without causing phytotoxicity to the plants. Six sodium silicate applications had the same effect as six fungicides applications to brown rot control in peaches 'Eldorado'. Postharvest sodium metasilicate application, in 6 g L<sup>-1</sup>, reduced the diseases incidence but caused fruit skin darkening. Physical defense mechanisms of the plants are affected by silicon application, because it increased the element content in the leaves and fruits, and increased skin texture. However, the effect of silicon on the biochemical defense mechanisms may involve the synthesis of polyphenols, because in the one year of search we found a higher content of these compounds in fruit treated with silicon. In general, products based on silicon, applied alone or intercalated with fungicides, control the disease in pre and postharvest, allowing a decrease in fungicide use and production cost.

**Key words:** *Monilinia fructicola*. Quality. Sodium metasilicate. Sodium silicate.



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figure 1 - Rainfall, relative humidity (RH) and temperature recorded at the weather station in Santiago, RS, 2012 (A and B). Incidence of brown rot at harvest, after preharvest application of fungicides in peaches cv. Eldorado (C).....58
- Figure 2 - Rainfall, relative humidity (RH) and temperature, recorded at the weather station in Santiago, RS, 2014.....63

### ARTIGO 2

- Figura 1 – Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Pepita, no ano de 2013.....74
- Figura 2 - Efeito das doses de metassilicato de sódio, *in vitro*, na germinação de esporos (A) e diâmetro micelial (B) em dois isolados de *Monilinia fructicola*. Incidência de podridão parda no campo (C) e incidência durante quatro dias de exposição dos frutos à temperatura de 20 °C (D) em pêssegos cv. Pepita, com aplicação pré-colheita de metassilicato de sódio. Santa Maria, 2013.....78
- Figura 3 - Sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B), firmeza de polpa (C), polifenóis totais (D), após a colheita em pêssegos tratados com metassilicato de sódio em pré-colheita. Santa Maria, 2013.....81
- Figura 4 - Taxa respiratória (A, C, E) e produção de etileno (B, D, F) durante quatro dias de exposição dos frutos a 20°C em pêssegos tratados com metassilicato de sódio em pré-colheita. Santa Maria, 2013.....82
- Figura 5 - Correlação de Pearson entre variáveis em pêssegos ‘Pepita’ tratados com metassilicato de sódio em pré-colheita, Santa Maria, 2013.....83

### ARTIGO 3

- Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Eldorado, nos anos de 2013 (A) e 2014 (B).....94

### ARTIGO 4

- Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Eldorado, nos anos de 2013 (A) e 2014 (B). .....117





## **LISTA DE QUADROS**

### **ARTIGO 1**

Box 1 - Date of application of fungicides and dates and volumes of rainfall in December in the city of Santiago, RS. 2012.....	53
--	----



## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

- Table 1 - Effect of fungicides on the incidence of latent infection by *M. fructicola* in mature fruits, for six days at 20 °C and postharvest brown rot incidence after harvest and 40 days of cold storage (CS) to -0.5°C, four days at 20 °C. Santa Maria, 2012.....59
- Table 2 - Fungicidal effect of products applied in the field 'Eldorado' peaches in control of brown rot, in injured fruit at harvest. Santa Maria, RS, 2012.....60
- Table 3 - Monitoring of latent infections *Monilinia fructicola* in five sampling dates, brown rot in the field and in postharvest and the role of latent infection and external contamination in postharvest rot incidence. Santiago, RS, 2014.....62
- Table 4 - Pearson correlation between the incidence of latent infection *Monilinia fructicola* on different dates and the incidence disease at harvest and postharvest.....65

### ARTIGO 3

- Tabela 1 - Descrição dos tratamentos aplicados no experimento I (2013/2014) e experimentos II e III (2014/2015).....93
- Tabela 2 - Incidência de podridão parda no campo e após 35 dias de armazenamento refrigerado a -0,5°C em pêsegos cv. Eldorado tratados com silício em pré-colheita. Santiago e Santa Maria. 2013/2014. Experimento I.....98
- Tabela 3 – Incidência de podridão parda a campo e em pós-colheita, em pêsegos 'Eldorado' tratados com silício. Santiago e Santa Maria, 2014/2015. Experimento II.....100
- Tabela 4 – Incidência de podridão parda a campo e pós-colheita em pêsegos 'Eldorado' tratados com diferentes fontes de silício. Santiago, 2014/2015. Experimento III.....101
- Tabela 5 – Polifenóis totais, sólidos solúveis totais, acidez titulável e firmeza de polpa na colheita e após 35 dias de armazenamento refrigerado a -0,5°C mais 4 dias a 20°C, em pêsegos cv. Eldorado tratados com Silício em pré-colheita. Santiago e Santa Maria, 2013/2014. Experimento I.....102
- Tabela 6 – Textura da epiderme, firmeza de polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, teor de polifenóis totais e conteúdo de Si na folha e fruto, na colheita e após 35 dias de armazenamento refrigerado a -0,5 °C mais 4 dias a 20°C, em pêsegos cv. Eldorado tratados com Silício a campo. Santiago e Santa Maria, 2014/2015. Experimento II.....104

#### ARTIGO 4

- Tabela 1 – Descrição dos tratamentos aplicados em pré-colheita no experimento I (2013-2014) e experimento II (2014-2015).....115
- Tabela 2 – Incidência de *Monilinia fructicola* e de frutos sadios em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com Si em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).....120
- Tabela 3 – Incidência de *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. e de frutos sadios em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com Si em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais dois e quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).....122
- Tabela 4 – Sólidos solúveis (SST) e acidez titulável (AT) em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com metassilicato de sódio (MS) em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).....124
- Tabela 5 – Firmeza de polpa, escurecimento da epiderme, textura da epiderme e polifenóis totais em pêssegos cv. Eldorado tratados com Si em pré-colheita e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5 °C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).....125

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\mu\text{L L}^{-1}$	Microlitro por litro
AR	Armazenamento refrigerado
AT	Acidez titulável
BDA	Meio de cultura Batata, Dextrose, Agar
BOD	Demanda Bioquímica de Oxigênio
$\text{C}_2\text{H}_4$	Etileno
$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono (gás carbônico)
CS	Cold Storage
cv	Cultivar
CV	Coefficiente de variação
DAC	Dias antes da colheita
DAR	Dias após o raleio
DAT	Days after thinning
DBH	Days before harvest
EPIs	Equipamentos de proteção individual
g	Gramas
ha	Hectare
$\text{H}_4\text{SiO}_4$	Ácido monossilícico
i.a.	Ingrediente ativo
ISR	Induced Systemic Resistance
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
meq	Miliequivalente
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MS	Metassilicato de sódio
N	Newton
Na	Sódio
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Carbonato de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
$\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)$	Metassilicato de sódio
NPP	Núcleo de Pesquisas em Pós-colheita
$^{\circ}\text{C}$	Temperatura em graus Celsius
PDA	Potato dextrose Agar
PRPs	Proteínas relacionadas com patogênese
ppm	Parte por milhão
RH	Relative humidity
SAR	Systemic Acquired Resistance
Si	Silício
$\text{SiO}_2$	Dióxido de Silício
$\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$	Sílica gel
SS	Silicato de sódio
SST	Sólidos solúveis totais
t	Tonelada

UR  
UV

Umidade Relativa  
Radiação ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	24
1.1 HIPÓTESES .....	27
1.2 OBJETIVO GERAL.....	28
<b>1.2.1 Objetivos específicos</b> .....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	29
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PODRIDÃO PARDA DO PESSEGUEIRO .....	29
<b>2.1.1 Ciclo das relações patógeno hospedeiro</b> .....	30
<b>2.1.2 Infecção latente</b> .....	31
<b>2.1.3 Resistência da planta - virulência do patógeno</b> .....	33
2.2 CONTROLE DA DOENÇA .....	35
2.3 ALTERAÇÕES NO METABOLISMO DAS PLANTAS .....	39
2.4 SILÍCIO NA AGRICULTURA .....	41
<b>2.4.1 Dinâmica do silício: solo-planta</b> .....	42
<b>2.4.2 Benefício do silício as plantas</b> .....	44
<b>2.4.3. Silício no controle de doenças</b> .....	44
<b>3 ARTIGO 1</b> .....	49
3.1 PEACH BROWN ROT CONTROL AND THE RELATIONSHIP OF LATENT INFECTION WITH POSTHARVEST DISEASE .....	49
<b>3.1.1 Introduction</b> .....	51
<b>3.1.2 Material and methods</b> .....	52
<i>3.1.2.1 Pre and postharvest control of brown rot</i> .....	52
<i>3.1.2.2 Evaluation latent infection</i> .....	54
<i>3.1.2.3 Determination of latent infection in green fruit</i> .....	55
<i>3.1.2.4 Determination of latent infection in mature fruit</i> .....	56
<i>3.1.2.5 Statistical analysis</i> .....	56
<b>3.1.3 Results and discussion</b> .....	57
<i>3.1.3.1 Performance of fungicides in controlling preharvest brown rot</i> .....	57
<i>3.1.3.2 Performance of fungicides to control of postharvest brown rot</i> .....	58
<i>3.1.3.3 Relationship of latent infection with postharvest brown rot</i> .....	61
<b>3.1.4 Conclusions</b> .....	65
<b>3.1.5 Acknowledgements</b> .....	66
<b>3.1.6 References</b> .....	66

<b>4 ARTIGO 2</b> .....	69
4.1 METASSILICATO DE SÓDIO NO CONTROLE PRÉ E PÓS-COLHEITA DA <i>Monilinia fructicola</i> .....	69
<b>4.1.1 Introdução</b> .....	71
<b>4.1.2 Material e métodos</b> .....	72
4.1.2.1 Avaliação da germinação de esporos e crescimento micelial de <i>Monilinia fructicola</i> in vitro. ....	72
4.1.2.2 Experimento a campo.....	73
4.1.2.3 Avaliação da incidência de podridão parda em pré e pós-colheita .....	74
4.1.2.4 Avaliação dos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos.....	75
4.1.2.5 Análise estatística .....	76
<b>4.1.3 Resultados e Discussão</b> .....	76
4.1.3.1 Inibição do crescimento micelial e germinação de esporos de <i>Monilinia fructicola</i> in vitro. ....	76
4.1.3.2 Incidência de podridão parda em pré e pós-colheita .....	78
4.1.3.3 Parâmetros de maturação e qualidade .....	80
<b>4.1.4 Conclusões</b> .....	83
<b>4.1.4 Referências</b> .....	84
<b>5 ARTIGO 3</b> .....	89
5.1 USO COMBINADO DO SILÍCIO E FUNGICIDAS QUÍMICOS NO CONTROLE DA PODRIDÃO PARDA DO PESSEGUEIRO .....	89
<b>5.1.1 Introdução</b> .....	90
<b>5.1.2 Material e métodos</b> .....	92
5.1.2.1 Descrição da área experimental .....	92
5.1.2.2 Condução do experimento I.....	92
5.1.2.3 Condução do experimento II.....	94
5.1.2.4 Condução do experimento III .....	95
5.1.2.5 Avaliações da incidência de podridão parda na colheita e pós-colheita .....	95
5.1.2.6 Avaliação dos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos.....	96
5.1.2.7 Conteúdo de silício nos frutos e análise anatômica .....	97
5.1.2.8 Análise estatística .....	97
<b>5.1.3 Resultados e discussão</b> .....	97
5.1.3.1 Efeito do Si na incidência da podridão parda .....	97



5.1.3.2 Efeito do Si na maturação dos frutos e em mecanismos de defesa da planta .....	102
<b>5.1.4 Conclusões</b> .....	105
<b>5.1.5 Referências Bibliográficas</b> .....	105
<b>6 ARTIGO 4</b> .....	111
6.1 SILÍCIO E FUNGICIDAS NO MANEJO DE DOENÇAS PÓS-COLHEITA E NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE PÊSSEGOS .....	111
<b>6.1.1 Introdução</b> .....	112
<b>6.1.2 Material e métodos</b> .....	114
6.1.2.1 Descrição da área experimental.....	114
6.1.2.2 Condução do experimento I.....	114
6.1.2.3 Condução do experimento II .....	116
6.1.2.4 Avaliações pós-colheita.....	117
6.1.2.5 Análise estatística.....	118
<b>6.1.3 Resultados e discussão</b> .....	118
6.1.3.1 Efeito do Si na incidência de podridões .....	118
6.1.3.2 Efeito do Si na maturação e qualidade dos frutos.....	123
<b>6.1.4 Conclusões</b> .....	126
<b>6.1.5 Referências Bibliográficas</b> .....	127
<b>7 DISCUSSÃO GERAL</b> .....	131
<b>8 CONCLUSÃO GERAL</b> .....	135
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	137
<b>APÊNDICE A</b> .....	151
<b>APÊNDICE B</b> .....	153



## 1 INTRODUÇÃO

O pêssego é um fruto climatérico da espécie *Prunus persica* L., originário da Ásia e sua expressiva produção comercial localiza-se preferencialmente em regiões de clima temperado, entre as latitudes 30° N e 45° S. É um dos frutos que mais rapidamente se difundiu pelo mundo, com uma produção de 21,6 milhões de toneladas. No Brasil no ano de 2013, a produção foi de 217 mil toneladas, sendo o 13° país maior produtor (FAO, 2015). Os principais estados produtores encontram-se na Região Sul, sendo que o Rio Grande do Sul é responsável por 65 % da produção nacional. A área destinada no Rio Grande do Sul para a cultura do pêssego representa 67% do que é explorado no Brasil (EMBRAPA, 2009).

Uma das limitações da cultura é a alta perecibilidade do fruto, que possui um curto período de colheita e conservação, sendo as podridões a principal causa de perdas qualitativas e quantitativas. A podridão parda, causada pelo fungo *Monilinia fructicola* (G. Winter) Honey), é a doença de maior ocorrência e severidade, causando danos relevantes na produção, apesar das práticas de profilaxia e produtos químicos utilizados, tanto em pré quanto em pós-colheita. Isso ocorre devido ao fungo atacar flores e frutos no pomar, ficando essa infecção latente até a colheita ou pós-colheita, quando se manifesta, principalmente após o armazenamento (LARENA et al., 2005; VILLARINO et al., 2012). Para o controle da doença é fundamental reduzir o inóculo inicial no campo, minimizando assim as infecções latentes e a sua manifestação durante o armazenamento e comercialização. Para Larena et al. (2005), os danos em frutos podem chegar a 59% em pós-colheita. Sestari et al. (2008) verificaram danos de 80% da colheita à comercialização. Pavanello et al. (2015) observaram danos de 50% dos pêssegos após 40 dias de armazenamento refrigerado mais 6 dias de exposição a 20 °C.

Durante o armazenamento dos frutos, para prolongar o período de oferta, é de extrema importância que o manejo pós-colheita seja adequado, iniciando pelo correto manuseio dos frutos na colheita e pós-colheita juntamente com o controle das condições de armazenamento, como a temperatura e umidade relativa. Temperaturas baixas diminuem as reações químicas e enzimáticas, além de retardar ou inibir a atividade dos micro-organismos, e a manutenção em níveis satisfatórios de umidade relativa na câmara resulta em menores danos por desidratação e/ou incidência de fungos. O armazenamento refrigerado, método mais utilizado para a conservação de pêssegos, diminui o metabolismo dos frutos e evita a sua rápida deterioração. Porém, em armazenamentos prolongados a acentuada perda de firmeza de polpa, a ocorrência de distúrbios fisiológicos e, principalmente, a incidência de podridões são os problemas que limitam o sucesso desse processo.

Associado às técnicas de armazenamento, a aplicação de produtos alternativos, compostos por cloro, fosfitos e cálcio foram testados para o controle da podridão parda, entretanto, não apresentam resultados satisfatórios após um período prolongado de armazenamento e posterior exposição dos frutos à temperatura ambiente. O tratamento químico com fungicidas ainda é a forma mais eficiente e utilizada para controle da podridão parda, sendo que as aplicações em pré-colheita são fundamentais para reduzir o inóculo e diminuir a sua proliferação em pós-colheita (MAY DE MIO, 2009; PAVANELLO et al., 2015). Existem vários fungicidas registrados para a cultura do pessegueiro, como iprodione, captana, tebuconazole, iminocadina, azoxystrobina, dithianona, mancozeb, benomil, entre outros (AGROFIT, 2016). A aplicação de fungicidas eficientes nas fases da cultura, quando as infecções mais acontecem, respeitando o período de carência, é importante para obter frutos com menor índice de infecção, com baixo potencial de inóculo na época da colheita e sem resíduos químicos (VILLARINO et al. 2012; PAVANELLO et al. 2015). Frutos com esse manejo de controle das infecções latentes, impedindo a evolução da doença durante o processo de maturação, armazenamento e comercialização, sofrerão menores danos em pós-colheita (MAY DE MIO, 2009).

Embora o tratamento com fungicida sintético até o momento seja o principal método para o controle de doenças fúngicas, é crescente a preocupação sobre o impacto desses produtos ao meio ambiente e a saúde humana, surgindo o interesse em explorar novas alternativas para o manejo da doença. Nesse sentido, os métodos alternativos poderiam resultar em menor risco de desenvolvimento de populações do fungo resistente ao ingrediente ativo, menor custo e menor risco de contaminação dos frutos com aplicações próxima à colheita, além de reduzir o impacto da agricultura sobre o meio ambiente e na saúde humana (ELMER; REGLINSKI, 2006; MARI et al., 2010).

A utilização de produtos com menor impacto ambiental como, por exemplo, a utilização de elicitores abióticos, tanto em pré quanto pós-colheita, tem ganhado força no meio científico. Nesse sentido, pesquisas envolvendo a utilização de produtos à base de Si para o controle de doenças está em evidência. O Si é eficaz na redução da intensidade de doenças em várias culturas economicamente importantes, como a cevada (*Hordeum vulgare*), milho (*Zea mays*), pepino (*Cucumis sativus*), uva (*Vitis vinifera*), arroz (*Oryza sativa*), azevém (*Lolium spp.*), Sorgo (*Sorghum bicolor*) e soja (*Glycine max*) (DATNOFF et al., 2007), trigo (*Triticum aestivum*) (GUEVEL et al., 2007; DOMICIANO et al., 2010), tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) (DANNON; WYDRA, 2004) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) (POLANCO et al., 2012). Em pós-colheita, sua eficácia já foi reportada para cereja (QIN; TIAN, 2005), melão

(BI et al., 2006), batata (LI et al., 2009) e pêssegos (BIGGS et al., 1997; NASCIMENTO et al. 2014). A eficácia do Si no controle de doenças em plantas pode ser atribuída à ativação do estado de ‘*priming*’ da planta a qual ativará com maior rapidez e intensidade os mecanismos de defesa das plantas, com o aumento da concentração de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, bem como à maior atividade de enzimas de defesa e antioxidantes (GUERRA et al., 2013; HAYASAKA et al., 2008; DALLAGNOL et al. 2015; RAHMAN et al., 2015; SILVA et al., 2015). Ademais, não se pode descartar a importância da sílica amorfa abaixo da cutícula e na parede celular como mecanismo de defesa que impede ou atrasa a penetração do patógeno (RODRIGUES, et al. 2015).

Sabendo-se da importância do controle da podridão parda de forma sustentável, é fundamental que as pesquisas busquem produtos eficientes, tanto fungicidas quanto produtos alternativos de baixo custo, que não depreciem a qualidade dos frutos e que tenham o mínimo impacto ambiental e à saúde humana. Nesse sentido, esta pesquisa busca esclarecer o papel da infecção latente e da contaminação externa pelo fungo *Monilinia fructicola* na podridão pós-colheita e avaliar a eficácia de alguns dos fungicidas mais utilizados pelos produtores no controle da podridão parda após longos períodos de armazenamento. Além disso, investigar o potencial do silício no controle da doença buscando a redução do número de aplicações de fungicidas, de forma a complementar o manejo integrado da cultura, bem como encontrar alternativas para o cultivo orgânico de frutas.

## 1.1 HIPÓTESES

A *Monilinia fructicola* infecta o fruto no período de crescimento e causa a podridão na fase pós-colheita.

A utilização de fungicidas eficientes em pré-colheita reduz a incidência das infecções latentes e, com isso, garante satisfatório controle da podridão parda após longos períodos de armazenamento refrigerado.

Alguns fungicidas protegem os frutos apenas superficialmente, enquanto outros são capazes de retardar a incidência da doença mesmo com ferimentos pós-colheita.

A aplicação foliar de Si é uma alternativa para controle da podridão parda que permitirá a redução no número de aplicações de fungicidas.

O tratamento pós-colheita com produtos à base de Si complementa o tratamento pré-colheita com fungicidas para o controle do fungo *Monilinia fructicola*.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Estimar a importância da infecção latente de *Monilinia fructicola* e o efeito da aplicação pré-colheita de fungicidas e de Si no controle da doença, de forma a reduzir o número de aplicações de fungicidas, contribuindo para o manejo integrado da cultura do pessegueiro.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Estudar a relação da infecção latente de *Monilinia fructicola* e contaminação externa com a ocorrência podridão parda em pós-colheita

Avaliar o efeito da aplicação pré-colheita de fungicidas no controle do fungo *Monilinia fructicola* durante o armazenamento e comercialização de pêssegos.

Avaliar o desempenho de fungicidas, aplicados em pré-colheita, sobre o controle da podridão em frutos que sofreram ferimentos ou não durante a fase da pós-colheita.

Investigar o potencial do silício em pré e pós-colheita no controle da podridão parda do pessegueiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PODRIDÃO PARDA DO PESSEGUEIRO

A podridão parda do pessegueiro, causada pelo fungo *Monilinia fructicola*, é a principal doença da cultura, sendo responsável por altas perdas na produção. O fungo ataca partes aéreas das plantas hospedeiras, causando vários sintomas, os quais incluem lesões em flores, cancos nos ramos e podridões nos frutos (WAGNER JÚNIOR et al., 2005a; WAGNER JÚNIOR et al., 2005b; VILLARINO et al., 2012). O fungo possui a capacidade de infectar as frutas no pomar, ficando essa infecção latente até a época da colheita e pós-colheita (SOUZA et al., 2001) e, dessa forma, causar uma grande destruição de frutos maduros, tanto no pomar quanto durante o armazenamento e comercialização (ANDRADE, 1995; HONG et al., 1997; VILLARINO et al., 2012). A doença pode ser causada por três espécies de fungos do gênero *Monilinia*, sendo *Monilinia fructicola*, *Monilinia laxa* e *Monilinia fructigena* (ADAKAVEG et al., 2008). *Monilinia laxa* (Aderhold e Ruhland) Honey (podridão parda européia), importante e amplamente distribuída na Europa, mas de menor importância onde ocorre *M. fructicola* (ADASKAVEG et al., 2008). *Monilinia fructigena* de ocorrência restrita na Europa e Ásia, mas ausente nas Américas e Oceania (EPPO, 2009). *Monilinia fructicola* (Wint) Honey (podridão parda americana), que ocorre na América do Norte e do Sul, Japão, Austrália e em algumas regiões da Europa. No Brasil, ocorre o predomínio da *M. fructicola*, sendo em 2008 detectada no estado de São Paulo a presença de *M. laxa* (SOUZA et al., 2008).

O fungo *Monilinia fructicola* é um ascomiceto, pertencente à classe dos Ascomicetos e à ordem Helotiales, com a presença de apotécio e escleródios. O ciclo evolutivo do fungo é caracterizado por uma fase sexual (teleomórfica), que produz esporos sexuais chamados ascósporos, e uma fase assexuada (anamórfica), que produz esporos assexuados (conídios). Durante a fase teleomórfica, nas regiões que são produzidos, os ascósporos são projetados e disseminados pelo vento, constituindo-se o inóculo primário da doença (AGRIOS, 2005). Condições climáticas, como temperatura e umidade relativa são importantes para o desenvolvimento dessa fase, em que a temperatura ótima para a iniciação do apotécio e seu desenvolvimento corresponde a 15 °C. Entretanto, para que ocorra a produção de apotécios é necessário um longo período incubação a temperaturas inferiores a 15 °C e alta umidade relativa (BYRDE; WILLETTS, 1977b; HOLTZ et al., 1998; TERUI; HARADA, 1966; WILLETTS, HARADA, 1984). Além disso, segundo os autores, a umidade é fundamental, pois o

desenvolvimento do apotécio está vinculado a frutos mumificados que se encontram no solo, não tendo conhecimento de sua ocorrência em múmias que permaneçam nas plantas.

No Brasil a fase sexuada do patógeno é raramente encontrada, com alguns registros apenas nas regiões mais frias do Sul do país, onde se encontra principalmente na sua forma assexuada, com os conídios como inóculo primário da doença (BLEICHER, 1997, MAY DE MIO, 2014). Nessa fase, a epidemia da doença é favorecida por umidade elevada e temperatura de 25 °C, ocorrendo a infecção em um período de cinco horas, enquanto que a 10°C, o período necessário para infecção é de 18 horas (ANDRADE, 1995; BLEICHER, 1997). A água livre na superfície do fruto, seguida de exposição a 98% de umidade relativa e temperatura de 20 °C resultou em esporulação após 12 horas da infecção (CORBIN; CRUICKSHANK, 1963; WATSON et al., 2002). Segundo Ritchie (2000), em condições ideais, os conídios germinam dentro de 3 a 5 horas e o crescimento micelial extensivo pode ocorrer dentro de 24 horas.

### **2.1.1 Ciclo das relações patógeno hospedeiro**

A *Monilinia fructicola* sobrevive e produz inóculo primário sobre duas condições: por micélio em frutos mumificados, cancos de ramos, produzindo conídios, característico da fase assexuada, e pela formação de pseudo-escleródio do fruto mumificado no solo, produzindo o apotécio e, conseqüentemente, ascos e ascósporos, correspondendo à fase sexuada (BYRDE; WILLETTS, 1977a; HOLTZ et al. 1998; OGAWA; ENGLISH, 1991). No Brasil, a sobrevivência do patógeno ocorre normalmente em frutos mumificados, pedúnculos florais, flores secas e cancos de ramos. Em condições climáticas favoráveis, os conídios presentes nessas estruturas são considerados como o inóculo primário da doença (ANDRADE, 1995; BLEICHER, 1997; FORTES; MARTINS, 1998, RITCHIE, 2000).

Os conídios são disseminados pelo ar, chuva, insetos e ou animais, atingindo partes suscetíveis da planta, como flores e frutos jovens (MAY DE MIO et al., 2004). *M. fructicola* forma conidióforos pequenos e não especializados que elevam as cadeias de conídios acima dos tecidos infectados, favorecendo a disseminação por correntes de ar a longas distâncias (BYRDE; WILLETTS, 1977a). Além disso, gotas de chuva também são eficiente forma de dispersão, carregando maior número de esporos e facilitando a infecção do fruto (JENKINS, 1965). Em sequência, os conídios são depositados na superfície das flores, ramos e frutos imaturos durante o início da primavera e as hifas penetram pela cutícula ou ferimentos, dando início a infecção primária (BLEICHER, 1997; CORBIN; CRUICKSHANK, 1963; MARTINS et al., 2005; MICHAILIDES; MORGAN, 1997). Após esse período, a concentração do inóculo



e o ambiente são importantes fatores que afetam a ocorrência da infecção secundária (BYRDE; WILLETTS, 1977b; GELL et al., 2009), em que, a esporulação do fungo sobre as flores fornece os conídios para infectar o fruto durante a fase de crescimento e amadurecimento (RITCHIE, 2000). O número de conídios na superfície do hospedeiro é afetado por fatores climáticos, tais como temperatura, intensidade da radiação solar, quantidade de chuva e velocidade do vento (GELL et al., 2009). A alta umidade relativa e numa faixa de temperatura de 15 e 25 °C favorecem a doença, embora a infecção pode também ocorrer sob condições mais extremas entre 5-30 °C (TIAN; BERTOLINI, 1999; WATSON et al., 2002). Biggs e Northover (1988) constataram que as temperaturas ideais e duração de umidade foram de 22,5 a 25 °C e 12 horas para a infecção de pêssegos. Essas infecções podem permanecer latentes ou quiescentes (GELL et al., 2008; LUO et al., 2005) até que as condições meteorológicas são propícias à manifestação da doença (EMERY et al., 2000; GELL et al., 2008).

A penetração pelo fungo pode ocorrer através de feridas ou diretamente através dos estômatos, da cutícula intacta ou pela pilosidade da epiderme (CRUICKSHANK; WADE, 1992; SMITH, 1936). Na sequência, a colonização é rápida, com formação de micélio inter e intracelular, com simultânea segregação de enzimas degradantes e ou metabolitos de baixo peso molecular causando a maceração da parede celular e morte das células do hospedeiro, com rápida produção de conídios sobre a área degradada (LEE; BOSTOCK, 2006; PRING et al., 1981). Os novos conídios são fonte de infecção secundária, ficando o fruto totalmente colonizado dentro de alguns dias, podendo ficar preso à árvore ou no solo. Os frutos caídos no solo geralmente se desintegram através da ação dos fungos saprofíticos e bactérias, enquanto isso, os que permanecem na árvore, em forma de múmias, não são afetados por microrganismos e podem persistir por dois anos ou mais, originando o inóculo para a infecção primária e alimentando o ciclo do patógeno (AGRIOS, 2005).

### **2.1.2 Infecção latente ou quiescente**

Infecções que ocorrem em frutos em desenvolvimento, que temporariamente não produzem nenhum sintoma visível, mas são capazes de se exteriorizar em determinadas circunstâncias, são chamadas de infecções latentes ou quiescentes (AGRIOS, 2005). Jarvis (1994) considera as infecções como visíveis e invisíveis, sendo essas, estabelecidas quando as condições ambientais ou fisiológicas são propícias para a penetração, mas não para crescimento ativo do agente patogênico, ficando assim, uma relação parasitária quiescente até um momento posterior. Sob condições favoráveis, maturação ou fatores microclimáticos, a infecção pode ser

ativada, causando rápida deterioração dos frutos (LUO; MICHAILIDES, 2003; WADE; CRUICKSHANK, 1992; VILLARINO et al. 2012). Luo e Michailides (2003) consideram a temperatura e o período de molhamento fatores importantes na infecção pela *M. fructicola*. Embora as infecções possam ocorrer ao longo de todo o ciclo da cultura, nem todas as infecções latentes induzem o apodrecimento antes da colheita, podendo ser fontes de inóculo para a podridão parda em pós-colheita, durante o armazenamento refrigerado (CRUICKSHANK; WADE, 1992; NORTHOVER; CERKAUSKAS, 1994). Segundo Layne e Bassi (2008), as infecções quiescentes que ocorrem durante o desenvolvimento dos frutos podem tornar-se ativas quando a fruta amadurecer, podendo ocorrer antes ou após a colheita. A suscetibilidade à podridão parda é dependente do estágio de desenvolvimento dos frutos (GELL et al., 2008). Frutos imaturos são mais resistentes à infecção por *Monilinia* spp. do que frutos maduros (GELL et al., 2008; LEE; BOSTOCK, 2007; XU et al., 2007;).

Infecções latentes por *M. fructicola* e *M. laxa* têm sido documentadas em pêssegos (EMERY et al., 2000; GELL et al., 2008; MICHAILIDES et al., 1995), ameixas (LUO; MICHAILIDES, 2001; 2003; NORTHOVER; CERKAUSKAS, 1994; MICHAILIDES et al., 1995;) e cerejas (FÖRSTER; ADASKAVEG, 2000; WITTIG et al., 1997; XU et al., 2007). Em pêssago, infecções latentes podem ocorrer durante todas as fases de desenvolvimento do fruto, mas seu papel na epidemiologia da podridão parda é incerto (EMERY et al., 2000). Gell et al. (2008) demonstraram que a temperatura e o período de molhamento são dois fatores climáticos importantes que contribuíram para a incidência de infecções latentes provocadas por *M. laxa* and *M. fructigena* em pomares de pêssago na Espanha. Esses autores descobriram que para haver desenvolvimento das infecções latentes, a temperatura deve ser maior que 8 °C e período de molhamento superior a 22 horas ou 5 horas de molhamento e 25 °C.

Alguns autores relatam que a incidência de infecções latentes em frutos verdes apresenta correlações positivas com a incidência da doença na colheita e pós-colheita (EMERY et al., 2000, LUO et al. 2005; MICHAILIDES et al., 1995, 1997; NORTHOVER; CERKAUSKAS, 1994; XU et al., 2007), entretanto, Kable (1971) concluiu que apenas as infecções latentes próximas à colheita são importantes para o desenvolvimento da doença em pós-colheita. Infecções latentes em frutos verdes foram detectadas nos Estados Unidos (ZEHR, 1982) e no Brasil (MAY DE MIO et al., 2008; MOREIRA; MAY DE MIO, 2007), em que o processo infeccioso tem início no fruto com a penetração de micélio pelos estômatos. Lee e Bostock (2006) observaram a formação de apressórios nos bordos das células guardas e nos sulcos das células laterais adjacentes de frutos verdes. Além disso, Byrde e Willetts (1977a) concluíram que os conídios de *M. fructicola* são depositados entre os pelos da superfície dos frutos,

permanecendo latentes até o início da maturação, quando ocorre diminuição da resistência mecânica da epiderme.

### **2.1.3 Resistência da planta - virulência do patógeno**

A resistência à podridão parda na cultura do pessegueiro é fortemente dependente do estágio de desenvolvimento do fruto e está correlacionada a mecanismos estruturais pré-formados e de defesa da planta, como a espessura da cutícula, compactação das células da epiderme e produção de compostos fenólicos. (LEE; BOSTOCK, 2007; WAGNER JÚNIOR, 2005b). Após a infecção, a resistência contra *Monilinia fructicola* também é correlacionada com a espessura da cutícula e da parede celular, em que o período quiescente do fungo foi maior com o aumento na espessura da cutícula e da parede celular de pêssegos (ADASKAVEG et al., 1989, 1991; MICHAILIDIS; JOHNSON, 1992). Michailidis e Johnson (1992), trabalhando com nectarinas, também evidenciaram que o desenvolvimento de infecções quiescentes de *M. fructicola* aumenta conforme a espessura da cutícula da fruta diminuiu.

Ferimentos na epiderme, principalmente em frutos verdes, são pontos de entrada para infecção e fontes de nutrientes para subseqüentes esporulações (EMERY, 2000). Isto pode estar relacionado aos apontamentos descritos por Schlagbauer e Holz (1989), nos quais relataram que a resistência à podridão parda parece estar limitada à epiderme, não havendo qualquer tipo de resistência na polpa das frutas. Assim, supõe-se que nas primeiras 72 horas após a inoculação alguns frutos conseguem retardar a penetração do patógeno, pois ainda o mesmo não atingiu a polpa, mas com 120 horas já ocorre a infecção, sendo estes rapidamente suscetíveis, servindo como fonte de inóculo para contaminação dos demais. Com a maturação dos frutos, respostas fisiológicas e bioquímicas no hospedeiro podem desencadear alterações e ativar o agente patogênico, que deixaria a fase de baixo nível metabólico (quiescente) e passaria a ativar fatores de patogenicidade, resultando em desenvolvimento parasitário ativo (PRUSKY, 1996). Nesse aspecto, as cutinases apresentam um papel importante durante a penetração da cutícula por fungos patogênicos e a sua inibição por inibidores químicos específicos, que protegem os frutos contra as infecções fúngicas. Na podridão parda do pessegueiro, a atividade das cutinases parece ser inibida pelos compostos fenólicos abundantes em células epidérmicas de frutos jovens, tornando-os resistente à infecção. A ação das cutinases, juntamente com as injúrias provocadas no momento da colheita são responsáveis pela alta incidência da podridão parda durante o armazenamento e comercialização dos frutos (BERGAMIM FILHO; AMORIM, 1996). A alta suscetibilidade dos frutos no estágio da maturação também pode ser relacionada

ao pH e conteúdo de sólidos solúveis totais. Isto pode estar relacionado com as preferências dos fungos, uma vez que, os sólidos solúveis totais incluem açúcares redutores e outras moléculas facilmente consumidas pelos mesmos (WALKER; WHITE, 2005).

Segundo Gradziel (1994), no início do seu desenvolvimento os frutos são altamente suscetíveis, tornando-se resistentes, próximo ao período de endurecimento do caroço e, mais tarde, no período de maturação, tornam-se novamente altamente suscetíveis. Villarino et al. (2011) verificaram que a suscetibilidade do pêssego foi maior na 32<sup>a</sup> e 34<sup>a</sup> semanas de crescimento, quando o endocarpo e pericarpo foram completamente formados, e sugeriram que as baixas concentrações dos ácidos clorogênico e neoclorogênico na casca e polpa do fruto maduro podem contribuir para a sua susceptibilidade à infecção. Compostos fenólicos são bem conhecidos como substâncias fungitóxicas, antibacterianas e antiviróticas (LO; NICHOLSON, 2008). O efeito inibitório de compostos fenólicos na germinação de esporos, crescimento micelial e produção/atividade de enzimas microbianas variam entre os diferentes grupos de fenóis, podendo estar envolvidos nos mecanismos estruturais e bioquímicos de resistência (NICHOLSON; HAMMERSCHMIDT, 1992; NICHOLSON, 1995). Os principais fenóis na epiderme de pêssego e nas camadas de células próximas à epiderme são o ácido clorogênico, ácido cafeico e os flavonoides, catequina e epicatequina (SENER; CALLAHAN, 1990). Além disso, genótipos com elevado nível de resistência ao fungo *Monilinia fructicola* são ricos nestes compostos, que declinam com a maturação dos frutos, correspondendo a fase de maior suscetibilidade à doença (BOSTOCK, 1999). A concentração desses fenóis não está relacionada à inibição do crescimento micelial e germinação dos esporos e sim à inibição da produção da cutinase pelo fungo (GRADZIEL et al., 1998).

A utilização de cultivares que apresentam considerável resistência genética à podridão parda tem sido limitada pela inexistência de materiais resistentes e com um bom potencial produtivo (MOREIRA; MAY-DE-MIO, 2007). Trabalhos demonstram que a cultivar sul-americana Bolinha exibe resistência, em frutos, relativamente maior do que outras cultivares, e que esse comportamento está relacionado com mecanismos estruturais pré-formados de defesa da planta, como a espessura da cutícula, compactação das células da epiderme e produção de compostos fenólicos (FELICIANO et al., 1987; LEE; BOSTOCK, 2007; GRADZIEL et al., 1998, 2003; WAGNER JÚNIOR, 2005b).

## 2.2 CONTROLE DA DOENÇA

O controle da podridão parda na cultura do pessegueiro compreende os métodos cultural, químico, biológico e físico, envolvendo todo o ciclo da cultura, além da pós-colheita (MOREIRA, 2005). O controle cultural, por meio de podas de ramos infectados e eliminação de frutos mumificados, constitui-se em uma das principais medidas profiláticas realizadas no pomar e tem a função primordial de eliminar a fonte de inóculo primário, mas o controle químico é a forma mais eficiente e utilizada para o controle, sendo realizado desde o início da floração até a fase de pré-colheita. O controle da podridão parda no ciclo vegetativo deve ser iniciado com a abertura das flores, na fase de plena floração e na queda das pétalas e separação do cálice. O número de tratamentos dependerá das condições climáticas favoráveis ou não à ocorrência da doença, da duração do período de floração e do estado fitossanitário do pomar (ANDRADE, 1995; BLEICHER, 1997; FORTES; MARTINS, 1998, MAY DE MIO et al., 2008; RASEIRA; QUEZADA, 2003).

Em condições de alta pressão de inóculo, o controle químico deve ser realizado precocemente, com a primeira aplicação de fungicida quando as sépalas estão se tornando visíveis ou logo após a ocorrência de períodos de molhamento e temperatura favorável à infecção (FORTES; MARTINS, 1998, MAY DE MIO et al. 2014; KIMATI et al., 1997). Na fase de frutos verdes, a utilização de fungicidas somente será necessária caso as condições de umidade sejam favoráveis à infecção e haja presença de muito inóculo na área (MAY DE MIO et al., 2014). Durante o período pré-colheita são realizadas de 3 a 4 aplicações, levando em consideração que o número de tratamentos deve ser reduzido sempre que as condições climáticas não sejam favoráveis à ocorrência da doença (KIMATI et al., 1997). Além disso, a aplicação de fungicidas a campo, quando realizada adequadamente, é uma alternativa eficiente para garantir o controle da podridão parda em pós-colheita e, desse modo, minimizar a aplicação de produtos químicos.

Atualmente, no Brasil, existem 20 ingredientes ativos de fungicidas registrados para a cultura do pessegueiro sendo esses: diclorana, captana, folpete, iprodiona, procimidona, mancozebe, azoxistrobina, dodina, iminoctadina, fluaxinam, enxofre, oxiclreto de cobre, óxido cuproso, ditianona, ciproconazol, difenoconazol, fluquinconazol, tebuconazol, triforina e a mistura oxiclreto de cobre + mancozebe (AGROFIT, 2015), sendo alguns, com registro de sua eficiência a mais de 20 anos, amplamente utilizados pelos produtores.

Os fungicidas orgânicos registrados para o controle da *Monilinia fructicola* na cultura do pessegueiro estão distribuídos em sete grupos químicos, de acordo com a classificação

proposta pelo FRAC (Fungicide Resistance Action Committee), e classificados quanto ao seu modo de ação, em sistêmicos e protetores, referindo-se à sua distribuição e movimento na planta. Os fungicidas sistêmicos apresentam mobilidade na superfície foliar e na planta. Atuam prevenindo ou paralisando o desenvolvimento da doença, mesmo em locais distantes do ponto de aplicação, permitindo a recuperação da planta e podem ser recomendados para a aplicação após a penetração do tubo germinativo devido à sua ação curativa, e dessa forma eliminar as estruturas do patógeno do interior dos tecidos da planta (AZEVEDO, 2007; HEWITT, 1998). Os protetores garantem proteção somente no local da aplicação, formando uma barreira tóxica e protetora e quando os esporos são depositados nos tecidos e germinam, o ingrediente ativo entra em contato com o tubo germinativo do patógeno causando a morte do protoplasma (NOVO, 2001; AZEVEDO, 2003). Além disso, os fungicidas são divididos em grupos químicos de acordo com o mecanismo de ação sobre os fungos, ou seja, de acordo com os processos bioquímicos envolvidos na morte da célula fúngica, em resposta à aplicação da substância química (HEWITT, 1998, REIS et al., 2010). Esses processos bioquímicos podem desencadear a morte, paralisia e inativação dos fungos, alterando seu metabolismo ou alterando as estruturas celulares (NOVO et al., 2001; AZEVEDO, 2007).

Os fungicidas compostos pelos ingredientes ativos captana e folpete utilizados na cultura do pessegueiro pertencem ao grupo químico *Ftalimidas* e são caracterizados por apresentar atividade multisítio, ou seja, provocam diferentes e simultâneas interferências na célula fúngica, pela ação múltipla dos compostos em diferentes grupos enzimáticos e passos metabólicos vitais (DELEN; TOSUN, 2003). Quando no interior da célula fúngica, reagem preferencialmente com enzimas que contêm grupos sulfidríla, podendo também reagir com grupos de aminoácidos e inibirem a síntese das enzimas que não possuem grupos sulfidríla (REIS et al., 2010). Os fungicidas deste grupo promovem efeito protetor contra uma ampla gama de patógenos, utilizados extensivamente em pulverizações foliares, tratamento de raízes (imersão) e tratamento de sementes (TOMLIN, 2002).

Ainda com atividade multisítio, os ingredientes ativos iminocadina e dodina, do grupo químico *Guanidina*, e o ingrediente ativo ditianona, grupo *Quinona*, são amplamente utilizados na cultura. Fungicidas pertencente ao grupo *Guanidina* afetam as funções da membrana celular e a biossíntese de lipídios em sítios diferentes aos dos inibidores da demetilação de esteróis. O mecanismo de ação primária ocorre ao afetar a estrutura da membrana da célula através de atividade detergente e da mudança de permeabilidade (RODRIGUES, 2006). Os fungicidas desse grupo são protetores com alguma ação curativa e apresentam baixo risco de resistência, em função de sua ação multissítio. O ingrediente ativo ditianona, do grupo das *Quinonas*, é um

fungicida foliar com ação protetora e com alguma ação curativa, afeta um grande número de enzimas fúngicas reagindo com grupamentos tiol e interfere na respiração celular (TOMLIN, 2002).

Para o ingrediente ativo diclorana, grupo químico *Cloroaromático*, e os ingredientes ativos iprodiona e procimidona, grupo químico *Dicarboximida*, o mecanismo de ação dos fungicidas está relacionado a síntese de lipídios e membranas. Os fungicidas do grupo das *Dicarboximida* interferem na respiração dos fungos, bloqueando a atividade da enzima NADH citocromo-*c*-redutase no processo respiratório, provocando uma peroxidação de lipídios (LEROUX, 1996). Esses fungicidas inibem a germinação de conídios, mas se houver germinação, os tubos germinativos ficam pequenos e intumescidos, podendo se romper. Nas hifas os compostos são rapidamente ligados à parede celular e podem provocar extravasamento do citoplasma e o crescimento micelial é interrompido. Em hifas já desenvolvidas a membrana só é alterada no ápice, onde ainda há crescimento. Os fungicidas ainda podem suprimir a formação de esclerócios (RODRIGUES, 2006). Os fungicidas Cloroaromáticos também agem na peroxidação de lipídios. Promovem o intumescimento de hifas e tubos germinativos, mas são inefetivos contra a germinação de esporos. O Diclorana apresenta ação protetora, provocando deformações nas hifas mas apresentando pouco efeito sobre os esporos (TOMLIN, 1997; TOMLIN 2002).

Na cultura do pessegueiro, o grupo químico dos *Triazóis* está representado pelos ingredientes ativos tebuconazol, fluquinconazol e difenoconazol, em que o mecanismo de ação é sobre a inibição da biossíntese de esterol. A ausência do ergosterol e o aumento de compostos intermediários promovem uma desorganização da estrutura celular, induzindo a formação de membranas alternativas. Com doses elevadas de fungicida observa-se dano direto sobre a membrana, assim como alterações morfológicas, como o inchamento das células, vacuolização excessiva, septação incompleta, aparecimento de vesículas entre a membrana e a parede celular e a formação de inclusões membranosas (FORCELINI, 1994; TOMLIN, 2002). A maioria dos triazóis são sistêmicos, e apresentam atividade protetora e curativa contra um amplo espectro de doenças foliares, radiculares e são aplicados em pulverizações foliares ou como tratamentos de sementes e solo (AGRIOS, 2005). Como protetores esses fungicidas apresentam ação tóxica sobre a germinação de esporos, sobre a formação do tubo germinativo e na formação do apressório, entretanto, esta proteção é apenas parcial, uma vez que pode ocorrer penetração do patógeno em tecidos tratados (FORCELINI, 1994; EHR; KEMMITT, 2002; RODRIGUES, 2006).

Para o grupo químico *Fenilpiridinilamida*, representado pelo ingrediente ativo fluazinam na cultura do pessegueiro, o mecanismo de ação é a inibição da respiração, pela inibição ou desacoplamento da fosforilação oxidativa que previne a formação da molécula de ATP. O fluazinam apresenta ação protetora, com pouca atividade curativa e sistêmica, mas com um bom efeito residual e estabilidade à chuva (RODRIGUES, 2006; TOMLIN, 2002).

Na década de 80, produtos como o captafol, triadimenol, iprodione e benomyl apresentaram satisfatório controle da podridão parda tanto no campo quanto em pós-colheita (BRACKMANN et al. 1986). Fortes (1994) obteve controle da podridão parda com aplicações pré-colheita de diniconazol, clorothalonil, iprodiona, triadimenol, dithianon, pirifenox, iminoctadina, mancozebe, imibenconazole e carbendazin. Medeiros e Medeiros (1997) verificaram a eficiência dos princípios ativos procimidona, imibenconazol, iminoctadina e iprodiona. Adaskaveg et al. (2005) mostraram a eficiência de propiconazol e boscalida + piraclostrobina para o controle de podridão parda, na florada, e de propiconazol, tebuconazol, ciprodinil, fenhexamida, pirimetanil e boscalida + piraclostrobina para o controle em pré-colheita nos EUA, sendo que apenas o propiconazol e o tebuconazol são registrados no Brasil. Moreira e May De Mio (2009) testaram em pré-colheita os fungicidas iminoctadina, miclobutanil e iprodiona, sendo que o primeiro apresentou 95,89% de controle da podridão em pessegueiro. May De Mio et al., (2004) relataram a eficiência dos princípios azoxistrobina e tebuconazol enquanto, Burnett et al. (2010) observaram que trifloxistrobina e azoxistrobina têm a capacidade de reduzir em 60% as áreas esporuladas, adquirindo uma alta capacidade curativa para as infecções com o fungo *Monilinia fructicola*. Recentemente, Pavanello et al., (2015) avaliaram nove ingredientes ativos em pré-colheita de pêssegos, em que difenoconazol, tebuconazol, procimidona, azoxistrovina, trifloxtrobia/tebuconazol e iminoctadina alcançaram resultados satisfatórios no controle da podridão parda. Os mesmos autores observaram um controle de 96% da doença após 40 dias de armazenamento refrigerado mais 6 dias a 20 °C, com duas aplicações de iminoctadina seguidas de duas aplicações de tebuconazol em pré-colheita. Para Moreira e May De Mio (2009), iminoctadina controlou em 96% da incidência do fungo *M. fructicola* após exposição dos frutos durante seis dias a 5 °C mais cinco dias a 25 °C.

Além do manejo da doença no campo, o controle durante a fase da pós-colheita é primordial para evitar danos na cultura, entretanto, mostra-se bastante limitado no Brasil, em que, ao contrário dos Estados Unidos da América (EUA) e Chile, não existe ingrediente ativo registrado para o controle químico da podridão parda em pós-colheita. Tanto nos EUA quanto no Chile há registro do fludioxinil, nome comercial Scholar, que é recomendado para o controle pós-colheita da podridão parda, por imersão dos frutos, enquanto que no Brasil apenas há



registro para o Botran para controle da podridão mole (*Rhizopus stolonifer*) (AGROFIT, 2015; CAES, 2015). Em alternativa ao controle químico pós-colheita ou como forma complementar para o controle da podridão parda, estuda-se a utilização de produtos naturais. A vantagem da adoção desse método é proporcionar maior segurança ao homem, tanto durante a aplicação, quanto no momento do consumo dos frutos, além dos sistemas de produção dos biopesticidas serem menos poluentes do que os agrotóxicos (MONDINO et al., 2003). Nesse aspecto, as pesquisas estão voltadas a alternativas sustentáveis e que viabilizem a manutenção da qualidade do fruto em pós-colheita. Assim, busca-se aliar ao controle químico em pré-colheita, métodos físicos em pós-colheita, como a refrigeração e a utilização de produtos alternativos como, por exemplo, a aplicação de fontes de silício. Resultados satisfatórios em relação à atuação de produtos naturais, como o silício, no controle de fitopatógenos, vêm sendo constatados, por meio de pulverizações do pó de rocha ou silício nas folhas (WALDEMAR FILHO et al., 2007). Silício é um importante elemento inorgânico e desempenha efeitos positivos na proteção contra estresses de natureza abiótica (DATNOFF et al. 2001; ZUCCARINI, 2008) e biótica (DATNOFF et al., 2007; DALLAGNOL et al., 2015; POLANCO et al, 2012) principalmente na resistência a doenças fúngicas (BÉLANGER et al., 2003; RODRIGUES et al., 2003).

### 2.3 MECANISMOS DE DEFESA DAS PLANTAS

Toda a planta possui um sistema de defesa que atua de maneira dinâmica e coordenada no momento e local apropriados e com magnitude adequada (PASCHOLATI; LEITE, 1995). Esse evento inicia-se com o reconhecimento, pelo hospedeiro, de sinais exógenos provenientes do patógeno, continua com os mecanismos de transdução desses sinais e resulta em extensa alteração no metabolismo celular vegetal, envolvendo mudanças na expressão gênica (WALTERS et al., 2007). De maneira geral, os mecanismos de defesa da planta podem ser estruturais ou bioquímicos, pré ou pós-formados (PASCHOLATI; LEITE, 1995). Os mecanismos estruturais são barreiras físicas à penetração e/ou colonização pelo patógeno e os mecanismos bioquímicos são substâncias capazes de inibir o desenvolvimento do patógeno e/ou gerar condições adversas para a sobrevivência nos tecidos do hospedeiro (SCHWAN-ESTRADA et al., 2008). Esses mecanismos podem ser considerados como pré-formados, quando as substâncias ou estruturas estão presentes na planta antes do contato com o patógeno ou podem se converter em substâncias altamente tóxicas com o início da infecção, e mecanismos pós-formados, quando as substâncias são ativadas em resposta à presença do patógeno ou produzidas a partir de um precursor remoto (GARCION et al., 2007). Como

mecanismos estruturais têm-se a cutícula, tricomas, estômatos, fibras/vasos condutores (pré-formados), papilas, halos, lignificação, glicoproteínas ricas nos aminoácidos hidroxiprolina e glicina, camadas de cortiça, camadas de abscisão, tiloses (pós-formados) e mecanismos bioquímicos os fenóis, alcalóides glicosídicos, lactonas insaturadas, glicosídeos fenólicos e cianogênicos, inibidores proteicos, quitinases e  $\beta$ -1,3 glucanases, fitoalexinas, proteínas relacionadas à patogênese e espécies ativas de oxigênio (AGRIOS, 2005; PASCHOLATI; LEITE, 1995).

A maioria das respostas bioquímicas está inativa até que sejam ativadas pelo tratamento com alguns compostos químicos, conhecidos como indutores de resistência (fatores abióticos), ou pelo início de uma tentativa de infecção por fitopatógenos (fatores bióticos). A utilização desses indutores no controle de doenças das plantas constitui-se de uma importante estratégia para a produção de produtos agrícolas menos contaminados com resíduos químicos, uma vez que, a ação destes indutores pode ocorrer diretamente sobre um determinado patógeno ou indiretamente pela alteração no metabolismo vegetal com a ativação de rotas de produção de compostos de defesa (CAVALCANTI, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009).

No estudo das defesas das plantas, trabalha-se com dois conceitos envolvendo os mecanismos pelos quais as plantas resistem ao ataque do patógeno, sendo a Resistência Sistêmica Adquirida (SAR- *Systemic Acquired Resistance*) e a Resistência Sistêmica Induzida (ISR - *Induced Systemic Resistance*). Esses fenômenos são distintos, mas fenotipicamente semelhantes em que plantas, após exposição a um agente indutor, têm seus mecanismos de defesa ativados não apenas no sítio de indução como também em outros locais, de forma mais ou menos generalizada (STICHER, et al. 1997).

De acordo com Métraux (2001), a SAR envolve o acúmulo de PRPs (Proteínas Relacionadas com Patogênese) como mecanismos induzidos de defesa das plantas, e sua indução é dependente do salicilato, podendo resultar em alterações visuais na planta que sofreu indução. Geralmente é ativada por patógenos ou ativadores químicos e torna a planta resistente por várias semanas e a infecções posteriores. No caso de ISR, não há acúmulo de PRPs, a planta que sofreu indução não exhibe alterações, o agente indutor é usualmente um microrganismo não-patogênico e sua indução não é dependente do salicilato e sim à jasmonatos e etileno (MÉTRAUX, 2001). O ácido jasmônico (AJ) e seus derivados jasmonatos são reguladores vegetais endógenos produzidos por várias espécies vegetais, que atuam no mecanismo de defesa das plantas e agem como sinalizador de estresse, participando de múltiplos processos anatômico-fisiológicos, como alongamento de raízes, aberturas de estômatos, senescência, entre outros (KODA, 1992). Os mecanismos de resistência relacionados à ISR podem ser estruturais ou

bioquímicos, como por exemplo, o aumento da lignificação da parede celular, dificultando a entrada e a colonização do patógeno pela liberação de enzimas hidrolíticas.

Uma série de eventos pode ser associada a respostas de defesas das plantas. Uma explosão oxidativa no local da injúria (LAMB; DIXON, 1997), juntamente com uma resposta de hipersensibilidade caracterizada pela morte celular programada resultando em necrose no local da infecção, é regularmente associada à ISR (GREENBERG, 1997; KOMBRINK; SCHMELZER, 2001). Produção de fitoalexinas mediante a infecção (HAMMERSCHMIDT; NICHOLSON, 1999), bem como a produção de quitinases são importantes compostos com capacidade antimicrobiana (ISELI et al., 1996; JACKSON; TAYLOR, 1996; SAHAI; MANOCHA, 1993). Estes compostos e os seus análogos induzem respostas semelhantes quando são aplicados exogenamente, com a síntese de compostos antifúngicos como quitinases, glucanases, enzimas oxidativas e fitoalexinas (CHOUDHARY et al. 2007).

## 2.4 SILÍCIO NA AGRICULTURA

O silício (Si), depois do oxigênio, é o segundo elemento mais abundante do solo, constituindo aproximadamente 28% da crosta terrestre (EPSTEIN, 1991; WEDEPOHL, 1995; SOMMER et al. 2006). Os solos contêm mais de 50% de  $\text{SiO}_2$  predominantemente na forma de silicatos (alumínio, cálcio, ferro, etc), quartzo e sílica em gel (ácido silícico polimerizada) (MA; TAKAHASHI, 2002). Na solução do solo encontra-se presente como ácido monossilícico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ , além disso, o  $\text{SiO}_2$  presente na fase sólida do solo está em equilíbrio com solúvel o ácido silícico na solução do solo, o a qual é prontamente disponível às plantas (MA; TAKAHASHI, 2002; MARSCHNER, 2012; SOMMER et al. 2006).

As plantas absorvem Si como ácido monossilícico, o transporte é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta (TISDALE et al., 1993). O elemento é imóvel na planta e é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes (YOSHIDA et al., 1962), sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar (TANAKA; PARK 1966). A acumulação do Si nos tecidos vegetais varia entre 0,1 e 10% da matéria seca (CURRIE; PERRY, 2007; HODSON et al. 2005; MA; TAKAHASHI, 2002). Essa ampla variação na concentração de Si nos tecidos é atribuída, principalmente, a características de absorção e transporte de Si pelas plantas (EPSTEIN, 1994; MA; YAMAJI, 2006). Segundo Ma et al. (2001), são classificadas como plantas acumuladoras de Si aquelas cujos teores de  $\text{SiO}_2$  são superiores a 1% na matéria seca, como por exemplo, as gramíneas arroz e trigo, plantas intermediárias com teores entre 0,5 e 1% de  $\text{SiO}_2$ , como soja e

curcubitáceas, e plantas não acumuladoras que apresentam concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5%.

#### **2.4.1 Dinâmica do silício: solo-planta**

Cultivos intensivos e o monocultivo podem reduzir rapidamente o teor deste elemento no solo (KORNDÖRFER, 2006). Devido ao processo de dessilificação, o Si no solo é continuamente perdido como resultado do processo de lixiviação. Solos tropicais e subtropicais possuem, geralmente, baixos teores de Si disponível para as plantas e se beneficiariam da adubação com este elemento (KORNDÖRFER; LEPSCH, 2001; PEREIRA et al., 2003; SOMMER et al. 2006). A compactação do solo também pode reduzir a quantidade de Si disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico (MATYCHENKOV et al., 1995).

A adição de Si solúvel em solos torna-se muito importante em função da intemperização, lixiviação e dessilificação (FRIESEN et al., 1994). Segundo Lima Filho et al. (1999), as principais formas de incremento do Si na solução do solo seriam: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do Si dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação. As fontes de Si normalmente utilizadas em aplicações foliares são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes (BÉLANGER et al., 1995). Além dos produtos especialmente desenvolvidos para aplicações foliares, os termofosfatos e diferentes escórias industriais são aplicadas ao solo e adicionam significativas quantidades de silício, juntamente com outros nutrientes (LIMA FILHO et al., 1999).

Na solução do solo como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), o Si está prontamente disponível para absorção pelas plantas (JONES; HANDRECK, 1967; SOMMER et al. 2006) e após a absorção e transporte, ocorre o processo de silicificação, polimerização de ácido silícico em sílica gel ( $SiO_2 \cdot H_2O$ ), segundo o qual, o Si juntamente com a lignina contribui para o enrijecimento das paredes das células das folhas e vasos do xilema (MA et al., 2001).

Em arroz, Assim, a absorção de Si ocorre de forma ativa por proteínas de membrana específicas para este fim, as aquagliceroporinas (MEHARG; JARDINE, 2003), ou seja, o processo de absorção de Si pode ocorrer inclusive contra um gradiente de concentração (MA e TAKAHASHI, 2002). As raízes das plantas assimilam o Si através, envolvendo dois genes, *Isi1* (MA et al, 2006) e *Isi2* (MA et al., 2007). Em comparação com plantas acumuladoras e não

acumuladoras de Si, importantes atributos são verificados nessa diferenciação (Ma et al., 2007b). Plantas acumuladoras tem o mesmo Km para a absorção do que as não acumuladoras, enquanto que a V max é maior, juntamente com maior expressão dos genes *lsi1* e *lsi2* (Ma et al., 2007b; MEHARG; MEHARG, 2015; Wu et al., 2006). Na sequência, o transporte do Si é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta, sendo depositado nos tecidos vasculares, nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes (MA; TAKAHASHI, 2002). Além disso, devido ao acúmulo nas lâminas foliares confere um reforço na espessura das folhas devido a formação de uma dupla camada de silício – cutícula (NING et al., 2014; KIDO et al., 2015).

A concentração de Si na seiva do xilema é muito maior em arroz do que em pepino e tomate. Segundo Ma e Takahashi (2002), em arroz, o transporte no xilema é mediado por transportadores, enquanto que em tomate e pepino ocorre por difusão. Nesse caso, o menor acúmulo de Si em pepino e tomate pode ser explicado por uma menor densidade de transportadores para o fluxo da solução externa para a região cortical, e um defeito ou uma ausência do transportador nas células corticais para o xilema (MITANI; MA, 2005). A maioria das espécies, absorve o elemento por difusão passiva, de modo que o Si chega ao xilema e alcança a parte aérea acompanhando o fluxo de transpiração (MA; YAMAJI, 2006), ao contrário das espécies das famílias *Poaceae*, *Equisetaceae* e *Cyperaceae*, que apresentam alta acumulação de Si (> 4% de Si em peso seco), e a absorção é de forma ativa (CURRIE; PERRY, 2007).

A acumulação de Si é mais intensa nas regiões onde a água é perdida por evaporação ou transpiração, portanto a concentração de Si depende da taxa transpiratória, ou seja, na epiderme foliar, junto às células-guarda dos estômatos e outra célula epidérmica (DAYANANDAM et al., 1983; KIDO et al., 2015; MA; YAMAJI, 2006, 2008; MA; YAMAJI, 2006, 2008;). Na planta, o Si concentra-se nos tecidos de suporte, do caule e nas folhas, podendo ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Em geral, o conteúdo médio de Si das raízes é menor se comparado com o caule e folhas (OLIVEIRA; CASTRO, 2002). Em gramíneas, como milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), a sílica é depositada na forma de corpos silicosos, principalmente nas células epidérmicas, silicosas e buliformes, e nos estômatos e tricomas foliares (CURRIE; PERRY, 2007).

### 2.4.2 Benefício do silício as plantas

Pesquisas reportando o benefício das aplicações de Si estão em evidencia, com destaque para inúmeras espécies vegetais, e o seu efeito têm sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de estresses bióticos e abióticos em plantas como, resistência a patógenos e insetos, estresse hídrico, salinidade, toxidez por metal pesado, estresse por temperatura e desequilíbrio nutricional (GUNTZER et al, 2012; GONZALO et al, 2013; LIU et al, 2013; MA, YAMAJI, 2008; MATEOS-NARANJO et al, 2013; SHI et al. 2014; VAN BOCKHAVEN et al., 2013). Segundo RAFI et al., 1997, a falta de Si pode resultar em diminuição da capacidade biológica da planta em resistir às condições adversas do meio ambiente. O Si presente na parede externa das hastes e o conteúdo do elemento nos tecidos tem correlação com a resistência à flexão e, portanto, maior resistência ao acamamento (LIANG et al., 2013). Além disso, os benefícios do Si também foram demonstrados por Goto et al. (2003), onde a fertilização com o elemento leva à tolerância aos raios UV devido à proteção pela deposição na epiderme foliar.

### 2.4.3. Silício no controle de doenças

O Si é eficaz na redução da intensidade de doenças em várias culturas economicamente importantes, como por exemplo, a cevada (*Hordeum vulgare*), milho (*Zea mays*), pepino (*Cucumis sativus*), arroz (*Oryza sativa*), azevém (*Lolium spp.*), Sorgo (*Sorghum bicolor*) e soja (*Glycine max*) (DATNOFF et al., 2007). No trigo, a aplicação de Si pode aumentar a resistência ao oídio (BÉLANGER et al, 2003; REMUS-BOREL et al., 2005; GUEVEL et al., 2007) e a mancha marrom (DOMICIANO et al., 2010). A aplicação de Si reduziu a incidência de *Ralstonia solanacearum* (murcha bacteriana) (DANNON; WYDRA, 2004) e mancha bacteriana (*Xanthomonas spp.*) (ANJOS et al. 2014) em plantas de tomateiro. No feijoeiro, o Si reduziu a área abaixo da curva do progresso da incidência e severidade da antracnose (MORAES et al., 2006, POLANCO et al. 2012). Em bananeiras, o silício reduziu a incidência de *Mycosphaerella fijiensis* (KABLAN et al., 2012) e *Fusarium oxysporum* (FORTUNATO et al., 2012). Na cultura do meloeiro, o uso do silício tem sido favorável para o controle do oídio (*Podosphaera xanthii*) (DALLAGNOL et al. 2012, 2015) e mancha aguosa do meloeiro (Ferreira, 2009). Em frutíferas, aplicações pós-colheita de Si têm sido eficientes para o controle da *Monilinia fructicola* em cereja (QIN; TIAN, 2005), e pêssego (BIGGS et al. 1997, YANG et al. 2010, NASCIMENTO et al. 2014) enquanto que aplicações foliares foram eficientes na

redução da severidade do míldio (*Plasmopara viticola*) (GOMES et al. 2010) e oídio (*Uncinula necator*) (BOWEN et al. 1992) na videira.

A eficácia do Si no controle de doenças em plantas pode ser atribuída à ativação do estado de ‘*priming*’ da planta a qual ativará com maior rapidez e intensidade os mecanismos de defesa das plantas, com o aumento da concentração de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, bem como à maior atividade de enzimas de defesa e antioxidantes (GUERRA et al., 2013; HAYASAKA et al., 2008; DALLAGNOL et al. 2015; RAHMAN et al., 2015; SILVA et al., 2015). Ademais, não se pode descartar a importância da sílica amorfa abaixo da cutícula e na parede celular como mecanismo de defesa que impede ou atrasa a penetração do patógeno (NING et al., 2014; RODRIGUES, et al. 2015).

O acúmulo de Si abaixo da cutícula e nas paredes celulares confere resistência mecânica dos tecidos contra patógenos, em que a camada de sílica dificulta a penetração e o desenvolvimento de hifas de fungos e torna a parede celular mais resistente à degradação enzimática. Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e ou silicificação (COSTA; MORAES, 2006, KIDO et al., 2015; MARSCHNER, 2012; TAKAHASHI, 1995). Observações ultraestruturais sugerem que a silicificação das paredes celulares reduz a troca de material entre patógeno e hospedeiro, reduzindo a senescência prematura, além de agir como barreira física, caso o fungo alcance a parede celular (HEATH; STUMPF, 1986). Dessa forma, o Si teria papel semelhante à lignina, depositando-se nas paredes primárias e ligando-se aos polissacarídeos para bloquear o avanço do patógeno (FOSKET, 1994; CAI et al., 2008). Na epiderme foliar, o Si combina com a celulose e pode estar presente nas células guarda dos estômatos e nos tricomas, também pode ser encontrado nos elementos vasculares (KIDO et al, 2015; SILVA et al., 2005; ZHANG et al., 2013). Em plantas de morangueiro tratadas com silicatos, as epidermes abaxial e adaxial, o parênquima esponjoso e o mesofilo apresentaram maior espessura, o parênquima paliçádico apresentou três camadas de células paliçádicas e menor preenchimento do mesofilo com parênquima esponjoso, em relação aos demais tratamentos (BRAGA et al., 2009).

No arroz, a deposição de Si ocorre na parede de células epidérmicas ou localizações extracelulares, tais como tecidos vasculares e de armazenagem, espaços intercelulares e camadas cuticulares (MEHARG; MEHARG, 2015; SANGSTER et al., 2001). Kim et al. (2002), estudando os eventos citológicos envolvidos na resistência do arroz à brusone mediada pelo Si, concluíram que a fortificação da parede celular das células da epiderme do arroz foi a responsável pela redução do número de lesões nas folhas. Mudanças estruturais nas folhas de

arroz, aumentando a sua espessura em decorrência da aplicação de silício, são responsáveis pelo aumento na resistência da cultura ao fungo *Bipolaris oryzae* (NING et al., 2014). Hayasaka et al., (2008) observaram que a deposição de Si na epiderme da folha do arroz reduz a penetração apressorial e, além disso, reduz a severidade da doença, diminuindo o número de lesões por folha, sugerindo que o Si também confere resistência fisiológica contra a infecção. A hipótese da barreira física não ser o único mecanismo para o controle dos patógenos tem sido bastante estudada. Rodrigues et al. (2003) investigaram em nível ultraestrutural e citoquímico os eventos da patogênese de *P. grisea* em arroz com aplicação de Si, constatando que o aumento na resistência do arroz à brusone foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos.

Em culturas como a cevada e pepino, o Si tem sido relatado por estimular mecanismos bioquímicos de defesa com o aumento do nível de compostos fenólicos e peróxidos, fenilalanina-amonoliase e polifenoloxidase (FAWE et al., 1998; RAHMAN et al., 2015). O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e a mobilidade destes no apoplasto, com rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção (MENZIES et al., 1991).

A descoberta de que uma nova classe de fitoalexina induzida em pepineiro suplementado com Si após infecção por *Podosphaera xanthii* (FAWE et al., 1998) leva a crer que esse elemento potencializa uma cascata de eventos bioquímicos relacionados com a defesa do pepineiro a patógenos foliares e também no sistema radicular. Em outro estudo, Chérif et al. (1994) observaram aumento na atividade das enzimas quitinases, peroxidases e polifenoloxidases nas raízes de plantas de pepino supridas com Si e inoculadas com *Pythium ultimum*, ao contrário do que foi observado em plantas não supridas com Si. Em feijoeiro, o aumento na concentração de lignina assim como a maior atividade de fenilalanina-amônia liase e lipoxigenase foram importantes para a resistência de plantas supridas com Si em resposta à infecção por *C. lindemuthianum* (POLANCO et al., 2012). Guerra et al. 2013 verificaram aumento na resistência à ramulose em plantas de algodoeiro suplementadas com Si com incremento nas concentrações de polifenóis e lignina e aumento na atividade da peroxidase, polifenoloxidase e  $\beta$ -1,3-glucanases.

Para o oídio nas culturas do morango, pepino, trigo e melão as respostas de defesa da planta mediante a aplicação do Si estão relacionadas ao efeito ‘*priming*’, em que ocorre uma potencialização e aceleração na expressão das enzimas ligadas a defesa das plantas e no aumento das concentrações de compostos fenólicos e fitoalexinas (KANTO; MIYOSHI; OGAWA, 2006; LIANG et al. 2005; DALLAGNOL et al., 2015). Em arroz, a ativação precoce de defesas da planta por Si contra a infecção por *Bipolaris oryzae* foi relatada por Dallagnol et



al. (2011) envolvendo a maior atividade de quitinases e peroxidases, uma maior concentração de compostos fenólicos e lignina e menor peroxidação lipídica. O mesmo efeito também foi observado por Dallagnol et al. (2015) após a aplicação de Si no controle da infecção por *Podosphaera xanthii* em melão. Nesse caso, houve o efeito *priming* para a produção de compostos fenólicos, para as enzimas peroxidases,  $\beta$ 1,3(4)- glucanases e quitinases.

Segundo Resende et al. (2009), o efeito e o comportamento do Si nos tecidos vegetais estão relacionados à forma de aplicação do produto, em que suprimentos via sistema radicular são responsáveis pelo acúmulo no interior da folha, enquanto via foliar ocorre deposição externa na superfície da folha. Com aplicação foliar, a ação do produto está relacionada a alterações físicas e químicas, em decorrência da evaporação da água e do aumento do pH e do potencial osmótico na superfície das folhas (AGAPOV; REUVENI, 1995; LIANG et al. 2005). Segundo Lemes et al. (2011), aplicação foliar de Si pode revestir fisicamente a superfície das folhas após a secagem, e com isso, interferir na germinação dos esporos, reduzindo o desenvolvimento da ferrugem da soja. Já com a aplicação via sistema radicular ocorre tanto a formação de uma barreira física quanto bioquímica, devido à polimerização do Si abaixo da cutícula e ao efeito *priming* com maior velocidade na síntese de compostos fenólicos e fitoalexinas nos sítios de infecção (BÁLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003; DALLAGNOL et al., 2012; 2015; HAYASAKA; FUJJI; ISHIGURO, 2008).



### 3 ARTIGO 1

#### 3.1 PEACH BROWN ROT CONTROL AND THE RELATIONSHIP OF LATENT INFECTION WITH POSTHARVEST DISEASE<sup>1</sup>

**ABSTRACT** - The peach brown rot, caused by *Monilinia fructicola*, is the main disease of the culture, causing significant losses during preharvest and postharvest. This study aimed to evaluate the performance of preharvest fungicide application on brown rot control and verify the role of latent infection and external contamination in postharvest disease. An experiment was carried out to evaluate the performance of six active ingredients (captan, iprodione, iminoctadine, tebuconazole, difenoconazole and azoxystrobin) during preharvest brown rot control and the effect on latent infection. A second experiment was carried out to monitor the latent infection during growth and ripening of the fruit and in order to correlate it with the postharvest disease incidence. The active ingredients iprodione, tebuconazole and difenoconazole were found to be the most efficient in controlling brown rot on the field, while iminoctadine has excellent performance during postharvest control, acting on latent infections. The incidence of latent infections during fruit growth and ripening has a positive correlation with brown rot incidence at postharvest. The highest disease incidence after storage is due to the latent infections manifestation. Effective chemical control in the field, throughout the growing and ripening of fruits, is an important approach to postharvest brown rot control, even after cold storage and during shelf life at 20°C.

**Index terms:** *Monilinia fructicola*, fungicides, cold storage.

---

<sup>1</sup> Artigo submetido à Revista Ciência e Agrotecnologia.

## **Controle da podridão parda do pessegueiro e a relação da infecção latente na doença em pós-colheita**

**RESUMO** - A podridão parda do pessegueiro, causada pelo fungo *Monilinia fructicola*, é a principal doença da cultura, causando danos significativos tanto em pré-colheita como pós-colheita. O estudo objetivou avaliar a aplicação pré-colheita de fungicidas, no controle da podridão parda e verificar o papel da infecção latente e contaminação externa na incidência da doença em pós-colheita. Foi conduzido um experimento para avaliar o desempenho de seis ingredientes ativos em pré-colheita (captana, iprodiona, iminocadina, tebuconazol, difenoconazol e azoxistrobina) no controle da podridão parda e o efeito sobre infecções latentes. Um segundo experimento objetivou monitorar a infecção latente durante o crescimento e maturação dos frutos, correlacionando-a com a incidência da doença em pós-colheita. Os produtos iprodione, tebuconazol e difenoconazol foram os mais eficientes no controle da podridão parda a campo, enquanto o iminocadine possui excelente desempenho em pós-colheita, agindo inclusive sobre as infecções latentes. Incidência de infecções latentes tanto na fase de crescimento quanto maturação tem correlação positiva com a podridão parda em pós-colheita. A maior incidência da doença após o armazenamento foi em decorrência da manifestação de infecções latentes. O eficiente controle químico no campo, durante toda a fase de crescimento e maturação dos frutos é uma importante estratégia para o controle pós-colheita, inclusive após o armazenamento refrigerado e durante a vida de prateleira.

**Termos para indexação:** *Monilinia fructicola*, fungicidas, armazenamento refrigerado.

### 3.1.1 INTRODUCTION

The peach brown rot, caused by fungus *Monilinia fructicola*, is the main disease of the culture, causing significant losses in pre and postharvest. These losses resulted from infection of flowers and fruit, during harvest and postharvest (Larena et al. 2005; Villarino et al. 2012). The fruit susceptibility to *M. fructicola* increase at the final stages of fruit development, during the maturation phase, and in the postharvest (Luo and Michailides, 2003; Villarino et al. 2011). Postharvest losses in peaches normally occur during transport and storage and may reach 80% (Sestari et al. 2008); even when performing the recommended prophylaxis measurements.

In order to control the disease during postharvest is essential to reduce the inoculum in the field, preventing manifestation of the disease during fruit storage and marketing. Thereby, the chemical control with fungicide is the most efficient method, spraying the plants from flowering until the preharvest stages of fruit development (Holb and Schnabel, 2007; May-De Mio et al. 2008; Moreira and May-De Mio, 2009; Casals et al., 2012). Preharvest fungicide application is indispensable, especially for areas with high inoculum pressure, or in cases of damage caused by insects or hail during fructification (Luo et al. 2001). Fungicides, such as iminoctadine, iprodione (Moreira and May De Mio, 2009; Pavanello et al. 2015), trifloxystrobin/tebuconazole and difenoconazole (Pavanello et al. 2015), reducer the brown rot incidence more than 85% after cold storage. Burnett et al. (2010) observed that azoxystrobin and trifloxystrobin are able to reduce the sporulating areas by 60%, presenting a high curative ability to fight infections caused by the fungus *Monilinia fructicola*.

Immature fruits usually show no visual symptoms of infection with *M. fructicola*, but can harbor asymptomatic infections (latent). Latent infections may become active when the fruits ripen, exacerbating the disease incidence in harvest and postharvest (Emery et al. 2000). These infections are more important in temperate and humid regions, where they can easily develop into rot, occurring throughout the growth period of the fruits and being positively correlated

with the incidence of the disease at harvest and postharvest (Northover and Cerkauskas, 1994; Emery et al. 2000, Xu et al. 2007). Understanding the importance of latent infection of brown rot epidemiology could facilitate early detection of the risk of rot before harvest, influencing the decisions for the management of the disease. Furthermore, the efficient use of fungicides during the preharvest rot control is important to reduce peach loss, especially in postharvest, when the fruits are subject to injuries and more sensitive to latent infection. Thus, the aim of this study was to evaluate the performance of fungicides applied during preharvest on brown rot control of peach and to identify the role of latent infection and external contamination in the incidence of postharvest brown rot.

### **3.1.2 MATERIAL AND METHODS**

The study was carried over the course of two years, in a commercial orchard of peach in the city of Santiago, Rio Grande do Sul, Brazil, located at an altitude of 409 m, latitude 29°11'30 "south and longitude 54°52'02" West. The cultivar used was Eldorado with ten year old plants that were spaced 1.5 x 5m in a Y-shaped conduction system.

#### **3.1.2.1 Pre and postharvest control of brown rot**

In the first year, the experimental design was a randomized block with four replications, seven treatments and experimental units of six plants. The treatments were the following products (active ingredients): [1] control (4 water applications); [2] captan (4 applications); [3] iprodione (4 applications); [4] iminoctadine (2 applications); [5] tebuconazole (3 applications); [6] difenoconazole (3 applications); [7] azoxystrobin (3 applications). The preharvest

applications began 24 days before harvest, following the recommended doses for each active ingredient and adapting them to a spray volume of 1000 L ha<sup>-1</sup>, as the box 1.

Characteristics of fungicides and dates of applications								
Treatments	Mode of action	Safe range (Days)	Doses	24	14	7	3	1
				DBH*	DBH	DBH	DBH	DBH
				30/11	08/12	15/12	18/12	21/12
Control	-	-	-					
Captan	Contact	1	240 g 100L <sup>-1</sup>					
Iprodione	Contact	3	150 mL 100L <sup>-1</sup>					
Iminoctadine	Contact	14	150 mL 100L <sup>-1</sup>					
Tebuconazole	Systemic	7	100 mL 100L <sup>-1</sup>					
Azoxistrobina	Systemic	7	16 g 100L <sup>-1</sup>					
Difenoconazol	Systemic	10	30 ml 100L <sup>-1</sup>					
Harvest: 22 of December								
Dates of rainfall								
Date	1/12	4 - 5/12	7/12	11-12-13/12	16/12	19-20-21/12	Total	
Volume (mm)	7.2	22.8	26.6	97.8	8.0	113.2	275.6	

**Box 1:** Characteristics of fungicides and date of application of fungicides and dates and volumes of rainfall in December in the city of Santiago, RS. 2012. \*DBH: Days after harvest.

Previous cultural practices for the implementation of the experiment consisted of fertilization, pest control, pruning and thinning fruits according to the technical recommendations for culture. The controlling of the disease began with the removal of mummified fruits during the dormancy period; thereafter chemical treatments were carried out from the flowering stage. The products used were mancozeb (200 g 100 L<sup>-1</sup>) in full bloom and tebuconazole (100 mL 100 L<sup>-1</sup>) in the fall of the petals. An application of mancozeb (200 g 100 L<sup>-1</sup>) + difenoconazole (30 mL 100 L<sup>-1</sup>) was conducted during thinning. After this period, preharvest applications were carried out as the experimental treatments.

In order to evaluate the incidence of the disease in the field, the incidence of brown rot was recorded weekly, taking into account the number of fruits with lesions in relation the total

of fruits evaluated. The count was held every week until harvest and the results were expressed as a percentage of brown rot. After harvest, fruits without apparent infection were transported to the laboratory for evaluation of the postharvest incidence. A batch of fruits from each treatment was stored at  $-0.5 \pm 0.2$  °C, under a relative humidity (RH) of  $96 \pm 1\%$ , for 40 days, whereas another batch was stored at 20 °C in order to assess the incidence of brown rot. In order to evaluate the protective efficiency of the treatment, another batch of fruits was submitted to injuries in the epidermis and then inoculated with fungus *Monilinia fructicola*. The isolate, the same experimental area, was cultivated on potato dextrose agar (PDA) and later formed a suspension of  $10^5$  mL<sup>-1</sup> spores with the aid of a Neubauer chamber. Each fruit was drilled in the equatorial region, with the aid of a tip of 3 mm diameter and 5 mm in depth, where 30 µL spore suspension was inoculated. In fruits uninjured, inoculation was performed in a marked point in the equatorial region. After drying the inoculated aliquot, the fruits were stored and evaluated as aforementioned for the fruits without inoculation.

During harvest and postharvest, disease incidence was evaluated at two and four days of shelf life ( $20 \pm 0.5$  °C). Four replicates of 20 fruits from each treatment were analyzed for all evaluations. The chamber temperature was controlled by electronic thermostats and monitored daily by a thermometer with mercury bulb, with accuracy of 0.2 °C, inserted into the flesh of a fruit and RH monitored by a psychrometer. When necessary, the atmosphere was humidified in order to maintain >96 % humidity.

### **3.1.2.2 Evaluation of latent infection**

During the second year, we evaluated the incidence of latent infections during growth and ripening of fruits and correlated this data with the disease occurrence in postharvest. Samplings were held at the fall of the sepals, during thinning of fruit, 30 days after thinning (DAT), 15 days before harvest (DBH) and during harvest, in two cultivars and from plants that were and



weren't submitted to fungicide application. The cultivars used were 'Maciel' and 'Eldorado', dual purpose. The Maciel is characterized by the present yellow flesh, firm, non-fondant with sweet-sour flavor and soluble solids content between 11 and 16 ° Brix, with flowering in late July to early August and harvest in the second to third week from December. Cultivar Eldorado delayed, with flowering in late August and harvest in the last days of December. It also has yellow flesh, firm and adherent to the core, with sweet-sour flavor, with 15 to 17 ° Brix and acidity quite pronounced. The phytosanitary treatment for disease management was with mancozeb, captan, procymidone, iminoctadine, tebuconazole and iprodione, the former two were applied at flowering and the others were used in alternation, with an application during thinning and four during preharvest. At each sampling date, 80 fruits were randomly selected from eight trees, which were randomly distributed in the orchard, put in paper bags and sent to the laboratory.

### **3.1.2.3 Determination of latent infection in green fruit**

The fruits were surface sterilized for one minute in a 70% ethanol solution, followed by one minute in 0.5% sodium hypochlorite and then washed three times in sterile water. Unripe fruits were immersed in a paraquat solution (6 mL L<sup>-1</sup>) for 1 minute in order to induce senescence in the tissues and activate latent infections (Northover and Cerkauskas, 1994). After the treatment, all fruits were placed in a humid chamber inside of plastic receptacles containing moistened filter paper, the temperature was held at 20 °C. The incidence of the disease was evaluated every 48 hours during six days. During this period, the fruits internally infected by the pathogen expressed abundant sporulation, which was clearly distinguishable from other fungal infections.

### 3.1.2.4 Determination of latent infection in mature fruit

In order to detect latent infection in mature fruits (harvest), 80 fruits from each treatment and cultivar were sterilized according to the previous procedure, with the exception of the paraquat application. Whilst another batch of 80 fruits were only sprayed with sterile water and placed in a humid chamber at a temperature of 20 °C and evaluated for six days. This procedure was performed in fruits after harvest. Following a batch of fruits was evaluated and another stored for 35 days under refrigeration at -0.5°C and relative humidity (RH) of  $96 \pm 1\%$ , to verify the role of latent infection in disease incidence at postharvest.

The parameters evaluated were: a) total brown rot incidence in fruits with no sterilization; b) latent infection: incidence of rot in fruits that had been submitted to superficial sterilization; c) external contamination: determined by the difference between incidence of total decay and latent infections; d) brown rot incidence in field: monitoring the incidence of brown rot until the time of harvest, in all 8 plants used for each treatment (4 replicates of 2 plants). All results were expressed as percentage of fruit with rot.

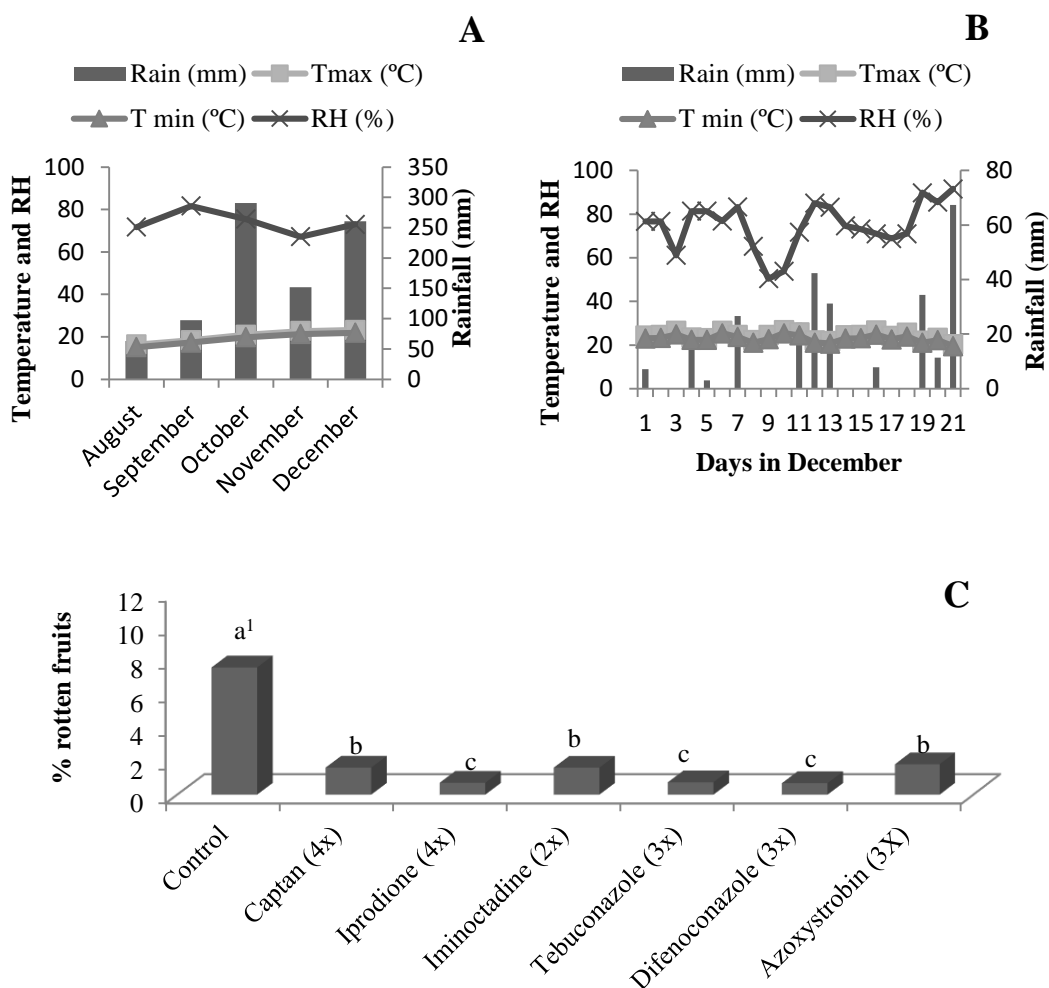
### 3.1.2.5 Statistical analysis

The data, prior to analysis of variance (ANOVA), were submitted to the errors normality test (Lilliefors) and the parameters that were not normal were transformed by  $\text{arc. sen} \sqrt{x/100}$ . Means were compared by the Scott-Knott test and Tukey at a 5% level of probability, with software Sisvar (UFLA, version 5.3).

### 3.1.3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1.3.1 Performance of fungicides in controlling preharvest brown rot

The active ingredients difenoconazole, tebuconazole and iprodione showed greater efficiency in the brown rot control in the field in comparison to other products tested, with 90.9%, 90.2% and 90.6% of control, respectively, compared to control (Figure 1C). Although rainfall levels were high during the period of application (Figure 1A and B), and the fact that these products are widely used by fruit growers, their efficiency was still assured, being important alternatives for brown rot management of peach culture. High rainfall and relative humidity in the months of development and maturation of fruits (October to December), as observed in the year of the study (Figure 1A), predisposes to increased infections and in this case the intensification of applications is required, and the use of fungicides efficient. This result confirms those obtained by Pavanello et al. (2015) with satisfactory preharvest control of brown rot with difenoconazole, tebuconazole, procymidone, azoxystrobin and trifloxystrobin / tebuconazole. Holb and Schnabel (2007) found that the triazoles have a high protective activity reinforcing the control of brown rot. This can be observed in Table 1, where the presence of fungi from latent infection is low with tebuconazole. Nevertheless, although the iminoctadine fungicide did not present the best preharvest control, a low incidence of latent infections was observed at harvest, resulting in high control of postharvest brown rot (Table 1).



**Figure 1:** Rainfall, relative humidity (RH) and temperature recorded at the weather station in Santiago, RS, 2012 (A and B). Incidence of brown rot at harvest, after treatments preharvest with fungicides in peaches cv. Eldorado (C). <sup>1</sup>Means followed by equal letters do not differ by Scott Knott test, at 5% probability.

### 3.1.3.2 Performance of fungicides to control of postharvest brown rot

In postharvest, during exposition of the fruits at 20 °C, the incidence of brown rot showed significant interaction between fungicides and the time of evaluation, at harvest and after storage (Table 1). At harvest, plus two days of shelf at 20 °C, iprodione, iminoctadine, tebuconazole and difenoconazole showed no incidence of the disease, while after cold storage iminoctadine was the one who controlled at 100% brown rot. When comparing the evaluation period, only iminoctadine did not increase the incidence of brown rot after cold storage. After

four days of exposure to 20 °C, the iminoctadine fungicide, followed by tebuconazole had the lowest incidence of the disease, both at harvest and after cold storage, with control of 98.1% and 97% at harvest, 96.2% and 73.9% after storage, respectively. The preharvest iminoctadine application has been found effective in control of postharvest brown rot in the states of Rio Grande do Sul and Paraná (Moreira and May-De Mio, 2009), even during long periods of fruit storage (Pavanello et al. 2015).

**Table 1:** Effect of fungicides on the incidence of latent infection by *M. fructicola* in mature fruits, for six days at 20 °C and postharvest brown rot incidence after harvest and 40 days of cold storage (CS) to -0.5°C, four days at 20 °C. Santa Maria, 2012.

Preharvest treatments	Rot caused by latent infection (%)			
	2 days		6 days	
Control	20.8a		87.5a	
Captan (4x)	3.75c		42.0d	
Iprodione (3x)	8.75b		75.0b	
Iminoctadine (2x)	0.00d		5.00f	
Tebuconazole (3x)	3.52c		26.9e	
Difenoconazole (2x)	7.82b		60.2c	
Azoxystrobin (3x)	6.25b		54.3c	
<b>CV (%)</b>	<b>15.2</b>		<b>9.04</b>	

Preharvest treatments	-----Postharvest brown rot incidence (%)-----			
	2 days at 20°C		4 days at 20°C	
	After harvest	After CS	After harvest	After CS
Control	20.0 aB <sup>(1)</sup>	51.2 aA	68.7aB	86.2 aA
Captan (4x <sup>(2)</sup> )	7.38 bB	11.2 cA	21.0 bB	42.5 cA
Iprodione (4x)	0.00 dB	11.2 cA	14.7 bB	46.2 bA
Iminoctadine (2x)	0.00 dA	0.00 dA	3.75 eA	3.25 eA
Tebuconazole (3x)	0.00 dB	12.5 cA	6.25 dB	22.5 dA
Difenoconazole (3x)	0.00 dB	10.1 cA	12.5 cB	38.6 cA
Azoxystrobin (3x)	3.75cB	16.2 bA	21.2 bB	51.2 bA
Mean	4.44	16.0	21.1	41.5
<b>CV (%)</b>	<b>13.9</b>		<b>10.5</b>	

<sup>1</sup> Means followed by equal letters, lowercase in the columns and uppercase in the lines, do not differ by Scott Knott test, at 5% probability. <sup>2</sup> Number of preharvest applications.

The effect of fungicides applied during preharvest on fruit that had suffered injuries after harvest can be seen in Table 2. The injuries were found to cause an increase of disease incidence, except for the treatment with Iprodione with 71.3% control the disease for up to two

days at 20 °C. At four days at 20 ° C, the lowest incidence was found with the application of iminoctadine fungicide in injured fruit (52.9% of control), while iminoctadine and tebuconazole controlled 94.7% and 89.6% respectively in the fruit without injury. After cold storage, besides the iprodione fungicide, captan also delayed the incidence of decay up to two days at 20 °C, however after four days the incidence in injured fruit was higher for all treatments. During this period, in fruit without injuries, iminoctadine fungicide showed the same behavior at the time of harvest, with 94.5% disease control (Table 2).

**Table 2:** Fungicidal effect of products applied in the field of ‘Eldorado’ peaches in control of brown rot in injured fruit at harvest. Santa Maria, RS, 2012.

Preharvest treatments	Brown rot incidence (%)			
	-----After harvest-----			
	2 days at 20°C		4 days at 20°C	
	With injury	No injury	With injury	No injury
Control	26.2 aA <sup>(1)</sup>	26.7aA	87.5 aA	71.2 aB
Captan (4x <sup>(2)</sup> )	18.0 bA	1.25 cB	89.6 aA	20.0 cB
Iprodione(3x)	7.50 dA	6.25 bA	65.0 cA	36.5 bB
Iminoctadine (2x)	15.0 cA	1.25 cB	41.2 eA	3.75 dB
Tebuconazole (3x)	12.5 cA	1.25 cB	52.5 dA	7.38 dB
Difenoconazole (2x)	13.0 cA	2.50 cB	62.4 cA	23.8 cB
Azoxystrobin (3x)	8.98 dA	3.81 bB	77.9 bA	25.4 cB
Mean	14.5	6.14	68.3	26.9
CV (%)	34.6		9.28	
Preharvest treatments	-----After 40 days cold storage-----			
	2 days at 20°C		4 days at 20°C	
	With injury	No injury	With injury	No injury
Control	36.2 aA	35.9 aA	100.0 aA	91.0 aB
Captan (4x)	5.00 cB	10.0 bA	97.4 aA	33.7 bB
Iprodione (3x)	2.50 cB	7.50 bA	77.5 cA	47.5 bB
Iminoctadine (2x)	0.00 dA	0.00 cA	33.7 dA	5.00 dB
Tebuconazole (3x)	7.50 bA	0.00 cB	70.0 cA	21.6 cB
Difenoconazole (2x)	10.3 bA	3.75 bB	79.7 cA	35.0 bB
Azoxystrobin (3x)	5.00 bA	4.88 bA	91.2 bA	38.3 bB
Mean	6.30	8.87	78.5	38.8
CV (%)	35.5		9.41	

<sup>1</sup> Means followed by equal letters, lowercase in the columns and uppercase in the lines, do not differ by Scott Knott test, at 5% probability. <sup>2</sup> Number of preharvest applications.

At harvest, the prevention of mechanical damage and immediate cold storage constitute the most effective decay prevention measures. Martins et al. (2005) showed correlation between

the frequency of fruit mechanical damage and decay incidence. Thus, the use of fungicides that can delay decay incidence by injury in the epidermis is an important strategy for reducing the inoculum in postharvest, reducing losses.

### **3.1.3.3 Relationship of latent infection with postharvest brown rot**

The incidence of latent infection in fruit the cultivar Eldorado was diagnosed in all samples, while in fruit of cultivar Maciel latent infection appeared from the thinning until harvest, as shown in Table 3. Regarding the magnitude of symptoms, we observed that the closer the harvest, the greater the manifestation of latent infection. Several authors reported that closeness of fruit ripening favors the expression of latent infections, which can also occur during postharvest or senescence (Luo et al. 2001; Mari et al. 2003; Luo and Michailides, 2003; Villarino et al. 2012). In this study, the infection was probably facilitated by environmental conditions favorable to disease, such as high temperature ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ) and high relative humidity, observed mainly in the months from October to December, that is the dates of collection after thinning, 15 days before harvest and harvest of this study (Figure 2). In addition, the high concentration of inoculum in the area due to the early ripening cultivars ('Granada', 'Eldorado' and 'Maciel') in the experimental area, can also explain the high incidence of latent infections in the 'Eldorado', which maturation occurred in mid-December. The potential inoculum, humidity and temperature are critical factors in disease prediction (Luo and Michailides 2001, Bannon et al. 2009, Gell et al. 2008). In order for latent infections to develop, wetness needs to be maintained for longer than 22 hours when temperature is  $8^{\circ}\text{C}$  or for 5 hours when temperature is  $25^{\circ}\text{C}$  (Gell et al. 2008).

**Table 3:** Monitoring of latent infections *Monilinia fructicola* in five sampling dates, brown rot in the field and in postharvest and the role of latent infection and external contamination in postharvest rot incidence. Santiago, RS, 2014.

Treatments		Latent infections(%)					Brown rot incidence (%)		
		Sepals falling	Thinning	30 DAT <sup>(4)</sup>	15 DBH <sup>(5)</sup>	Harvest	Rot Field <sup>(6)</sup>	7 days 20°C	CS + 7 days 20°C
Maciel	- fung. <sup>(2)</sup>	0.00	4.00	8.00	27.5	42.0	14.4	84.4	88.9
	+ fung. <sup>(3)</sup>	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.07	2.22	31.1
Eldorado	- fung.	4.00	5.00	2.50	10.0	46.6	15.7	82.2	100.0
	+ fung.	2.00	2.50	0.00	0.00	11.1	4.06	20.0	55.6

-----Role of latent infection and external contamination postharvest rot -----

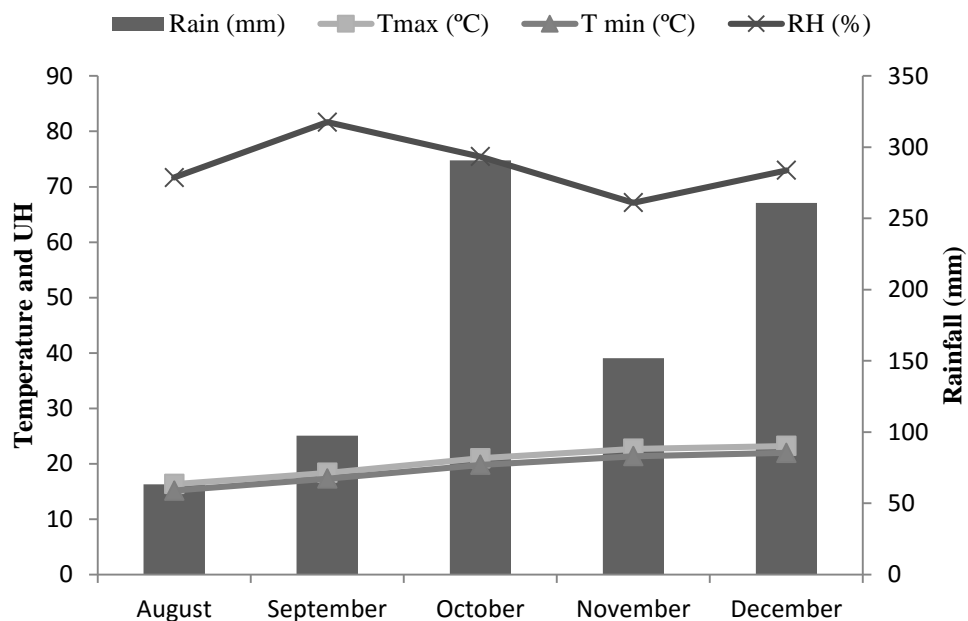
		Causes brown rot at harvest				Causes of brown rot after 40 days of storage			
		Total rot	Latent infection	External contamination	Mean	Total rot	Latent infection	External contamination	Mean
Maciel	- fung.	84.4 a <sup>(1)</sup>	42.0	42.2	42.1a	88.9 a	53.3	35.6	44.4 a
	+ fung.	2.22 b	0.00	2.22	1.11b	31.1 b	28.8	2.30	15.5 b
	Mean		21.0 A	22.2 A			41.1 A	22.2 B	
	CV (%)	<b>17.9</b>		<b>14.9</b>		<b>10.1</b>		<b>4.21</b>	
Eldorado	- fung.	82.2 a	46.6	35.6	41.1 a	100.0	57.7	42.3	50.0 a
	+ fung.	20.0 b	11.1	8.90	10.0 b	55.5	40.0	15.5	27.7 b
	Mean		28.8A	22.2 A			48.8 A	28.9B	
	CV (%)	<b>17.7</b>		<b>26.3</b>		<b>16.6</b>		<b>7.91</b>	

<sup>1</sup> Means followed by equal letters do not differ by Scott Knott test, at 5% probability. <sup>2</sup> - fung.: Fruit not treated with fungicides. <sup>3</sup>+fung.: fruit treated with fungicide. <sup>4</sup>DAT: Days after thinning. <sup>5</sup>DBH: Days before harvest. <sup>6</sup>Cumulative rot values field to harvest.

The low incidence of latent infections in fruit treated with fungicides is probably due to the efficiency of products used in disease control, acting as preventives and curatives, reducing the onset of symptoms, including postharvest period (Table 3). The use of appropriate protective fungicides can protect the fruit, reduce sporulation and inoculum survival supplies (Ogawa et al. 1995). The incidence of latent infections were virtually not found in the cultivar Maciel, which was treated with fungicides, while in cv. Eldorado the manifestation occurred



at the beginning of fruit growth and at harvest, which coincides with the period of greatest rainfall and relative humidity (September, October and December) and that probably reduce the efficiency of applied products (Figure 2). Factors that predispose the incidence of latent infections such as temperature, humidity and high concentration of inoculum, associated with favorable growth stages of the disease, may have influenced the control strategies. Susceptibility to brown rot infection is dependent on the developmental stage of the fruit (Gell et al. 2008). The immature fruit during the pit hardening stage are more resistant to infection by *Monilinia* spp. than mature fruit (Lee and Bostock, 2007; Xu et al. 2007; Gell et al. 2008).



**Figure 2:** Rainfall, relative humidity (RH) and temperature, recorded at the weather station in Santiago, RS, 2014.

At harvest, both latent infection and the infection from surface spores were found to have the same weight on the epidemic of the disease, regardless of the use of fungicides, and this significantly reduced the incidence of rot, regardless of the cultivar (Table 3). After cold storage, the results also showed no interaction between the causes of brown rot (external contamination and latent infection) with the use of fungicides, where there is greater incidence of brown rot from the latent infection and without the application of fungicides. A reduction of chemical and mechanical resistance to the development of the pathogen is noticed with the advance of maturation and especially after cold storage. With maturation, physiological and biochemical responses in the host can trigger changes and activate the pathogen, which would leave its phase of low metabolic rate (quiescent) and would stimulate pathogenicity factors, resulting in an active parasite development (Prusky, 1996; Fischer et al. 2010). The greater sensitivity of fruit maturation can also be related to pH and content of soluble solids, since total soluble solids include reducing sugars and other molecules readily consumed by fungi (Walker and White, 2005). The fungus *Monilinia fructicola* is known for having the ability to infect green fruit and manifesting itself mainly after storage, this fact reinforces the importance of appropriate chemical treatment in the field, aiming to protect the flowers and fruit, both in the initial stage of development as during harvest.

Monitoring latent infection allows us to correlate the postharvest disease occurrence with different collection periods during fruit development. We observed that the closer the harvest, the greater the correlation between the incidence of latent infection to the manifestation of the disease in postharvest, both right after harvest as well as after cold storage (Table 4). According to Emery et al. (2000), although the detection of latent infections during the fruit's ripening period is important for the understanding of likely brown rot epidemics, it does not provide information in sufficient time to control the disease during preharvest. However, in this study, there was a significant correlation between the incidence of latent infection in immature

fruit and the incidence of postharvest rot, confirming results obtained for Luo and Michailides (2001) and Xu et al. (2007). This reinforces the importance of management strategies throughout the growth phase of fruit for disease control in the postharvest, especially after cold storage. Latent infection plays an important role in postharvest disease incidence, which may correspond to more than 50% of brown rot (Table 3).

**Table 4:** Pearson correlation between the incidence of latent infection *Monilinia fructicola* on different dates and the incidence disease at harvest and postharvest.

Correlation <i>Pearson</i>	Sepals Falling	Thinning	30 DAT <sup>(2)</sup>	15 DBH <sup>(3)</sup>	Harvest	Postharvest	After 35 days CS <sup>(4)</sup>
Sepals Falling	1						
Thinning	<i>ns</i> <sup>(1)</sup>	1					
30 DAT	<i>ns</i>	<i>ns</i>	1				
15 DBH	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0.96	1			
Harvest	<i>ns</i>	0.51	0.66	0.74	1		
Postharvest	<i>ns</i>	0.48	0.68	0.78	0.94	1	
After 35 days CS	0.48	<i>ns</i>	0.52	0.61	0.91	0.95	1

<sup>1</sup>No significant correlation ( $p > 0.05$ ). <sup>2</sup>DAT: Days after thinning. <sup>3</sup>DBH: Days before harvest. <sup>4</sup>CS: cold storage.

### 3.1.4 CONCLUSIONS

1- Applications in the field of iprodione, tebuconazole and difenoconazole are efficient in the preharvest brown rot control, while the iminoctadine has excellent performance in the disease control in postharvest, as well as acting on latent infections.

2 - Wounds on the skin of the fruit increase the incidence of the fungus *Monilinia fructicola*, however preharvest iprodione application delays the disease.

3 - The incidence of latent infections of the fruit has a positive correlation with postharvest brown rot, reinforcing the need for proper control of the disease during the preharvest in order to extend the postharvest life of fruit.

4 - After cold storage, the highest incidence of brown rot is due to the manifestation of latent infections.

### 3.1.5 ACKNOWLEDGEMENTS

To Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), for financial support.

### 3.1.6 REFERENCES

BANNON, F. et al. Diurnal patterns in dispersal of *Monilinia fructigena* conidia in an apple orchard in relation to weather factors. **Agricultural and Forest Meteorology**. 149(3):518–525, 2009.

BURNETT, A.L.; LALANCETTE, N.; MCFARLAND, K.A. Effect of QoI fungicides on colonization and sporulation of *Monilinia fructicola* on peach fruit and blossom blight cankers. **Plant Diseases**. 94(8): 1000-1008, 2010.

CASALS, C. et al. The combination of curing with either chitosan or *Bacillus subtilis* CPA-8 to control brown rot infections caused by *Monilinia fructicola*. **Postharvest Biology Technology**. 64(1): 126-132, 2012.

EMERY, K. M., MICHAILIDES, T. J., SCHERM, H. Incidence of latent infection of immature peach fruit by *Monilinia fructicola* and relationship to brown rot in Georgia. **Plant Disease**. 84(8): 853-857, 2000.

FISCHER, I. H. et al. Doenças e características físico-químicas pós-colheita em pêssego ‘Régis’ produzido em Presidente Prudente-SP. **Semina: Ciências Agrárias**. 31(3): 627-632, 2010.

GELL, I. et al. Relationship between the incidence of latent infections caused by *Monilinia* spp. and the incidence of brown rot of peach fruit: factors affecting latent infection. **European Journal of Plant Pathology**. 121(3): 487–498, 2008.

HOLB, I.J.; SCHNABEL, G. Differential effect of triazoles on mycelial growth and disease measurements of *Monilinia fructicola* isolates with reduced sensitivity to DMI fungicides. **Crop Protection**. 26(5): 753 –759, 2007.

LARENA, I. de et al. Biological control of postharvest brown rot (*Monilinia* spp.) of peaches by field applications of *Epicoccum nigrum*. **Biological Control**. 32(2):305–310, 2005.

LEE, M.-H., BOSTOCK, R.M. Fruit exocarp phenols in relation to quiescence and development of *Monilinia fructicola* infections in *Prunus* spp.: a role for cellular redox? **Phytopathology**. 97(3): 269–277, 2007.

LUO, Y.; MA, Z.; MICHAILIDES, T.J. Analysis of factors affecting latent infection and sporulation of *Monilinia fructicola* on prune fruit. **Plant Disease**. 85(9): 999-1003, 2001.

LUO, Y.; MICHAILIDES, T.J. Factors affecting latent infection of prune fruit by *Monilinia fructicola*. **Phytopathology**. 91(9): 864-872, 2001.

LUO, Y.; MICHAILIDES, T.J. Threshold conditions that lead latent infection to prune fruit rot caused by *Monilinia fructicola*. **Phytopathology**. 93(1): 102-111, 2003.

MARI, M. et al. Susceptibility of apricot and peach fruit to *Monilinia laxa* during phenological stages. **Postharvest Biology and Technology**. 30(1): 105-109, 2003.

MARTINS, M.C.; LOURENÇO, S.A.; GUTIERREZ, A.S.D.; JACOMINO, A.P.; AMORIM, L. Quantificação de danos pós-colheita em pêssegos no mercado atacadista de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**. 30(1): 587-592, 2005.

MAY-DE MIO, L.L. et al. Infecção de *Monilinia fructicola* no período de floração e incidência de podridão parda em frutos de pessegueiro em dois sistemas de produção. **Tropical Plant Pathology**. 33(3): 227-234, 2008.

MOREIRA, L.M.; MAY-DE MIO, L. M. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**. 33(2): 405-411, 2009.

NORTHOVER, J.; CERKAUSKAS, R.F. Detection and significance of symptom less latent infections of *Monilinia fructicola* in plums. **Journal Plant Pathology**. 16(1): 30-36, 1994.

OGAWA, J.M.; ZEHR, E.I.; BIGGS, A.R. Brown rot. In: OGAWA, J.M. et al. (Ed.). **Compendium of stone fruits diseases**. Saint Paul: APS, cap. 1, p. 6-10, 1995.

PAVANELLO, E.P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. **Semina: Ciências Agrárias**. 36(1): 67-76, 2015.

PRUSKY, D. Pathogen quiescence in postharvest diseases. **Annual Review of Phytopathology**, 34: 13-34, 1996.

SESTARI, I. et al. Condições de atmosfera controlada para pêssegos “Maciel” colhidos em dois estádios de maturação. **Ciência Rural**. 38(5): 1240-1245, 2008.

VILLARINO, M. et al. Secondary inoculum dynamics of *Monilinia* spp. and relationship to the incidence of postharvest brown rot in peaches and the weather conditions during the growing season. **European Journal of Plant Pathology**. 133(3), 585–598, 2012.

VILLARINO, M. et al. High Chlorogenic and Neochlorogenic Acid Levels in Immature Peach Reduce *Monilinia laxa* Infection by Interfering with Fungal Melanin Biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 59(7): 3205–3213, 2011.

WALKER, G. M.; WHITE, N. A. Introduction to Fungal Physiology. In: KAVANAGH, K. **Fungi: Biology and Applications**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005, 280p.

XU, X.-M.; BERTONE, C.; BERRIE, A. Effects of wounding, fruit age and wetness duration on the development of cherry brown rot in the UK. **Plant Pathology**. 56(1): 114–119, 2007.

## 4 ARTIGO 2

### 4.1 Metassilicato de sódio no manejo pré e pós-colheita da *Monilinia fructicola*<sup>2</sup>

#### Resumo

A podridão parda do pessegueiro é a principal doença da cultura e o seu controle é baseado em frequentes aplicações de fungicidas. O presente estudo visou buscar alternativas para o uso intensivo de produtos químicos, avaliando doses de silício para o controle pré e pós-colheita da podridão parda e sua influência nos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos. Para isso foram avaliados os seguintes tratamentos: [1] testemunha (água); [2] metassilicato de sódio (MS)- 2 g L<sup>-1</sup> de água; [3] MS – 4 g L<sup>-1</sup> de água; [4] MS – 6 g L<sup>-1</sup> de água; [5] MS – 8 g L<sup>-1</sup> de água; [6] MS – 10 g L<sup>-1</sup> de água, aplicados aos 14 e sete dias antes da colheita. As avaliações foram: germinação de esporos e crescimento micelial *in vitro*, incidência de podridão parda, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza de polpa, conteúdo de polifenóis totais, produção de etileno e respiração em frutos. A dose 2 g L<sup>-1</sup> de MS reduziu em 95% a germinação dos esporos. Doses entre 6 g L<sup>-1</sup> e 8 g L<sup>-1</sup> reduziram satisfatoriamente a incidência da doença a campo, com controle de 77% a 89,2% respectivamente. O MS manteve maior firmeza de polpa, reduziu a respiração e a produção de etileno, aumentou a síntese de polifenóis totais, porém não influenciou a AT e SS. Aplicação de 6 g L<sup>-1</sup> de MS tem potencial para o controle pré e pós-colheita da podridão parda do pessegueiro, além de aumentar a síntese de polifenóis totais e manter maior firmeza da polpa.

**Palavras - chave:** Podridão parda; Pêssego; Silício; Qualidade;

---

<sup>2</sup> Artigo submetido à Revista Pesquisa Agropecuária Tropical

## **Sodium metasilicate in pre and postharvest control *Monilinia fructicola***

### **Abstract**

The brown rot is the main disease of peach culture and its control is based on frequent fungicide applications. Thus, the study aimed to find alternatives to the intensive use of chemicals, evaluating silicon doses to control brown rot at pre and postharvest and its influence on maturation parameters and fruit quality. For that were evaluated the following treatments: [1] control (water); [2] sodium metassilicato (SM) - 2 g L<sup>-1</sup>water; [3] SM - 4 g L<sup>-1</sup>water; [4] SM - 6 g L<sup>-1</sup> water; [5] SM - 8 g L<sup>-1</sup> water; [6] SM - 10g L<sup>-1</sup> water, at 14 and 7 days before the harvest. The evaluations were: spore germination and mycelial growth *in vitro*, incidence of brown rot, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), firmness, total polyphenol content, fruit ethylene production and respiration rate. The dose of 2 g L<sup>-1</sup> SM reduced by 95% spore germination. Doses between 6 g L<sup>-1</sup> and 8 g L<sup>-1</sup> satisfactorily reduce disease incidence in the field, with a control of 77% and 89.2% respectively. The SM maintained higher firmness, reduced respiration and ethylene production of fruit, increased the synthesis of total polyphenols, but does not influenced the TA and SS. Application of 6 g L<sup>-1</sup> SM has the potential to control pre and postharvest brown rot, and increase the synthesis of total polyphenols and maintain greater firmness.

**Key-words:** Brown rot; Peach; Silicon; Quality;



#### 4.1.1 INTRODUÇÃO

A podridão parda, causada pelo fungo *Monilinia fructicola*, é a maior causa de perdas pré e pós-colheita na cultura do pessegueiro. Este fungo causa danos em flores e frutos, sendo responsável por danos tanto no pomar quanto durante o armazenamento e comercialização (Larena et al. 2005, Villarino et al. 2012) e o controle químico, até o momento, é o método mais difundido e utilizado pelos fruticultores para reduzir os danos. Trabalhos realizados avaliando a eficácia de alguns ingredientes ativos para controlar a podridão parda mostraram resultados satisfatórios para difenoconazol, iprodiona, tebuconazol, iminoctadina e propiconazol (Moreira & May de Mio 2009, Pavanello et al. 2015), entretanto o controle foi obtido com, no mínimo, três aplicações dos fungicidas em pré-colheita. Esses resultados mostram que o tratamento químico é eficaz para o controle da doença, mas envolve um grande número de aplicações, chegando a quatro em menos de 30 dias antes da colheita. O uso excessivo destes produtos químicos causa preocupação com relação à contaminação ambiental, da saúde do aplicador e dos consumidores de frutas. Nesse sentido, buscam-se alternativas que minimizem a utilização desses produtos sem perder a eficácia, assegurando a produtividade e qualidade para a cadeia produtiva de frutas.

A aplicação de produtos à base de silício (Si) no controle de fitopatógenos, por meio de pulverizações do pó de rocha ou produtos à base de Si nas folhas, tem demonstrado resultados satisfatórios (Waldemar Filho et al. 2007). O Si é um importante elemento inorgânico e desempenha um papel vital no desenvolvimento e na resistência a doenças (Rodrigues et al. 2003, Bélanger et al. 2003). No âmbito da fitopatologia, ele não somente pode aumentar a resistência de plantas, mas também inibir o crescimento de fungos (Qin & Tian 2005). O mecanismo pelo qual o Si afeta o desenvolvimento dos patógenos nas plantas, é resultado da sua ação no tecido do hospedeiro, proporcionando impedimento físico e maior acúmulo de

compostos fenólicos e lignina no local da injúria (Chérif et al. 1994). O elemento forma uma barreira física contra o patógeno pela formação de uma camada de sílica nas células diminuindo a frequência de penetração apressorial (Hayasaka et al. 2008) e o desenvolvimento de hifas, além disso, torna a parede celular mais resistente à degradação enzimática (Marschner 1995). O Si tem demonstrado potencial para o controle de doenças fúngicas em diversos frutos, entre eles, a cereja (Qin & Tian, 2005), o pepino (Chérif et al. 1994), o melão e abobrinha (Menzies et al. 1992) e o pêssego (Biggs et al. 1997, Yang et al. 2010, Nascimento 2014).

Para a cultura do pessegueiro alguns trabalhos, com a utilização de Si, têm sido realizados com o objetivo de controle do fungo *Monilinia fructicola* em pós-colheita (Biggs et al. 1997, Yang et al. 2010, Nascimento 2014), entretanto não existem pesquisas com a sua utilização em pré-colheita. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a dose de Si mais eficaz no controle pré e pós-colheita da podridão parda do pessegueiro, bem como a influência desses tratamentos sobre a maturação e qualidade dos frutos.

#### 4.1.2 MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.1.2.1 Avaliação da germinação de esporos e crescimento micelial de *Monilinia fructicola* *in vitro*

Avaliações da porcentagem de germinação de esporos e crescimento micelial foram utilizados dois isolados de *Monilinia fructicola*, provenientes de frutos de diferentes regiões produtoras do Rio Grande do Sul, Santiago (ISF) e Farroupilha (IPRO). A germinação de esporos (conídios) foi avaliada por meio de suspensões de 50 µl contendo  $10^5$  esporos por ml, espalhadas em placas de Petri contendo meio Agar-Água, mais a concentração de metassilicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)$ ) (0; 2; 4; 6; 8 e 10 g L<sup>-1</sup>), com cinco repetições por tratamento. Após 12h de incubação no escuro, em câmara de crescimento tipo BOD (Demanda Bioquímica de

Oxigênio – 25 °C) foram contados 100 esporos para determinar a porcentagem de esporos germinados. Foram considerados germinados, conídios que apresentavam o tubo germinativo com comprimento maior que o tamanho do conídio.

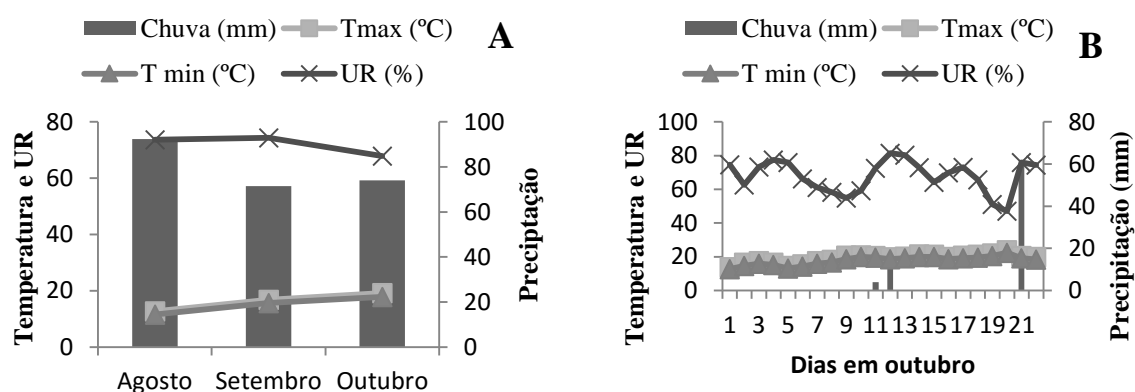
Para a avaliação do crescimento micelial, discos do meio de cultura com micélio do fungo *M. fructicola*, medindo seis mm de diâmetro, retirados de culturas com 168 h de crescimento, foram depositados no centro de placas de Petri com meio BDA (batata-dextrose-ágar), mais a concentração do metassilicato de sódio e incubados em BOD 25°C, fotoperíodo de 12h. Após sete dias o crescimento da colônia foi medido com um paquímetro.

#### 4.1.2.2 Experimento a campo

O trabalho foi conduzido em um pomar comercial de pessegueiro, no município de Santiago, Rio Grande do Sul, altitude de 409 m, latitude 29°11'30" sul e longitude 54°52'02" oeste. A cultivar utilizada foi 'Pepita', precoce e susceptível a podridão parda, de oito anos de idade, espaçamento de 1,5 m entre plantas e 5 m entre linhas e sistema de condução em Y. As práticas culturais anteriores à aplicação dos experimentos constituíram-se de adubação, controle fitossanitário, poda e raleio de frutos. O manejo fitossanitário iniciou com a eliminação dos frutos mumificados no período de repouso e seguiu com tratamentos químicos a partir da floração. Os produtos utilizados foram mancozebe (200 g 100 L<sup>-1</sup>) na plena florada, tebuconazol (100 mL 100 L<sup>-1</sup>) e iprodione (150 mL 100 L<sup>-1</sup>) desde o estágio de queda das pétalas até 21 dias antes da colheita. Após esse período, foram realizadas pulverização de solução de metassilicato de sódio (Na<sub>2</sub>O(SiO<sub>2</sub>)), com pH de 10,5, aos 14 (08/10/2013) e sete (15/10/2013) dias antes da colheita, conforme os seguintes tratamentos:[1] testemunha (aplicação de água); [2] metassilicato de sódio (MS) – 2 g L<sup>-1</sup> de água; [3] MS – 4 g L<sup>-1</sup> de água; [4] MS – 6 g L<sup>-1</sup> de água; [5] MS – 8 g L<sup>-1</sup> de água; [6] MS – 10 g L<sup>-1</sup> de água. Os dados meteorológicos durante o

ciclo da cultura, bem como na época da aplicação dos tratamentos pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Pepita, no ano de 2013.



O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e seis tratamentos. Cada unidade experimental foi composta por quatro plantas das quais duas correspondem à bordadura. As aplicações foram realizadas com atomizador costal (Jacto, bico cônico) de 13 L, seguindo as doses recomendadas para cada ingrediente ativo e adequando-as para um volume de calda de 1000 L ha<sup>-1</sup>.

#### 4.1.2.3 Avaliação da incidência de podridão parda em pré e pós-colheita

Para a avaliação da incidência da doença no campo, foi considerado o número de frutos com lesões em relação ao total de frutos das plantas avaliadas, durante todo o período da colheita, com os resultados expressos em porcentagem de podridão parda. Após a colheita, 25 frutos de cada repetição, foram transportados ao laboratório do Núcleo de Pesquisas em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria, e acondicionados à temperatura de 20 °C durante quatro dias, para avaliar a incidência da doença em pós-colheita, pela contagem dos

frutos que apresentaram lesões com as características da infecção pelo fungo *Monilinia fructicola*. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos sintomáticos.

#### 4.1.2.4 Avaliação dos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos

Os frutos foram avaliados quanto à maturação e qualidade, sendo os seguintes parâmetros analisados: a) *Teor de sólidos solúveis (SS)*: obtido por refratometria a partir do suco extraído de cada amostra de 15 frutos e os resultados expressos em °Brix. b) *Acidez titulável (AT)*: determinada por titulação com NaOH 0,1 N de uma solução contendo 10 mL de suco diluídos em 100 mL de água destilada, até atingir pH 8,1 e expresso em meq 100 mL<sup>-1</sup>. c) *Polifenóis totais*: determinado pelo método colorimétrico (Singleton & Rossi Junior 1965). Em tubo de ensaio, adicionaram-se 200 µL de amostra diluída (1:10) em solução etanol/ácido clorídrico/água, na proporção de 70/1/30 (V/V/V), 1.000 µL de reagente de Folin-Ciocalteu, diluído (1:10) em água destilada e deionizada. Entre 3 e 8 minutos, adicionaram-se 800 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7,5%. Após duas horas ao abrigo da luz, foi lida a absorbância a 765 nm em espectrofotômetro da marca FEMTO, modelo 600S (mono feixe). Para a curva de calibração foi utilizada como padrão uma solução de ácido gálico nas concentrações: 15; 30; 45; 60; 75 e 90 mg L<sup>-1</sup>. A concentração de polifenóis totais foi expressa em mg 100 g<sup>-1</sup>. d) *Firmeza da polpa*: avaliada em dois lados opostos na região equatorial dos frutos, onde previamente foi retirada parte da epiderme. Para a determinação foi utilizado um penetrômetro manual com ponteira de 7,9 mm, sendo os valores expressos em Newton (N). e) *Produção de etileno*: determinada com a utilização de aproximadamente 1200 g de frutos, colocados em recipientes de vidro de 5000 mL, fechados por aproximadamente 1 hora. Para a análise da produção de etileno foram injetadas duas amostras de gás de 1 mL, provenientes de cada recipiente, em um cromatógrafo a gás, marca Varian® modelo Star 3400CX, equipado com um detector de

ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. A temperatura da coluna, injetor e detector foram de 90, 140 e 200 °C, respectivamente. A síntese de etileno foi calculada e expressa em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  em função da concentração de etileno, da massa de frutos, do volume do espaço livre no recipiente e do tempo de fechamento. *f) Respiração dos frutos:* determinada pela quantificação da produção de  $\text{CO}_2$ . O ar do mesmo recipiente utilizado para a determinação do etileno foi circulado através de um analisador eletrônico de  $\text{CO}_2$ , marca Schele. A partir da concentração de  $\text{CO}_2$ , do espaço livre do recipiente, do peso dos frutos e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração em  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

#### 4.1.2.5 *Análise estatística*

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial em nível de 5% de probabilidade de erro pelo software Sisvar (UFLA, versão 5.3).

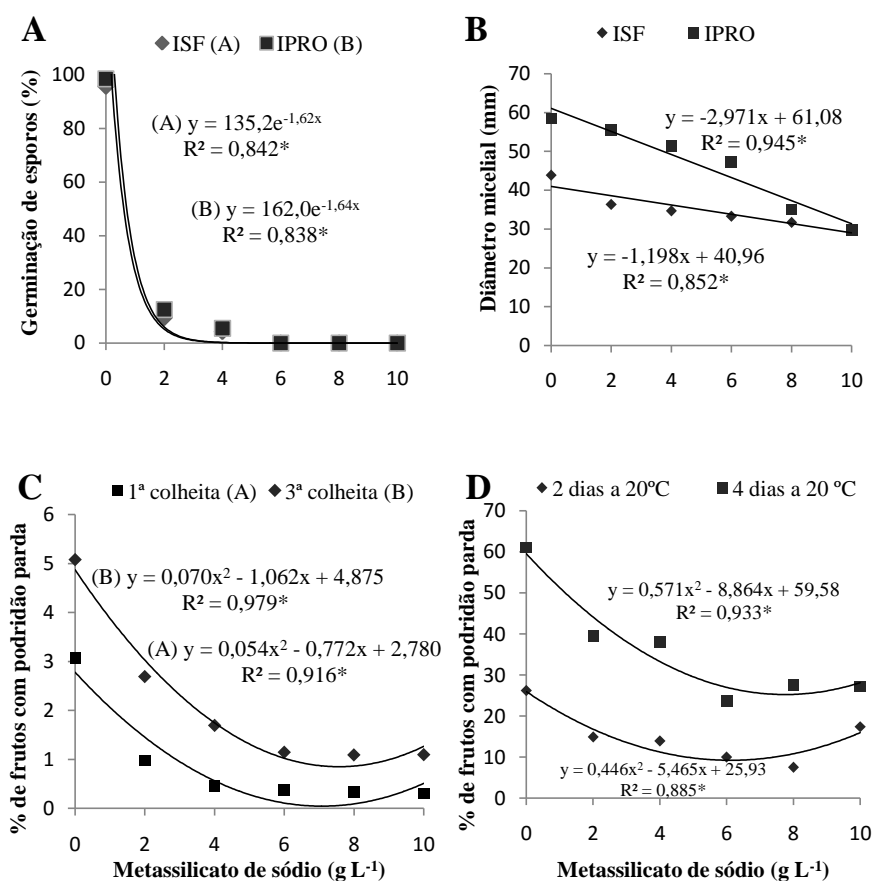
### 4.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1.3.1 *Inibição do crescimento micelial e germinação de esporos de Monilinia fructicola in vitro.*

As doses de metassilicato de sódio resultaram em um comportamento exponencial sobre a germinação dos esporos e linear sobre o crescimento micelial (Figura 2A e 2B). A germinação dos esporos foi reduzida em aproximadamente 95%, em relação à testemunha, com a dose de  $2 \text{ g L}^{-1}$  sendo totalmente inibida a partir de  $6 \text{ g L}^{-1}$  de metassilicato de sódio, independentemente do isolado avaliado. Resultados semelhantes foram obtidos com o silicato de cálcio (Biggs et al. 1997, Yang et al. 2010) e metassilicato de sódio (Quin & Tian 2005, Nascimento 2014),

inibindo significativamente a germinação dos esporos a partir da dose de 2 g L<sup>-1</sup>. Além da *Monilinia fructicola*, produtos à base de silício tem apresentado resultados satisfatórios na redução da germinação dos esporos para *Trichothecium roseum* (Guo et al. 2007, Li et al. 2012), *Fusarium sulphureum* (Li et al. 2009), *Penicillium digitatum* (Liu et al. 2010) e *Penicillium expansum* (Quin & Tian 2005). O efeito do silício pode ser atribuído a sua ação osmótica, devido à natureza alcalina dos produtos aplicados (Liang et al. 2005; Guével et al. 2007; Carré-Missio et al. 2012), conforme o observado pelo pH de 10,5 da solução de metassilicato de sódio utilizada no presente trabalho. Para o crescimento micelial, também foi verificado um comportamento linear, com menor crescimento da colônia na dose de 10 g L<sup>-1</sup> de metassilicato de sódio (Figura 2B), entretanto não se observou inibição completa do crescimento, conforme constatado por Yang et al. (2010), com a dose de 2 g L<sup>-1</sup>. Segundo Kaiser et al. (2005), o silício afeta o crescimento micelial de vários patógenos fúngicos. Desta forma, ao menos na condição *in vitro*, o metassilicato de sódio parece ter um efeito mais importante sobre a germinação de esporos do fungo, ou seja, no estabelecimento da doença, do que no crescimento micelial, quando o patógeno já está presente.

Figura 2 - Efeito das doses de metassilicato de sódio, *in vitro*, na germinação de esporos (A) e diâmetro micelial (B) em dois isolados de *Monilinia fructicola*. Incidência de podridão parda no campo (C) e incidência durante quatro dias de exposição dos frutos à temperatura de 20 °C (D) em pêsegos cv. Pepita, com aplicação pré-colheita de metassilicato de sódio. Santa Maria, 2013. \* Nível de significância a 5% ( $p < 0,05$ ) para o teste F. \*\* ISF e IPRO: nomenclatura de isolados provenientes de duas regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul.



#### 4.1.3.2 Incidência de podridão parda em pré e pós-colheita

A incidência de podridão parda no campo foi menor com a aplicação de metassilicato de sódio, desde o período da primeira colheita até a terceira colheita em que, uma curva polinomial de 2º grau foi a que melhor se ajustou para as doses aplicadas (Figura C). Para a primeira colheita a dose que melhor se ajustou foi de  $7 g L^{-1}$  enquanto que a dose de  $7,5 g L^{-1}$  manteve a menor incidência após a terceira colheita. Doses entre  $6 g L^{-1}$  e  $8 g L^{-1}$  reduziram satisfatoriamente a incidência de podridão parda em campo, com controle de 77% a 89,2%



respectivamente, sem causar efeito fitotóxico às plantas. Algumas plantas submetidas a doses maiores de  $8 \text{ g L}^{-1}$  apresentaram sintomas como manchas senescentes, principalmente nos bordos das folhas. Além disso, em testes preliminares, esse dano apenas foi observado com aplicação de doses superiores a  $10 \text{ g L}^{-1}$ . Dessa forma, devido a essa instabilidade nos resultados, é preferível optar por doses menores, como as de  $6 \text{ g L}^{-1}$  de metassilicato de sódio, que apresentam um bom nível de controle da doença, com menor risco de apresentar efeitos fitotóxicos do produto.

Em pós-colheita os resultados adequaram-se a uma equação polinomial de 2º grau, em que doses de  $6 \text{ g L}^{-1}$  e  $8 \text{ g L}^{-1}$  apresentaram a menor incidência de podridão parda aos dois e quatro dias de exposição dos frutos a  $20 \text{ °C}$ , respectivamente (Figura 2D). Embora todas as doses de metassilicato tenham reduzido a incidência em relação à testemunha, nenhuma dose controlou em mais de 62% da incidência. A utilização pré-colheita do metassilicato de sódio apresentou bons resultados no manejo da doença no campo, enquanto que durante a vida de prateleira dos frutos, o seu efeito foi menor, mas superior a não aplicação do produto.

A utilização do silício em pós-colheita tem demonstrado resultados satisfatórios, como na aplicação do metassilicato de sódio (Quin & Tian 2005, Nascimento 2014) e do silicato de sódio (Biggs et al. 1997, Yang et al. 2010). Entretanto, os resultados do presente trabalho apontam para o potencial do metassilicato de sódio no controle do fungo *Monilinia fructicola*, quando aplicado em pré-colheita, sendo um trabalho pioneiro com aplicação foliar deste elemento na cultura do pessegueiro. A utilização do Si no campo para o controle de doenças tem sido amplamente estudado nos últimos anos, para as mais diversas espécies (Moraes et al. 2006, Buck et al. 2008, Duarte et al. 2008) e o seu efeito relacionado à indução de resistência, com a formação de barreiras físicas, síntese de polifenóis (Chérif et al. 1994, Gomes et al. 2005, Hayasaka et al. 2008) e à capacidade de inibição fúngica (Tian et al. 2005, Yang et al. 2010). O efeito do Si na inibição da ação fúngica pode ser claramente observado na Figura 2A, onde

a germinação dos esporos foi totalmente inibida com a dose de 6 g L<sup>-1</sup>. Dessa forma, os resultados desse trabalho apontam para a possibilidade de se utilizar a pulverização de solução de metassilicato de sódio como tratamento para redução da incidência da podridão parda no pessegueiro.

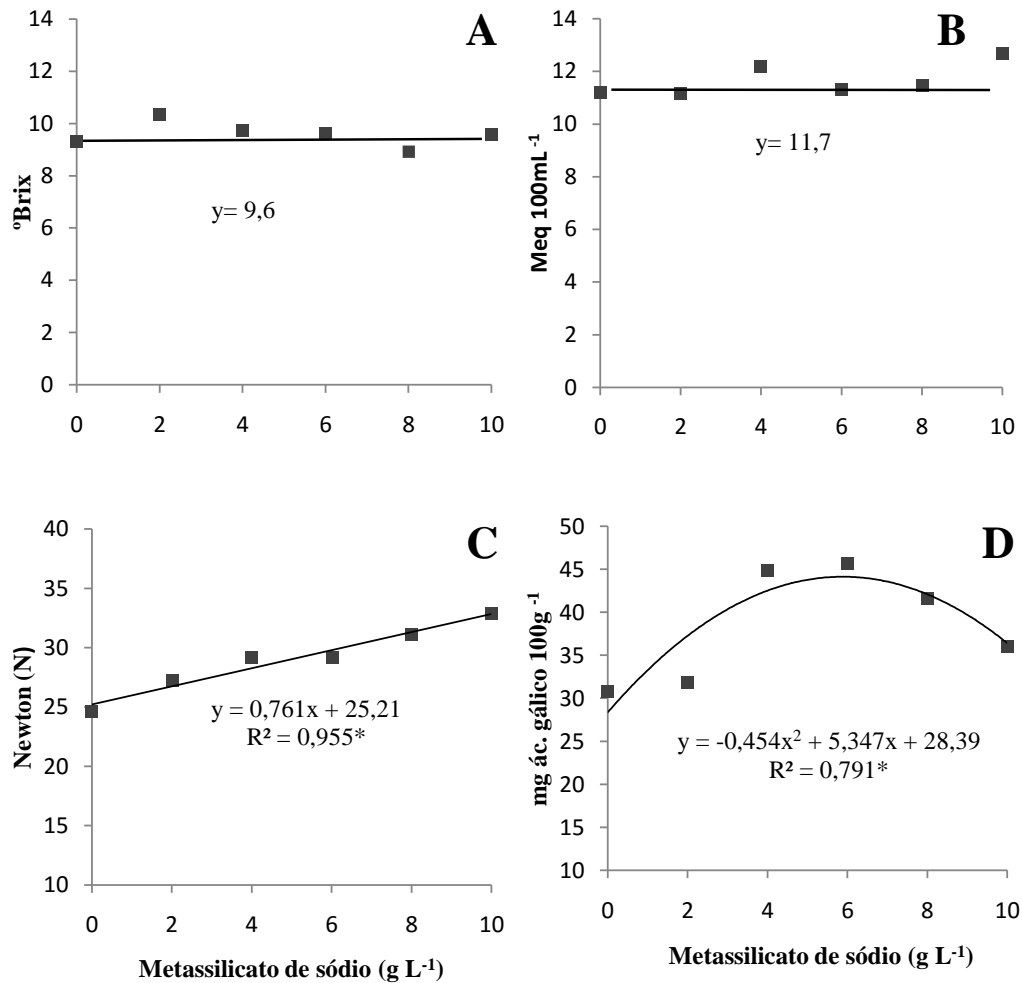
#### 4.1.3.3 Parâmetros de maturação e qualidade dos frutos

Quanto às avaliações de qualidade dos frutos não se observou efeito da aplicação do metassilicato de sódio no teor de sólidos solúveis e acidez titulável (Figura 3A e 3B), enquanto que para firmeza de polpa as doses de metassilicato de sódio apresentaram efeito linear, com doses maiores mantendo a firmeza de polpa mais elevada (Figura 3C). O conteúdo de polifenóis totais também foi significativamente influenciado pelas doses de metassilicato de sódio, ajustando-se a uma curva polinomial de 2º grau, com o ponto de máxima eficácia na dose de 6 g L<sup>-1</sup> (Figura 3D). Esses resultados estão coerentes com as doses mais eficazes para o controle da podridão parda, sendo um indício de que possivelmente o metassilicato de sódio age como indutor de resistência na cultura do pessegueiro, aumentando a firmeza de polpa e o conteúdo de polifenóis totais.

A resistência a podridão parda na cultura do pessegueiro está correlacionada a mecanismos estruturais pré-formados de defesa da planta, como a espessura da cutícula, compactação das células da epiderme e produção de compostos fenólicos (Ghanmi et al. 2004; Lee & Bostock 2007). Michailidis & Johnson (1992) evidenciaram que após os esporos germinarem, a resistência à infecção por *Monilinia fructicola* foi correlacionada com a espessura da cutícula e da parede celular, em que o período quiescente do fungo prolongou-se conforme houve um aumento da espessura da cutícula e parede celular de pêssegos. Além das defesas físicas, em pepino o Si ativa as defesas químicas das plantas promovendo um aumento

do nível de compostos fenólicos (Fawe et al. 1998) e a atividade das quitinases,  $\beta$ -1,3-glucanases (Chérif et al. 1994).

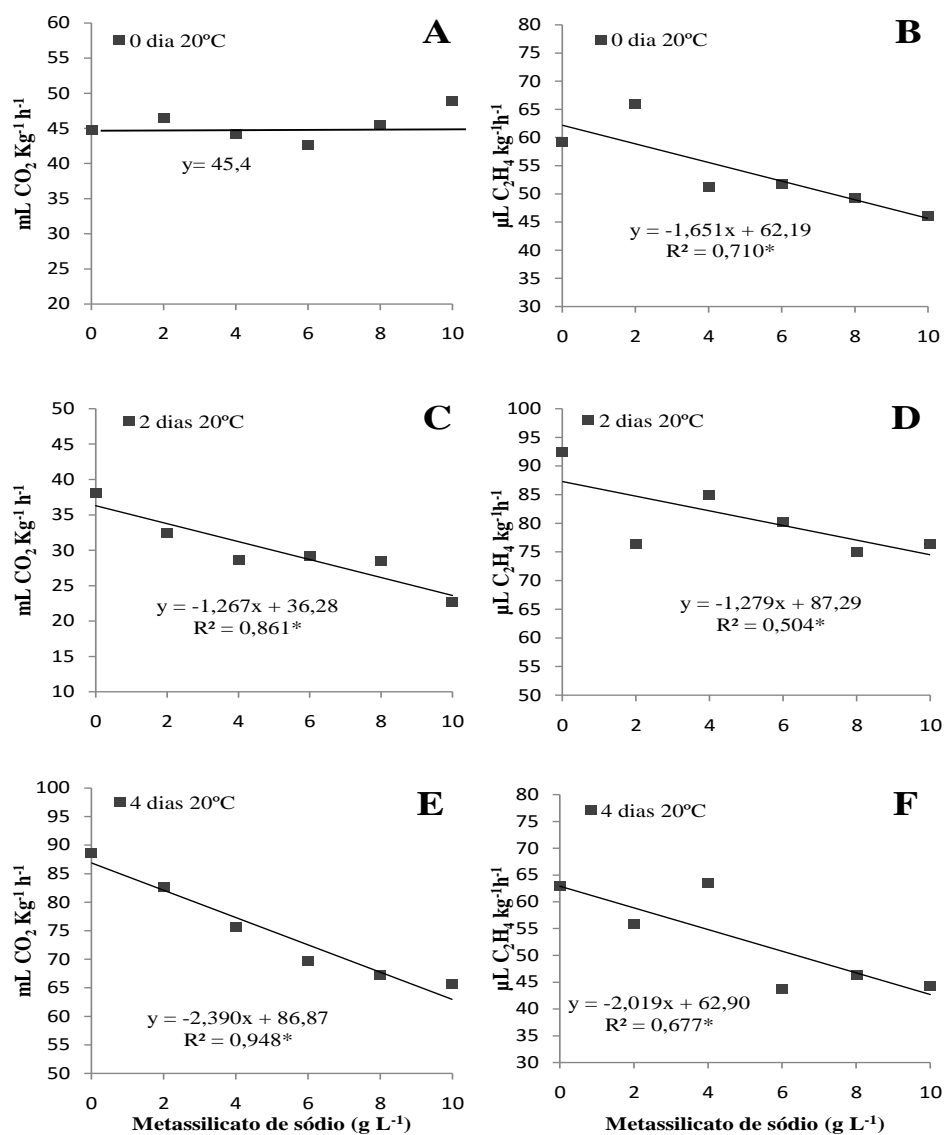
Figura 3 - Sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B), firmeza de polpa (C), polifenóis totais (D), após a colheita em pêsegos tratados com metassilicato de sódio em pré-colheita. Santa Maria, 2013.\* Nível de significância a 5% ( $p < 0,05$ ) para o teste F.



A produção de etileno apresentou um efeito linear, em que o aumento das doses de metassilicato resultou em redução na produção de etileno, em todas as datas das avaliações (Figura 4B, D e F). A taxa respiratória dos frutos não apresentou diferença entre as doses de metassilicato de sódio na colheita, enquanto que aos dois e quatro dias de exposição a 20 °C a respiração foi decrescente com o aumento das doses (Figura 4A, 4C e 4E). Nesse caso,

provavelmente o metassulfato apresentou efeito sobre a redução da maturação dos frutos, o que pode ter resultado na manutenção da firmeza de polpa.

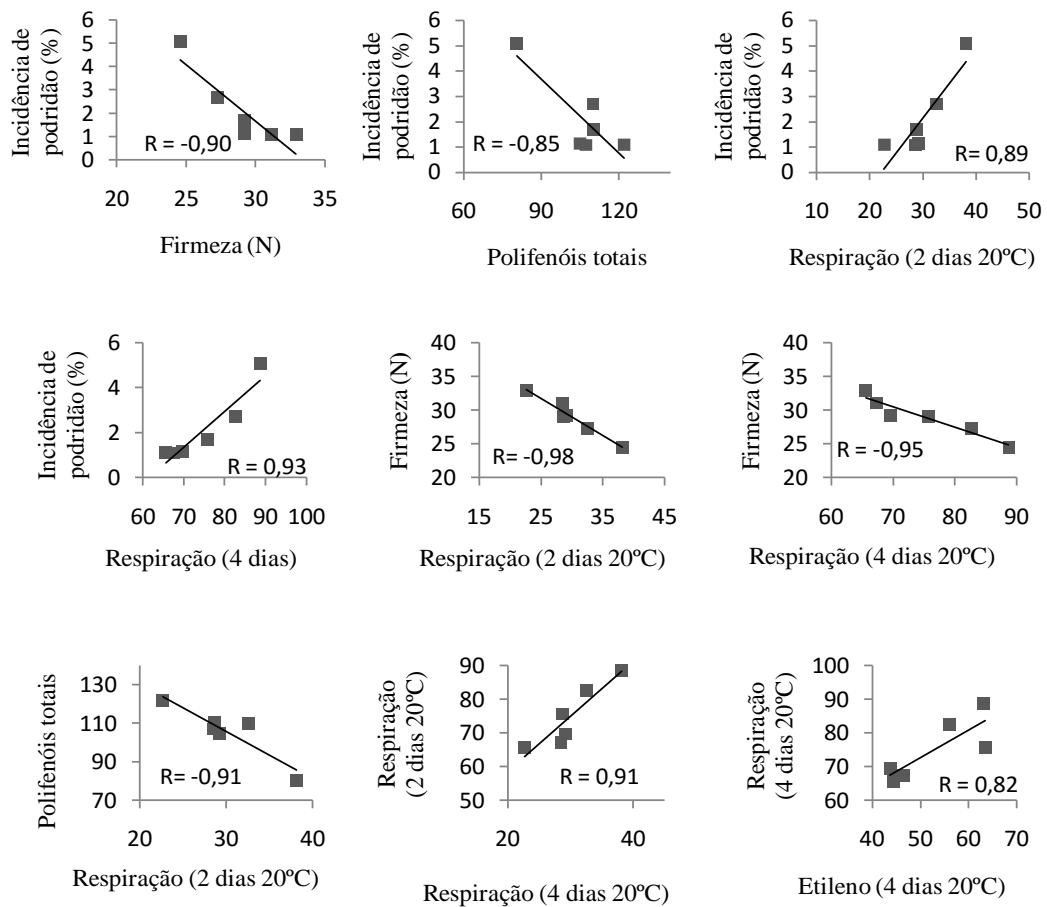
Figura 4 - Taxa respiratória (A, C, E) e produção de etileno (B, D, F) durante quatro dias de exposição dos frutos a 20°C em pêsegos tratados com metassulfato de sódio em pré-colheita. Santa Maria, 2013.\* Nível de significância a 5% ( $p < 0,05$ ) para o teste F.



Os resultados positivos na redução da incidência da podridão parda pela utilização do metassulfato de sódio, deve-se provavelmente ao do efeito do produto como fungicida, principalmente pela ação osmótica devido ao alto pH da solução. Entretanto, conforme a figura

5, a incidência de podridão parda apresenta correlação negativa com a firmeza de polpa e o conteúdo de polifenóis totais, e correlação positiva com a taxa respiratória aos dois e quatro dias, sendo provavelmente um indício do efeito do metassilicato de sódio sobre a resistência dos frutos a infecção pelo fungo *Monilinia fructicola*.

Figura 5 - Correlação de Pearson entre variáveis em pêsegos ‘Pepita’ tratados com metassilicato de sódio em pré-colheita, Santa Maria, 2013.



Correlação negativa também foi observada entre a firmeza de polpa e a respiração aos dois e quatro dias. Esses resultados provavelmente indicam o potencial do metassilicato de sódio como um indutor de resistência das plantas ao patógeno reforçando a necessidade de novos estudos explorando principalmente o seu efeito sobre a formação de barreiras físicas contra a infecção e na produção de compostos relacionados a patogênese. Conforme o exposto, os resultados mostram o potencial do metassilicato de sódio para o controle da podridão parda do pessegueiro, reforçando a necessidade de estudos com a sua utilização em pré-colheita, de

maneira isolada e associada a fungicidas, com o intuito de reduzir o elevado número de aplicações de fungicidas na cultura.

#### 4.1.4 CONCLUSÕES

1 – Doses de metassilicato de sódio superiores a  $6 \text{ g L}^{-1}$  inibem a germinação dos esporos de *Monilinia fructicola*, *in vitro*.

2 - Aplicação de  $6 \text{ g L}^{-1}$  de metassilicato de sódio aos 14 e sete dias antes da colheita, reduz a incidência em pré e pós-colheita da podridão parda do pessegueiro, aumenta a síntese de polifenóis totais e mantém a firmeza da polpa em pêssegos cv. Pepita.

3 - O metassilicato de sódio aplicado em pré-colheita mantém maior firmeza de polpa, reduz a respiração e a produção de etileno dos frutos, mas não interfere no sabor dos frutos, mantendo estável a acidez titulável e sólidos solúveis.

4- O metassilicato de sódio é uma alternativa para o controle da podridão parda em pré-colheita ser menos tóxico e proteger os frutos durante o período de colheita.

#### 4.1.4 REFERÊNCIAS

- BÉLANGER, R.R. et al. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). *Phytopathology*, v.93, n.4, p.402–412, 2003.
- BIGGS, A.R. et al. Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. *Plant Disease*, v.81, n.4, p.399-403, 1997.
- BUCK, G.B. et al. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. *Journal of Plant Nutrition*, v.31, n.2, p.231–237, 2008.
- CARRÉ-MISSIO, V. et al. Componentes epidemiológicos da ferrugem do cafeeiro afetados pela aplicação foliar de silicato de potássio. *Tropical Plant Pathology*, v. 37, n.1, p.50-56, 2012

- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A; BELANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium spp.* *Phytopathology*, v.84, n. 2, p.236 – 242, 1994.
- DUARTE, H. da S.S. et al. Efeito do silicato de potássio isoladamente ou em mistura com fungicida no controle da requeima da batateira. *Summa Phytopathologica*, v.34, n.1, p.68-70, 2008.
- FAWE, A. et al. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*, v.88, n.5, p.396–401, 1998.
- GHANMI, D. et al. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: A pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v.64, n.4, p.189-199, 2004.
- GOMES, F.B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, v.62, n.6, p.547–551, 2005.
- GUO, Y. et al. Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling *Trichothecium roseum* postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, v.42, n.8, p.1012–1018, 2007.
- 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*, v.119, n.1, p.429-436, 2007.
- KAISER, C. et al. In-vitro inhibition of mycelial growth of several phytopathogenic fungi, including *Phytophthora cinnamomi* by soluble silicon. *South African Avocado growers' Association Yearbook*. v.28, n.1, p.70-74, 2005.
- HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. *Phytopathology*, v.98, n.9, p.1038-1044. 2008.
- LARENA, I. et al. Biological control of postharvest brown rot (*Monilinia spp.*) of peaches by field applications of *Epicoccum nigrum*. *Biological Control*, v.32, n.2, p.305–310, 2005.

- LEE, M. H.; BOSTOCK, R.M. Fruit exocarp phenols in relation to quiescence and development of *Monilinia fructicola* infections in *Prunus* spp.: A role for cellular redox. *Phytopathology*, v.97, n.3, p.269-277, 2007.
- LI, W. et al. Effects of postharvest sodium silicate treatment on pink rot disease and oxidative stress-antioxidative system in muskmelon fruit. *European Food Research and Technology*, v.234, n.1, p.137–145, 2012.
- LI, Y.C. et al. Antifungal activity of sodium silicate on *Fusarium sulphureum* and its effect on dry rot of potato tubers. *Journal Food Science*, v.74, n.5, p.213–218, 2009.
- LIANG, Y.C.; SUN WC, S.I. J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology*, v. 54, n. 1, p. 678-685. 2005.
- LIU, J. et al. Plasma membrane damage contributes to antifungal activity, of Silicon Against *Penicillium digitatum*. *Current Microbiology*, v.61, n.4, p.274–279, 2010.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. New York: Academic Press, 1995, 887p.
- MENZIES, J. G. et al. Foliar application of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon and zucchini squash. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.117, n.6, p.902-905. 1992.
- MICHAILIDIS, T. J.; JOHNSON, R. S. Effect of nitrogen fertilization on brown rot (*Monilinia fructicola*) susceptibility in nectarines. *Phytopathology*, v.10, n.1, p.1064. 1992.
- MORAES, S.R.G. et al. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, v.31, n.1, p.69-75, 2006.
- MOREIRA, L.M.; MAY-DE MIO, L.M. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n.2, p. 405-411, 2009.



- NASCIMENTO, F.V. et al. UV-C effect and alternative treatments for postharvest control of brown rot in peaches. **Acta Hort.** v. 1053, p. 265-272, 2014.
- PAVANELLO, E.P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n.1, p.67-76, 2015.
- QIN, G.Z.; TIAN, S.P. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. *Phytopathology*, v.95, n.1, p.69–75, 2005.
- RODRIGUES, F. et al. Effect of rice growth stages and silicon on sheath blight development. *Phytopathology*, v.93, n.3, p.256– 261, 2003.
- SINGLETON, V.L.; ROSSI JUNIOR, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v.16, n.3, p.144-158, 1965.
- TIAN, S.P. et al. Synergistic effects of combining biocontrol agents with silicon against postharvest diseases of jujube fruit. *Journal Food Protection*, v.68, n.3, p.544–550, 2005.
- VILLARINO, M. et al. Secondary inoculum dynamics of *Monilinia* spp. and relationship to the incidence of postharvest brown rot in peaches and the weather conditions during the growing season. *European Journal of Plant Pathology*, v.133, n.3, p.585–598, 2012.
- WALDEMAR FILHO, P. de C. et al. Algumas sugestões para a expansão da agropecuária orgânica no estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, São Paulo, v.37, n.6, 2007.
- YANG, L. et al. Synergistic effect of oligochitosan and silicon on inhibition of *Monilinia fructicola* infections. *Journal Science Food Agriculture*, v. 90, n. 4, p. 630–634, 2010.



## 5 ARTIGO 3

### 5.1 USO COMBINADO DO SILÍCIO E FUNGICIDAS QUÍMICOS NO CONTROLE DA PODRIDÃO PARDA DO PESSEGUEIRO

#### Resumo

A podridão parda do pessegueiro é a principal doença da cultura, com controle baseado em frequentes aplicações de fungicidas. O estudo visou buscar alternativas para a redução do uso de fungicidas, avaliando o uso do silício no controle pré e pós-colheita da podridão parda e sua influência na maturação dos frutos e nos mecanismos de defesa das plantas. Para isso foram conduzidos três experimentos, em dois anos de cultivo, avaliando épocas de aplicação foliar do silício, bem como três diferentes fontes. As avaliações foram realizadas na colheita e após o armazenamento refrigerado dos frutos, sendo as seguintes variáveis determinadas: incidência de podridão parda pré e pós-colheita, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza de polpa, textura da epiderme, conteúdo de polifenóis totais, conteúdo de silício nas folhas e frutos e análise anatômica. Verificou-se que seis aplicações foliares de silicato de sódio têm o mesmo efeito que seis aplicações de fungicidas. O uso do silício permitiu a redução de três aplicações de fungicidas, independente da época de aplicação, sendo que não há diferença entre as fontes de silício. Houve aumento do conteúdo de Silício nas folhas e frutos e aumento da textura da epiderme no tratamento com seis aplicações de silicato de sódio. Entretanto, o efeito do Silício sobre os mecanismos bioquímicos de defesa das plantas deve ser melhor estudado para a cultura do pessegueiro, tendo em vista que ocorreu influência sobre o conteúdo de polifenóis totais apenas em um dos trabalhos. O silício é eficiente no controle da podridão parda do pessegueiro, sendo uma alternativa à fungicidas na agricultura orgânica e convencional.

**Palavras – chave:** *Monilinia fructicola*, aplicação foliar, pré-colheita, pós-colheita, incidência.

## Combined use of silicon and chemical fungicides in brown rot control of peach

### Abstract

The brown rot peach is the main disease of culture with control based on frequent fungicide applications. The study aimed to find alternatives for reducing the use of fungicides, evaluating the use of silicon in the brown rot control of pre and postharvest and its influence on fruit ripening and the plant defense mechanisms. For this were carried out three experiments, in two cropping years, assessing foliar silicon application times as well as three different sources. Evaluations were made at harvest and after cold storage, being the following given parameters: brown rot incidence, soluble solid (SS), titratable acidity (TA), firmness, skin texture, total polyphenols content and silicon content in leaves and fruit. It was observed that six leaf applications of sodium silicate have the same effect that six fungicide. The use of silicon has allowed the deduction of three fungicide applications, independent of the application time, and there is no difference between the sources. Increased Si content in leaves and fruit and increased skin texture. However, the effect of Si on the biochemical mechanisms of plant defense needs to be better studied for peach culture, considering that occurred influence on the total polyphenol only in one of the years evaluated with the need for more studies, especially about enzymes defense. Silicon is effective in controlling brown rot peach, as an alternative for organic and conventional agriculture.

**Key words:** *Monilinia fructicola*, leaf application, preharvest, postharvest, incidence.

### 5.1.1 Introdução

O pêsego (*Prunus persica* L. Batsch) é uma fruta de clima temperado com destaque na produção mundial, sendo no Brasil, o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor. Entretanto, as condições climáticas do estado, como temperaturas elevadas e precipitações distribuídas principalmente nos meses de agosto a dezembro também favorecem a manifestação do fungo *Monilinia fructicola*, causador da podridão parda, principal doença da cultura do pessegueiro, com danos significativos tanto em pré quanto em pós-colheita.

O fungo causador da podridão parda ataca flores e frutas no pomar, ficando essa infecção latente, vindo manifestar-se na colheita ou pós-colheita, principalmente após o armazenamento (LARENA et al., 2005; VILLARINO et al., 2012). Para o controle da doença

é fundamental reduzir o inóculo no campo, evitando assim a sua manifestação durante o armazenamento e comercialização. Para isso, a proteção dos frutos, com o controle químico é o método mais adotado e eficaz, com pulverizações desde a floração até a pré-colheita (MAY-DE MIO; GARRIDO; UENO, 2004; MOREIRA; MAY-DE MIO, 2009). Entretanto, apesar da eficiência de fungicidas como iminocadina, iprodiona (MOREIRA; MAY DE MIO, 2009; PAVANELLO et al., 2015), trifloxistrobina/tebuconazol e difenoconazol (PAVANELLO et al., 2015), o uso repetido de ingredientes ativos pode levar ao desenvolvimento de resistência do patógeno, sendo recomendado para o manejo da doença a adoção de fungicidas com diferentes mecanismos de ação (EMERY; SCHERM; SAVELLE, 2002) e a incorporação de produtos alternativos, com baixo risco de resistência e, principalmente, baixo dano ambiental.

Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (MA, 2006) e considerado um nutriente benéfico às plantas (EPSTEIN, 1999). Geralmente, o seu efeito benéfico está relacionado ao controle de pragas e doenças, bem como, aos mecanismos de resistência das plantas (BUCK et al., 2008). A capacidade de o Si agir sobre o controle de doenças fúngicas tem sido amplamente descrito para plantas de pepino (CHÉRIF; ASSELIN; BELANGER, 1994), abobrinha (MENZIES; BOWEN; EHRET, 1992), batata (DUARTE et al., 2008) e em pós-colheita para frutos de cereja (QIN; TIAN, 2005) melão (BI et al., 2006), batata (LI et al., 2009) e pêssegos (BIGGS et al., 1997; NASCIMENTO, 2014). A eficiência do Si pode estar relacionada ao aumento da resistência de plantas (RODRIGUES et al., 2004; BÉLANGER; BENHAMOU; MENZIES, 2003), provocando reações bioquímicas de defesa, incluindo a acumulação de lignina, compostos fenólicos, proteínas relacionadas com patogênese em plantas infectadas (CHÉRIF; ASSELIN; BELANGER, 1994; QIN; TIAN, 2005; RÉMUS et al., 2009) e a sua capacidade fungistática, com a inibição do crescimento fúngico (QIN; TIAN et al., 2005).

O estudo do elemento Si para uma possível utilização no manejo fitossanitário nas principais culturas agrícolas é uma importante estratégia para minimizar o uso de agrotóxicos reduzindo os riscos de resistência do patógeno ao ingrediente ativo e principalmente os impactos ambientais e sociais. Nesse sentido, buscando alternativas para reduzir o uso de fungicidas na cultura do pessegueiro, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do Silício no controle da podridão parda do pessegueiro e estabelecer a melhor época de aplicação de forma isolada e ou combinada a fungicidas.

## 5.1.2 Material e métodos

### 5.1.2.1 Descrição da área experimental

O trabalho foi realizado por dois anos consecutivos, com três experimentos conduzidos em um pomar comercial de pessegueiro, no município de Santiago, Rio Grande do Sul, altitude de 409 m, latitude 29°11'30" sul e longitude 54°52'02" oeste. A cultivar utilizada foi 'Eldorado', com espaçamentos de 1,5m entre plantas e 5m entre linhas e sistema de condução em Y. As práticas culturais anteriores à aplicação dos experimentos constituíram-se de adubação, controle fitossanitário, poda e raleio de frutos. O manejo fitossanitário iniciou com a eliminação dos frutos mumificados no período de repouso e seguiu com tratamentos químicos a partir da floração. Os produtos utilizados foram mancozebe (200 g 100 L<sup>-1</sup>) seguido de captan (240 g 100L<sup>-1</sup>) na plena florada para os experimentos I, II e III, iprodione (150 mL 100 L<sup>-1</sup>) e tebuconazol (100 mL 100 L<sup>-1</sup>) desde o estágio de queda das pétalas até 24 dias antes da colheita no experimento I.

### 5.1.2.2 Condução do experimento I

O primeiro experimento foi realizado nos meses de novembro e dezembro de 2013, com o objetivo de avaliar diferentes épocas de aplicação de metassilicato de sódio durante a fase de pré-colheita, associado ou não a fungicidas. As aplicações foram feitas 24 dias antes da colheita (DAC) (28/11/2013), 17 DAC (05/12/2013), 10 DAC (12/12/2013) e 3 DAC (19/12/2013), sendo os seguintes tratamentos avaliados: [1] testemunha (quatro aplicações de água); [2] duas aplicações de água mais duas de metassilicato de sódio (MS) (10 e 3 DAC); [3] quatro aplicações de fungicidas; [4] quatro aplicações de fungicidas mais duas de MS (10 e 3 DAC); [5] duas aplicações de fungicidas mais duas de água; [6] duas aplicações de fungicidas mais duas de MS (10 e 3 DAC); [7] duas aplicações de água intercaladas com duas aplicações de fungicidas; [8] duas aplicações de MS (17 e 3 DAC) intercaladas a duas de fungicidas. A fonte de Si utilizada foi o metassilicato de sódio (27,5-30% Si e 28,5-30% Na, pH 10,5) na dose de 7 g L<sup>-1</sup>, conforme determinado em trabalho anterior (dados não publicados) e os fungicidas iminocadine, tebuconazol e iprodiona conforme tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos no experimento I (2013/2014) e experimentos II e III (2014/2015).

Tratamentos	Época de aplicação					
	-----Experimento I-----					
	24 DAC*	17 DAC	10 DAC	3 DAC		
T1	Água	Água	Água	Água		
T2	Água	Água	Água + Metassilicato de sódio (MS)	Água + MS		
T3	Iminoctadina (Bellkute™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )	Iminoctadina (Bellkute™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )	Tebuconazol (Folicur™) (100 mL 100L <sup>-1</sup> )	Iprodione (Rovral™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )		
T4	Iminoctadina	Iminoctadina	Tebuconazol + MS	Iprodione + MS		
T5	Iminoctadina	Tebuconazol	Água	Água		
T6	Iminoctadina	Tebuconazol	Água +MS	Água +MS		
T7	Iminoctadina	Água	Tebuconazol	Água		
T8	Iminoctadina	Água + MS	Tebuconazol	Água +MS		
	-----Experimento II-----					
	RALEIO	30 DAR**	24 DAC*	17 DAC	10 DAC	3 DAC
T1	Água	Água	Água	Água	Água	Água
T2	SS (Silicato de sódio)	SS	SS	SS	SS	SS
T3	Procimidone (Sumilex™)	Iminoctadine (Bellkute™)	Tebuconazol (Folicur™)	Iminoctadine (Bellkute™)	Tebuconazol (Folicur™)	Iprodione (Rovral™)
T4	Iminoctadine	--	Tebuconazol	--	Iprodione	--
T5	Iminoctadine + SS	---	Tebuconazol + SS	---	Iprodione + SS	---
T6	SS	SS	SS	Iminoctadine	Tebuconazol	Iprodione
T7	Iminoctadine	Tebuconazol	Iprodione	SS	SS	SS
T8	SS	Iminoctadine	SS	Tebuconazol	SS	Iprodione
	-----Experimento III-----					
	RALEIO	30 DAR**	24 DAC*	17 DAC	10DAC	3 DAC
T1	Água	Água	Água	Água	Água	Água
T2	Procimidone	Iminoctadine	Tebuconazol	Iminoctadine	Tebuconazol	Iprodione
T3	Iminoctadine	SS	Tebuconazol	SS	Iprodione	SS
T4	Iminoctadine	Pó de rocha ROCKSIL	Tebuconazol	Pó de rocha ROCKSIL	Iprodione	Pó de rocha ROCKSIL
T5	Iminoctadine	MS	Tebuconazol	MS	Iprodione	MS

\* Dias antes da colheita. \*\* Dias após o raleio

As aplicações foram realizadas com atomizador costal (Jacto, bico cônico) de 13 L seguindo as doses recomendadas para cada ingrediente ativo e adequando-as para um volume de calda de 1000 L ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se o espalhante adesivo Fixade na concentração de 0,1% v/v. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e oito

tratamentos em um esquema fatorial 4x2 (aplicações de fungicidas x com e sem aplicação de metassilicato de sódio). Cada unidade experimental foi composta por oito plantas das quais duas correspondem à bordadura. As condições meteorológicas no período do experimento podem ser vistas na figura 1.

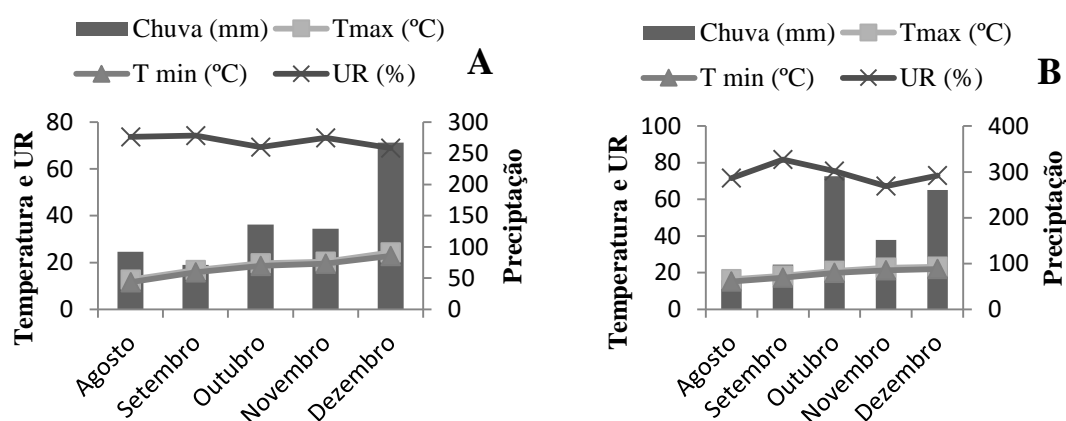


Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Eldorado, nos anos de 2013 (A) e 2014 (B).

### 5.1.2.3 Condução do experimento II

O segundo experimento foi realizado nos meses de agosto a dezembro de 2014 com pulverizações de fungicidas e Silicato de sódio desde o período do raleio até a pré-colheita, com o objetivo de estabelecer a melhor época para a aplicação do produto, buscando reduzir as aplicações de fungicidas. As aplicações foram na época do raleio dos frutos (07/10/2014), 30 dias após o raleio (DAR) (04/11/2014), 24 DAC (22/11/2014), 17 DAC (29/12/2014), 10 DAC (05/12/2014) e 3 DAC (12/12/2014), sendo os seguintes tratamentos avaliados: [1] seis aplicações de água; [2] seis aplicações de silicato de sódio (SS); [3] seis aplicações de fungicidas; [4] três aplicações de fungicidas (Raleio, 24 DAC, 10 DAC); [5] três aplicações de fungicidas com SS (Raleio, 24 DAC, 10 DAC); [6] três aplicações de SS sucedidas de três de fungicidas; [7] três aplicações de fungicidas sucedidas de três de SS; [8] três aplicações de fungicidas (30 DAR, 17 DAC e 3 DAC) intercaladas a três aplicações de SS (raleio, 24 DAC e 10 DAC). A fonte de Si foi o silicato de sódio neutro (27,5-30% Si e 8,2-8,9% Na, pH 9,0) na dose de 6 g L<sup>-1</sup> de água e os fungicidas utilizados foram procimidona, iminocadine, tebuconazol e iprodiona, conforme tabela 1. As aplicações foram realizadas conforme o experimento I. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro



repetições e oito tratamentos. Cada unidade experimental foi composta por sete plantas das quais duas correspondiam à bordadura.

#### *5.1.2.4 Condução do experimento III*

O terceiro experimento também foi realizado no ano de 2014, com o objetivo de avaliar diferentes fontes de Si, bem como a sua associação a fungicidas, no controle da podridão parda do pessegueiro. As pulverizações foram nas mesmas datas do experimento II, sendo avaliados os seguintes tratamentos: [1] seis aplicações de água; [2] seis aplicações de fungicidas; [3] três aplicações de SS (30 DAR, 17 DAC e 3 DAC) intercaladas a três de fungicidas (raleio, 24 DAC e 10 DAC); [4] três aplicações de MS (30 DAR, 17 DAC e 3 DAC) intercaladas a três de fungicidas (raleio, 24 DAC e 10 DAC); [5] três aplicações do pó de rocha Rocksil<sup>TM</sup> (30 DAR, 17 DAC e 3 DAC) intercaladas a três de fungicidas (raleio, 24 DAC e 10 DAC). As doses de silicato de sódio e metassilicato de sódio foram de 6 g L<sup>-1</sup> de água e do produto Rocksil<sup>TM</sup> (17,4% Si) foi 10 g L<sup>-1</sup> de água, conforme recomendação do fabricante. As aplicações foram realizadas conforme o experimento I e II. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos. Cada unidade experimental foi composta por sete plantas das quais duas correspondiam à bordadura.

#### *5.1.2.5 Avaliações da incidência de podridão parda na colheita e pós-colheita*

As avaliações de incidência da podridão parda foram realizadas da mesma forma para os três experimentos, em que para a incidência da doença no campo foi considerado o número de frutos com lesões em relação ao total de frutos nas plantas avaliadas até o fim da colheita e os resultados foram expressos em porcentagem de podridão parda. Após a colheita, frutos assintomáticos de cada repetição foram transportados ao laboratório do Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria para as avaliações da incidência de podridões em pós-colheita. Para isso, um lote de frutos de cada tratamento foi acondicionado à temperatura de 20 °C durante quatro dias, enquanto que outro lote foi armazenado por 35 dias sob refrigeração, a -0,5 °C, umidade relativa de 96% (+/- 2 °C) e, na sequência, exposto à temperatura de 20 °C por quatro dias. O monitoramento da incidência da doença em pós-colheita foi realizado pela contagem dos frutos que apresentaram lesões características da

infecção pelo fungo *Monilinia fructicola* e os resultados expressos em porcentagem de frutos sintomáticos aos dois e quatro dias de exposição dos frutos a 20 °C (vida de prateleira).

Para todas as avaliações foram utilizadas quatro repetições de 25 frutos em cada tratamento. A temperatura da câmara foi controlada por meio de termostatos eletrônicos e acompanhada diariamente por meio de um termômetro com bulbo de mercúrio com precisão de 0,2 °C, inserido na polpa de um fruto e a UR monitorada por um psicrômetro e, quando necessário, o ambiente era umedecido.

#### 5.1.2.6 Avaliação dos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos

Após a colheita e o armazenamento refrigerado mais quatro dias de exposição a 20 °C, os frutos foram avaliados quanto aos seguintes parâmetros: **a) Teor de sólidos solúveis totais (SST):** obtido por refratometria a partir do suco extraído de cada amostra de 15 frutos e os resultados expressos em °Brix. **b) Acidez titulável (AT):** determinada por titulação com NaOH 0,1 N de uma solução contendo 10 mL de suco diluídos em 100 mL de água destilada, até atingir pH 8,1 e expresso em meq 100 mL<sup>-1</sup>. **c) Polifenóis totais:** determinado pelo método colorimétrico (SINGLETON; ROSSI JUNIOR, 1965). Em tubo de ensaio, adicionaram-se 200 µL de amostra diluída (1:10) em solução etanol/ácido clorídrico/água, na proporção de 70/1/30 (V/V/V), 1.000 µL de reagente de Folin-Ciocalteu, diluído (1:10) em água destilada e deionizada. Entre 3 e 8 minutos adicionaram-se 800 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7,5%. Após duas horas ao abrigo da luz, foi lida a absorbância a 765 nm em espectrofotômetro da marca FEMTO, modelo 600S (monofeixe). Para a curva de calibração foi utilizada como padrão uma solução de ácido gálico nas concentrações: 15, 30, 45, 60, 75 e 90 mg L<sup>-1</sup>. A concentração de polifenóis totais foi expresso em mg 100 g<sup>-1</sup>. **d) Firmeza da polpa:** avaliada em dois lados opostos na região equatorial dos frutos, onde previamente foi retirada parte da epiderme. Para a determinação foi utilizado um penetrômetro manual com ponteira de 7,9 mm, sendo os valores expressos em Newton (N). **e) Textura da epiderme:** A textura foi analisada com um texturômetro eletrônico TAXT-plus ® (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido), em termos de força necessária para o rompimento da epiderme. Foi utilizada ponteira modelo PS2, com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 5 mm, com velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 2, 10 e 2 mm s<sup>-1</sup>, respectivamente, conforme metodologia de Alves et al., (2009), com modificações. Para todas as avaliações foram utilizadas quatro repetições de 20 frutos em cada tratamento.

#### 5.1.2.7 Conteúdo de silício nos frutos e folhas

As amostras foram coletadas no dia da colheita dos frutos, acondicionadas em sacos de papel, transportadas para o laboratório onde foram lavadas com água destilada e posteriormente postas para secar em estufa de ar forçado a 65°C. Para as avaliações do conteúdo de silício seguiu-se a metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004). Pesou-se uma alíquota de 0,1000 g do material vegetal seco e moído em tubos de polipropileno de 50 mL, adicionou-se 2 mL de peróxido de hidrogênio, com posterior agitação (agitador magnético), mais 3 mL de hidróxido de sódio e logo depois os tubos foram mantidos em repouso por uma hora. Após, levou-se para autoclave por uma hora à temperatura de 123 °C e pressão de 1,5 atm. Na sequência adicionou-se água destilada até completar 50 mL, permanecendo em repouso por 24 horas. Transcorrido esse período, retirou-se um mL do sobrenadante, transferindo para copos de 50 mL, seguido da adição de 19 mL de água destilada, um mL de ácido clorídrico e 2 mL de molibdato de amônio. Após 5 a 10 minutos adicionou-se 2 mL de ácido oxálico e, por fim, depois de 2 minutos realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV/Visível - a 410 nm.

#### 5.1.2.8 Análise estatística

Os dados, antes da análise de variância (ANOVA), foram submetidos ao teste de normalidade dos erros, pelo teste de Lilliefors e os parâmetros que não apresentavam normalidade dos erros foram transformados pela fórmula  $\text{arc. sen} \sqrt{x/100}$  para serem submetidos com os demais à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Scott-knott (experimento II) e Tukey (experimentos I e III) em nível de 5% de probabilidade de erro. Para isso, foram utilizados os softwares Sisvar (UFLA, versão 5.3) e Action pelo Excel.

### 5.1.3 Resultados e discussão

#### 5.1.3.1 Efeito do Si na incidência da podridão parda

No experimento I, houve interação significativa (aplicações de fungicidas x com e sem a utilização do Si) para a incidência de podridão parda a campo e após o armazenamento refrigerado (Tabela 2). No controle da podridão parda a campo, o metassilicato de sódio somente foi eficaz quando aplicado aos 17 e três DAC, intercalado a aplicação de fungicidas,

com melhor desempenho do que associado a quatro aplicações de fungicidas. Esse comportamento pode ser observado tanto na primeira colheita, quanto após a 3ª colheita (Tabela 2).

Tabela 2 – Incidência de podridão parda no campo e após 35 dias de armazenamento refrigerado a -0,5°C em pêssegos cv. Eldorado tratados com metassilicato de sódio e fungicidas em pré-colheita. Santiago e Santa Maria. 2013/2014. Experimento I.

Tratamentos no campo	Podridão parda no campo (1ª colheita)		Podridão parda no campo (3ª colheita)	
	Metassilicato de sódio		Metassilicato de sódio	
	Sem	Com	Sem	Com
Água (A) - 4x*	15,2 Aa**	15,1 aA	26,4 aB	29,9 aA
Fung. (F) - 4x	5,54 cA	5,61 bA	20,5 bA	20,0 cA
F + F + A + A	7,08 bc A	6,36 bA	17,9 cB	22,8 bA
F + A + F + A	7,90 bA	3,80 cB	20,2 bA	18,0 cB
<b>CV (%)</b>	<b>6,81</b>		<b>2,57</b>	

Tratamentos no campo	-----Incidência de podridão parda pós-colheita (%) -----					
	Saída da câmara		2 dias 20°C		4 dias 20°C	
	Metassilicato de sódio		Metassilicato de sódio		Metassilicato de sódio	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Água (A) - 4x*	27,5 aA**	30,9 aA	52,5 aB	72,2aA	81,2 aB	96,1 aA
Fung. (F) - 4x	17,5 bA	5,07 bB	22,4 bA	10,1bB	27,4 cA	26,7 bA
F + F + A + A	8,75 bA	8,75 bA	18,8 bA	17,5 bA	52,5 bA	31,2 bB
F + A + F + A	11,2 bA	5,00 bB	25,0bA	13,7 bB	55,0 bA	33,8 bB
<b>CV (%)</b>	<b>26,6</b>		<b>10,7</b>		<b>9,23</b>	

\* Número de aplicações em pré-colheita. \*\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de fungicidas) e maiúscula na horizontal (aplicação de metassilicato de sódio), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Após o armazenamento refrigerado o metassilicato de sódio (MS) manteve menor incidência da doença até os dois dias de exposição dos frutos a 20 °C no tratamento com quatro aplicações de fungicidas e MS intercalado com os fungicidas. Aos 4 dias de exposição a 20 °C o tratamento de fungicidas alternados com MS manteve a menor incidência da doença (Tabela 2). A aplicação do MS sem a associação com fungicidas não teve resultado no controle da doença, tanto no campo quanto em pós-colheita. Os resultados deste trabalho indicam que possivelmente o produto necessita ser aplicado no período de desenvolvimento do fruto, não somente na fase muito próxima a colheita, sendo uma alternativa para a redução do número de aplicação de fungicidas. A maior eficiência do Si quando aplicado aos 17 dias antes da colheita, em relação a 10 dias antes da colheita, provavelmente está relacionada ao efeito do produto sobre os mecanismos de defesa da planta, no qual possivelmente necessita de um maior período

entre a aplicação e a colheita e além disso, ser aplicado na fase de crescimento do fruto. A eficácia do Si no controle de doenças em plantas pode ser atribuída à ativação do estado de 'priming' da planta a qual ativará com maior rapidez e intensidade os mecanismos de defesa das plantas, com o aumento da concentração de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, bem como à maior atividade de enzimas de defesa e antioxidantes (GUERRA et al., 2013; HAYASAKA et al., 2008; DALLAGNOL et al. 2015; RAHMAN et al., 2015; SILVA et al., 2015) e além disso, não se pode descartar a importância da sílica amorfa abaixo da cutícula e na parede celular como mecanismo de defesa que impede ou atrasa a penetração do patógeno (NING et al., 2014; RODRIGUES, et al. 2015).

Da mesma forma, no segundo ano, experimento II, o Silicato de sódio (SS) foi eficiente no controle do fungo *Monilinia fructicola* no campo, em que não houve diferença entre as épocas de aplicação e, além disso, tanto três quanto seis aplicações SS não diferiram de seis aplicações de fungicidas (Tabela 3). Esses resultados trazem importantes contribuições para o controle da doença na cultura do pessegueiro, tendo em vista que, são pioneiros envolvendo pulverizações foliares de silicato de sódio na cultura. O papel do Si no controle de doenças tem sido bastante estudado, principalmente em culturas consideradas acumuladoras do elemento, como o arroz (BUCK et al., 2008; DALLAGNOL et al., 2013; RAHMAN et al., 2015), entretanto o mesmo potencial tem sido observado em culturas menos acumuladoras como por exemplo, feijão (POLANCO et al., 2014; CRUZ et al. 2014), soja (CRUZ et al. 2012; ARSENAULT-LABRECQUE et al, 2012), banana (KABLAN et al., 2012), melão (GUO et al., 2007; DALLAGNOL et al. 2012), pepino (MOHAGHEGH et al., 2011), algodoeiro (GUERRA et al., 2013), onde em todas as situações houve interferência no progresso das doenças fúngicas.

Após a colheita, houve interação significativa entre os tratamentos a campo e o período de avaliação (com e sem armazenamento refrigerado). Aos dois dias de exposição dos frutos a 20 °C todos os tratamentos com a aplicação de SS apresentaram menor incidência de podridão parda na fase de colheita, enquanto que, após o armazenamento refrigerado a menor incidência foi observada nos tratamentos com seis aplicações de fungicida e com seis aplicações de SS, com 76,6% e 72,5% de controle, respectivamente. Aos quatro dias de exposição a 20 °C, os tratamentos com seis aplicações de fungicidas e o com três aplicações de silício seguido de três de fungicidas foram os tratamentos que mantiveram menor incidência de podridão parda no momento da colheita, enquanto que, após o armazenamento apenas o tratamento com seis aplicações de fungicidas manteve a menor incidência, seguido pelos tratamentos dois (seis aplicações de SS) e oito (três aplicações de SS intercaladas com três de fungicidas), com controle de 51,7% a 61% em relação à testemunha. Comparando com e sem o armazenamento

refrigerado, o tratamento com seis aplicações de fungicidas foi o único que reduziu a incidência da podridão parda após o armazenamento.

Tabela 3 – Incidência de podridão parda a campo e em pós-colheita, em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com silicato de sódio e fungicidas. Santiago e Santa Maria, 2014/2015. Experimento II.

Tratamentos no campo	Incidência de podridão parda a campo (%)	
	Colheita	Após a 3ª colheita
Água – 6 aplicações – Testemunha	15,7 a*	36,4 a
Silicato de sódio (SS) – 6 aplicações	5,29 c	13,2 c
Fungicidas (F) – 6 aplicações	4,06 c	14,2 c
Fungicida – 3 aplicações	10,0 b	24,4 b
Fungicida e SS (mistura) – 3 aplicações	5,22 c	18,2 c
SS+ SS+ SS + F + F + F	3,61 c	10,4 c
F + F + F + SS + SS + SS	4,37 c	16,6 c
SS + F + SS + F + SS + F	4,76 c	17,5 c
<b>CV (%)</b>	<b>15,2</b>	<b>17,2</b>

Tratamentos no campo	----- Incidência de podridão parda pós-colheita (%) -----			
	2 dias 20 °C		4 dias 20°C	
	Colheita	Após AR*	Colheita	Após AR
Água – 6 aplicações – Testemunha	40,0 Aa**	33,3 aA	60,0 aB	72,8 aA
Silicato de sódio (SS) – 6 aplic.	17,9 cA	9,17 dB	45,6 bA	37,2 cB
Fungicidas (F) – 6 aplicações	17,0 cA	7,78 dB	30,4 cA	28,2 dA
Fungicida – 3 aplicações	40,7 aA	25,0 bB	59,9 aA	55,0 bA
Fungicida e SS (mistura) – 3 aplic.	27,9 bA	22,8 bA	40,8 bB	52,2 bA
SS+ SS+ SS + F + F + F	21,2 cA	21,6 bA	25,6 cB	52,2 bA
F + F + F + SS + SS + SS	21,5 cB	28,1 aA	36,8 bB	55,4 bA
SS + F + SS + F + SS + F	19,7 cA	15,1 cA	40,7 bA	37,7 cA
<b>CV (%)</b>	<b>9,45</b>		<b>7,91</b>	

\* Armazenamento Refrigerado (35 dias a -0,5 °C). \*\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de silício) e maiúscula na horizontal (época de avaliação), diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Entre as fontes de Si avaliadas no experimento III, não se observou diferença no controle da podridão parda a campo, em que três aplicações de Si, independente da fonte, intercaladas a três de fungicidas apresentaram o mesmo efeito que seis aplicações de fungicidas (Tabela 4). Os silicatos são bem conhecidos e comprovados na eficácia do controle de inúmeros fitopatógenos. Aliados a esses, produtos formulados a partir de rochas, como por exemplo, o Rocksil™ também apresentam satisfatórios níveis de controle, como observado nas culturas da

videira (GOMES et al., 2010), cebolinha (ARAUJO; PERUCH; STADNINK, 2012), café (ANDROCIOLOI et al., 2009) e pimenta (GOMES; SERRA, 2013).

Após a colheita, tanto aos dois quanto aos quatro dias de exposição dos frutos a 20 °C houve interação significativa entre as aplicações pré-colheita e o período de armazenamento dos frutos (Tabela 4). Aos dois dias, tanto na colheita como após o AR, o metassilicato de sódio apresentou menor incidência da podridão parda que os demais produtos. Comparando os frutos com e sem o armazenamento refrigerado, independente da fonte, a aplicação de Si manteve menor incidência da doença apenas antes do armazenamento. Após quatro dias a 20°C, o metassilicato também manteve melhor eficiência que as demais fontes e o efeito do Si foi mais eficiente durante a vida de prateleira após a colheita do que após armazenamento refrigerado. In vitro foi observado que tanto para silicato quanto metassilicato de sódio, a dose de 0,2% inibiu significativamente a germinação dos esporos de *Monilinia fructicola* (QUIN; TIAN, 2005; YANG et al., 2010, NASCIMENTO, 2014). Semelhantes resultados foram observados no presente trabalho (dados não apresentados), com inibição total a partir da dose de 0,6% independente da fonte de Si, reforçando a capacidade antifúngica dos produtos utilizados.

Tabela 4 – Incidência de podridão parda a campo e pós-colheita em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com diferentes fontes de silício e fungicidas. Santiago, 2014/2015. Experimento III.

Tratamentos no campo	----- Incidência de podridão parda a campo (%) ---			
	Colheita		Após a 3ª colheita	
Água - 6 aplicações	15,7 a		36,4 a	
Fungicida - 6 aplicações	4,06 b		14,2 b	
F + SS + F + SS + F + SS	6,26 b		15,4 b	
F + R + F + R + F + R	7,60 b		18,2 b	
F + MS + F + MS + F + MS	6,14 b		11,0 b	
CV (%)	19,5		13,3	
Tratamentos no campo	-----Incidência de podridão parda pós-colheita (%) -----			
	2 dias 20 °C		4 dias 20 °C	
	Colheita	Após AR*	Colheita	Após AR*
Água - 6 aplicações	40,0 aA**	33,3 aB	60,0 aB	72,8 aA
Fungicida - 6 aplicações	17,0 bA	7,78 dB	30,4 bA	28,2 cA
F + SS + F + SS + F + SS	17,4 bB	23,8 bA	28,2 bB	47,5 bA
F + R + F + R + F + R	13,3 bB	18,2 bA	24,4 bcB	36,0 cA
F + MS + F + MS + F + MS	5,56 cB	13,1 cA	14,8 cB	36,4 cA
CV (%)	10,7		9,54	

F: Fungicidas; SS: Silicato de sódio; R: Rocksil; MS: metassilicato de sódio.\* Armazenamento refrigerado. \*\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (silício) e maiúscula na horizontal (armazenamento), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

### 5.1.3.2 Efeito do Si na maturação dos frutos e em mecanismos de defesa da planta

Com relação aos parâmetros de maturação e qualidade dos frutos, no experimento I, da mesma forma que para a incidência da podridão parda no momento da colheita, o MS teve efeito sobre os sólidos solúveis totais (SST) e a firmeza de polpa quando aplicado aos 17 e três dias antes da colheita (Tabela 5). O conteúdo de polifenóis totais, no momento da colheita, foi maior em todos os tratamentos envolvendo a aplicação do MS.

Tabela 5 – Polifenóis totais, sólidos solúveis totais, acidez titulável e firmeza de polpa na colheita e após 35 dias de armazenamento refrigerado a  $-0,5^{\circ}\text{C}$  mais 4 dias a  $20^{\circ}\text{C}$ , em pêsegos cv. Eldorado tratados com metassilicato de sódio (MS) e fungicidas em pré-colheita. Santiago e Santa Maria, 2013/2014. Experimento I.

Tratamentos a campo	-----Colheita -----					
	Polifenóis totais (mg de ác. gal. $100\text{g}^{-1}$ )			Firmeza (N)		
	MS		Média	MS		Média
Sem	Com	Sem		Com		
Água (A) - 4x*	61,6	72,4	67,0a	43,9 bA	48,4 bA	46,2
Fung. (F) - 4x	28,5	41,7	35,1b	47,6 abA	46,3 bA	47,0
F + F + A + A	35,1	49,2	42,2b	48,7 aA	49,5 bA	49,1
F + A + F + A	53,0	68,5	60,8a	45,8abB	55,6 aA	50,7
Média	44,5B	56,0A		43,9	48,4	
CV (%)	9,22			3,30		
Tratamentos a campo	Sólidos solúveis totais ( $^{\circ}\text{Brix}$ )			Acidez titulável (Meq $100\text{mL}^{-1}$ )		
	MS		Média	MS		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Água (A) - 4x	13,0 aA	12,5aA	12,8	11,2	10,6	10,7a
Fung. (F) - 4x	11,9abA	11,8abA	11,8	9,79	9,65	9,72b
F + F + A + A	11,6bA	12,2abA	11,9	9,54	10,8	10,2ab
F + A + F + A	12,5bA	11,3 bB	11,9	10,4	10,7	10,8a
Média	12,3	12,0		10,2A	10,5A	
CV (%)	3,02			4,72		
----- 35 dias AR mais 4 dias a $20^{\circ}\text{C}$ -----						
Tratamentos a campo	Firmeza de polpa (N)			Acidez titulável (Meq $100\text{mL}^{-1}$ )		
	MS		Média	MS		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Água (A) - 4x	40,0	39,5	39,7 <sup>ns</sup>	8,18	8,40	8,29 a
Fung. (F) - 4x	38,1	35,8	36,9	7,41	7,47	7,44 b
F + F + A + A	33,6	38,6	36,1	7,33	7,23	7,28 b
F + A + F + A	35,4	37,7	36,5	6,97	7,08	7,02 b
Média	36,7	37,9 <sup>ns</sup>		7,47	7,54 <sup>ns</sup>	
CV (%)	11,0			4,96		

\* Número de aplicações em pré-colheita. \*\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de fungicidas) e maiúscula na horizontal (aplicação de metassilicato de sódio), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.



Após o armazenamento refrigerado as variáveis SST (dados não apresentados), acidez titulável (AT) e firmeza de polpa não foram influenciadas pela aplicação de silício (Tabela 5). Esses resultados são indícios de possíveis efeitos do produto na indução dos mecanismos de defesa da planta como, por exemplo, a formação de barreiras físicas para o desenvolvimento do fungo e a produção de compostos antioxidantes como os polifenóis, entretanto a sua aplicação deve ser realizada mais precocemente, principalmente na fase de crescimento dos frutos.

No segundo ano, houve interação significativa entre as aplicações pré-colheita e o período de avaliação (colheita e após AR) para as variáveis textura, firmeza de polpa, AT, SST (Tabela 6). A textura da epiderme foi afetada pela aplicação do SS apenas no momento da colheita, em que seis aplicações do produto resultaram em maior textura, o que poderia resultar em impedimento físico à infecção fúngica. Ao contrário do experimento anterior, não se observou efeito do SS na manutenção da firmeza de polpa, nos conteúdos de SST, AT e polifenóis totais nos frutos. Essas variáveis somente foram influenciadas pelo armazenamento refrigerado em que, após esse período, todos os tratamentos sofreram redução tanto da firmeza quanto dos polifenóis e AT. O mesmo comportamento foi observado para o experimento III, em que não se observou efeito do SS sobre a textura da epiderme, firmeza de polpa, SST, AT e conteúdo de polifenóis totais (dados não apresentados).

A eficácia do Si sobre o controle de doenças em plantas está relacionada à ativação dos mecanismos de defesa nas plantas, por meio da formação de barreiras físicas abaixo da cutícula, aumento das concentrações de fenólicos totais e fitoalexinas e aumento na atividade de enzimas de defesa (KIM et al., 2002; RODRIGUES et al., 2005; POLANCO et al., 2014). No caso para a cultura do pessegueiro, o efeito como barreira física ao fungo *Monilinia fructicola* pode estar relacionado a maior concentração de Si encontrado nas folhas e frutos tratados com o silicato (Tabela 6) e a maior textura da epiderme dos frutos quando submetidos a seis aplicações de Si. Possivelmente os produtos aplicados formaram uma camada externa a superfície da folha e do fruto dificultando a penetração do fungo. Estes resultados estão de acordo com Rodrigues et al. (2010) e Dallagnol et al. (2013) em que verificaram a formação de uma barreira físico-química formada pela deposição do elemento na superfície da cutícula, em decorrência da aplicação foliar de produtos à base de silício.

Tabela 6 – Textura da epiderme, firmeza de polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, teor de polifenóis totais e conteúdo de Si na folha e fruto, na colheita e após 35 dias de armazenamento refrigerado a -0,5°C mais 4 dias a 20°C, em pêssegos cv. Eldorado tratados com Silicato de sódio e fungicidas a campo. Santiago e Santa Maria, 2014/2015. Experimento II.

Tratamentos a campo	Textura da epiderme (N)		Firmeza (N)		
	Colheita	Após AR*	Colheita	Após AR	
Água - 6 aplicações	9,05 bA**	7,29 aB	50,7 aA	39,0 aB	
Silicato de sódio (SS) – 6 aplicações	11,2 aA	7,21 aB	50,5 aA	41,0 aB	
Fungicidas (F) - 6 aplicações	9,07 bA	6,81 aB	48,0 aA	34,6 bB	
Fungicida – 3 aplicações	9,10 bA	7,19 aB	50,5 aA	39,8 aB	
Fungicida e SS (mist) – 3 aplicações	9,11 bA	6,86 aB	49,6 aA	40,8 aB	
SS+ SS+ SS + F + F + F	9,23 bA	7,29 aB	46,6 aA	39,1 aB	
F + F + F + SS + SS + SS	9,67 bA	7,03 aB	48,5 aA	34,1 bB	
SS + F + SS + F + SS + F	8,61 bA	7,81 aB	48,9 aA	39,5 aB	
<b>CV (%)</b>	<b>5,42</b>		<b>4,48</b>		
Tratamentos a campo	Sólidos solúveis totais (°Brix)		Acidez titulável (meq 100 ml <sup>-1</sup> )		
	Colheita	Após AR	Colheita	Após AR	
Água - 6 aplicações	12,0 aA	11,7 aA	13,1 aA	11,2 aB	
Silicato de sódio (SS) – 6 aplicações	12,3 aA	12,0 aA	12,7 aA	9,93 bB	
Fungicidas (F) - 6 aplicações	11,7 aB	12,2 aA	12,1 bA	9,72 bB	
Fungicida – 3 aplicações	11,7 aA	12,0 aA	13,3 aA	11,1 aB	
Fungicida e SS(mist.) – 3 aplicações	12,0 aA	12,2 aA	12,9 aA	9,62 bB	
SS+ SS+ SS + F + F + F	11,8 aB	12,6 aA	13,5 aA	9,55 bB	
F + F + F + SS + SS + SS	11,5 aA	12,0 aA	11,5 cA	9,90 bB	
SS + F + SS + F + SS + F	11,5 aA	11,9 aA	12,5 bA	10,2 bB	
<b>CV (%)</b>	<b>2,98</b>		<b>4,81</b>		
Tratamentos a campo	Polifenóis totais (mg de ác. gálico 100 g <sup>-1***</sup> )			Conteúdo de Si (g kg <sup>-1</sup> )	
	Colheita	Após AR	Média	Folha	Fruto
Água - 6 aplicações	196,9	162,4	179,7 <sup>ns</sup>	2,91 c	1,48 b
Silicato de sódio (SS) – 6 aplicações	205,2	118,7	162,0	4,89 a	2,78 a
Fungicidas (F) - 6 aplicações	201,5	106,0	153,8	3,05 c	1,40 b
Fungicida – 3 aplicações	168,7	105,8	137,2	3,03 c	1,57 b
Fungicida e SS (mist) – 3 aplicações	180,2	101,3	140,8	3,52 b	2,51 a
SS+ SS+ SS + F + F + F	190,5	122,0	156,3	3,59 b	2,59 a
F + F + F + SS + SS + SS	187,4	129,7	158,6	3,01 c	2,35 a
SS + F + SS + F + SS + F	190,3	114,2	152,3	3,48 b	2,51 a
Média	190,1 A	120,0 B		3,54	2,15
<b>CV (%)</b>	<b>11,7</b>			<b>12,6</b>	<b>17,3</b>

\* Armazenamento Refrigerado\*\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de silício) e maiúscula na horizontal (época de avaliação), diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.\*\*\* mg de ácido Gálico 100 g<sup>-1</sup> de casca.

Os resultados do presente trabalho são promissores quanto à utilização do silício para o controle da podridão parda, entretanto os mecanismos pelo qual ele age na planta ainda não estão claros. Até o momento observou-se claramente o efeito fungicida dos produtos avaliados e o incremento do elemento nas folhas e frutos, entretanto o efeito sobre o conteúdo de polifenóis totais ainda não é claro, pois aumento na concentração dos fenóis em decorrência da aplicação do Si foi verificado somente no primeiro ano de trabalho. Além disso, existem inúmeros mecanismos bioquímicos de defesa das plantas que são mediados pelo Si, como por exemplo, a produção de polifenóis, fitoalexinas e enzimas relacionadas à defesa, como peroxidase, polifenoxidase e quitinases (DANN; MUIR, 2002; BI et al., 2006; GUO et al. 2007; LI et al., 2012; RAHMAN et al., 2015). Diante do exposto, é importante seguir as pesquisas com o intuito de esclarecer os mecanismos pelo qual o Si age garantindo a eficácia no controle da podridão parda do pessegueiro.

#### 5.1.4 Conclusões

Aplicações foliares de MS e SS são eficientes no controle pré e pós-colheita da podridão parda do pessegueiro, sendo que seis aplicações de silicato de sódio podem ter o mesmo efeito que seis de fungicidas.

O uso de MS e SS permite a redução de três pulverizações de fungicidas, independente da época de aplicação, reduzindo os riscos de contaminação dos frutos com fungicidas.

Não há diferença entre as fontes de silício avaliadas, no controle da podridão parda.

Aplicações foliares de silicato de sódio resultam em maior conteúdo de silício nas folhas e frutos e maior textura da epiderme no momento da colheita.

O Si pode ser uma alternativa para a produção orgânica do pessegueiro, com satisfatório controle da doença.

#### 5.1.5 Referências Bibliográficas

ALVES, E. de O. et al. Armazenamento refrigerado de ameixas 'Laetitia' com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. **Ciência Rural**, v.40, n.9, p.30-36, 2009.

ANDROCIOLI, H. G. et al. Controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com produtos alternativos. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. VI., 2009. Espírito Santo. **Anais eletrônicos...** Vitória: EMBRAPA, 2009. Disponível em: <<http://www.consorcioesquisacafe.com.br/index.php/consorcio/separador2/simposio-de->

pesquisa-dos-cafes-do-brasil/547-anais-do-vi-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil>. Acesso em: 21 de outubro de 2015.

ARAÚJO, I. B.; PERUCH, L. A.M.; STADNIK, M. J. Efeito do extrato de alga e da argila silicatada na severidade da alternariose e na produtividade da cebolinha comum (*Allium fistulosum* L.). **Tropical Plant Pathology**, v.37, n.5, 2012.

ARSENAULT-LABRECQUE, G.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of silicon absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars. **Plant Disease**, v.96, n.1, p.37-42, 2012.

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**, v.93, n.4, p.402–412, 2003.

Bi, Y. et al. Sodium silicate reduces postharvest decay on Hami melons: induced resistance and fungistatic effects. **Plant Disease**, v.90, n.3, p.279–283, 2006.

BIGGS, A. R. et al. Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. **Plant Disease**, v.81, n.4, p.399-403, 1997.

BUCK, G. B. et al. Potassium silicate as Foliar Spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n.2, p.231–237, 2008.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A; BELANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium spp.* **Phytopathology**, v.84, n.2, p.236–242, 1994.

CRUZ, M. F. A. et al. Aspectos microscópicos da interação feijoeiro *Colletotrichum lindemuthianum* mediados pelo Silício. **Bragantia**, v.73, n.3, p.284-291, 2014.

CRUZ, M. F. A. et al. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.142-145, 2012.

DALLAGNOL, L.J. et al. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, v.61, 323-330, 2012.

DALLAGNOL, L.J. et al. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**, v.62, p.120–129, 2013.

DALLAGNOL, L.J. et al. Comparison of root versus foliar applied potassium silicate in potentiating post infection defences of melon against powdery mildew. **Plant Pathology**, v64, n. 5, p. 1085-1093, 2015.

DANN, E.K.; MUIR, S. Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and beta-1,3-glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. **Australasian Plant Pathology**, v. 31, n.1, p. 9–13, 2002.

DUARTE, H. da S.S. et al. Efeito do silicato de potássio isoladamente ou em mistura com fungicida no controle da requeima da batateira. **Summa Phytopathologica**, v.34, n.1, p.68-70, 2008.

EMERY, K. M.; SCHERM, H.; SVELLE, A. T. Assessment of interactions between components of fungicide mixtures against *Monilinia fructicola*. **Crop Protection**, v.21, n.1, p.41-47, 2002.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Rev. Plant Physiology Plant Molecular Biology**. v.50, p.641-644, 1999.

FAWE, A. et al. **Silicon and disease resistance in dicotyledons**. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖFER, G. H. E (eds) Silicon in agriculture. Elsevier, Amsterdam, p.159–170, 2001.

GOMES, E. C. de S. et al. Respostas de defesa de videira ‘Isabel’ (*Vitis labrusca* L.) no manejo de *Plasmopara viticola*. In: Congresso Norte –Nordeste de Pesquisa e Inovação. V., 2010, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: IFAL, 2010. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2015.

GOMES, E. C.; SERRA, I. M. R. S. Efficiency of natural products in controlling *Colletotrichum gloeosporioides* in postharvest pepper fruits. **Summa Phytopathologica**, v.39, n.4, p.290-292, 2013.

GUERRA, A. M. N. de M. et al. Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializada pelo silício. **Bragantia**, v.72, n. 3, p.292-303, 2013.

GUO, Y. et al. Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling *Trichothecium roseum* postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v.42, n.8, p.1012–1018, 2007.

HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, v.98, n.9, p.1038-1044. 2008.

KABLAN, L. et al. Silicon reduces black sigatoka development in banana. **Plant Disease**, v. 96, n.2, p.273-278, 2012.

KIM, S. G., et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves, a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, v.92, n.10, p.1095-1103, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PERREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (Boletim técnico, v.2). Uberlândia: UFLA, 2004. 50f.

LARENA, I. et al. Biological control of postharvest brown rot (*Monilinia* spp.) of peaches by field applications of *Epicoecum nigrum*. **Biological Control**, v.32, n.2, p.305–310, 2005.

LI, W. et al. Effects of postharvest sodium silicate treatment on pink rot disease and oxidative stress-antioxidative system in muskmelon fruit. **European Food Research and Technology**, v.234, n.1, p.137–145, 2012.

LI, Y. C. et al. Antifungal activity of sodium silicate on *Fusarium sulphureum* and its effect on dry rot of potato tubers. **Journal Food Science**, v.74, n.5, p.213–218, 2009.

MA, J. F. Silicon and sodium. **Encyclopedia Soil Science**, v.1, p.1568–1573, 2006.

MAY DE MIO L. L.; GARRIDO L.; UENO, B. **Doenças de fruteiras de caroço**. In: MONTEIRO, et al. Fruteiras de caroço: uma visão ecológica. Curitiba PR. Universidade Federal do Paraná. p.169-221. 2004.

MENZIES, J. G.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L. Foliar application of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon and zucchini squash. **Jounal American Society for Horticultural Science**, v.117, n.6, p.902–905, 1992.

MOHAGHEGH, P. et al. Effect of silicon nutrition on oxidative stress induced by *Phytophthora melonis* infection in cucumber. **Plant Disease**, v.95, n.4, p.455-460, 2011.

MOREIRA, L. M.; MAY-DE MIO, L. M. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n.2, p.405-411, 2009.

NASCIMENTO, F.V.; BENDER, R.J.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M. UV-C effect and alternative treatments for postharvest control of brown rot in peaches. **Acta Hort**. v. 1053, p. 265-272, 2014.

NING, D., et al. Effects of slag-based silicon fertilizer on rice growth and brown spot resistance. **PLoS One**, v.9, e102681, 2014.

PAVANELLO, E. P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.1, p.67-76, 2015.

POLANCO, L. R. et al. Management of anthracnose in common bean by foliar sprays of potassium silicate, sodium molybdate, and fungicide. **Plant Disease**, v.98, n.1, p.84-89, 2014.

QIN, G. Z.; TIAN, S. P. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. **Phytopathology**, v.95, n.1, p.69–75, 2005.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopatology**, v.105, n.6, p.748-757, 2015.

RÉMUS, B. W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGERA, R. R. Aconitate and methyl aconitate are modulated by silicon in powdery mildew – infected wheat plants. **Journal Plant Physiology**, v.166, n.13, p.1413–1422, 2009.

RODRIGUES, F. A. et al. Effect of rice growth stages and silicon on sheath blight development. **Phytopathology**, v.93, n.3, p.256– 261, 2003.

RODRIGUES, F. A. et al. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v.94, n.2, p.177–183, 2004.

RODRIGUES, F. A., et al. Silicon influences cytological and molecular events in compatible rice-*Magnaporthe grisea* interaction. **Physiology Molecular Plant Pathology**, v.66, n.4, p.144-159, 2005.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. **Silicon and Plant Diseases**, Springer International Publishing. 2015.

SILVA, W.L. da, et al. Histochemical aspects of wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Scientia Agricola**, v.72, p.322-327, 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, n.3, p.144-158, 1965.

VILLARINO, M. et al. Secondary inoculum dynamics of *Monilinia* spp. and relationship to the incidence of postharvest brown rot in peaches and the weather conditions during the growing season. **European Journal of Plant Pathology**, v.133, n.3, p.585–598, 2012.

YANG, L. et al. Synergistic effect of oligochitosan and silicon on inhibition of *Monilinia fructicola* infections. **Journal Science Food Agriculture**, v.90, n.4, p. 630–634, 2010.





## 6 ARTIGO 4

### 6.1 SILÍCIO E FUNGICIDAS NO MANEJO DE DOENÇAS PÓS-COLHEITA E NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE PÊSSEGOS

#### Resumo

A podridão parda é a principal doença da cultura do pessegueiro, com danos significativos, principalmente em pós-colheita. Com o intuito de reduzir estas perdas com o mínimo de impacto ambiental, técnicas envolvendo indutores abióticos de resistência por meio de produtos alternativos são importantes estratégias para o controle da doença. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial do silício aplicado em pré e pós-colheita no controle da podridão parda e na manutenção da qualidade dos pêssegos. Para isso foram conduzidos dois experimentos, em anos consecutivos, envolvendo aplicações de fungicidas e Si no campo e em pós-colheita, visando avaliar sua eficiência e esclarecer a melhor época de aplicação do produto. As avaliações foram realizadas após o armazenamento refrigerado dos frutos, sendo as seguintes variáveis determinadas: incidência de *Monilinia fructicola*, *Penicillium sp.* e *Rhizopus stolonifer*, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), firmeza de polpa, textura da epiderme e conteúdo de polifenóis totais. Verificou-se que a aplicação pós-colheita de metassilicato de sódio reduz a incidência da podridão parda do pessegueiro após o armazenamento refrigerado, entretanto o molhamento dos frutos com a aplicação do metassilicato antes da exposição ao frio aumenta a incidência de manchas na epiderme. O metassilicato de sódio aplicado em pós-colheita não afeta os parâmetros de maturação dos frutos e não aumenta o conteúdo de polifenóis totais. Aplicações foliares de silicato de sódio, intercaladas a de fungicidas são eficazes no controle da podridão parda após o armazenamento refrigerado, sem depreciar a qualidade dos frutos, enquanto que a aplicação pós-colheita reduz a incidência da doença, mas aumenta a severidade de manchas na epiderme.

**Palavras – chave:** *Monilinia fructicola*. Escurecimento da epiderme. Polifenóis totais. Qualidade.

## Abstract

### **Silicon and fungicides in management of postharvest disease and peaches quality maintenance**

Brown rot is the main peach crop disease, leading to significant losses, especially in postharvest. In order to reduce losses with the least environmental impact, techniques involving abiotic resistance inductors, by alternative products, are important strategies to control the disease. The aim of this study was to evaluate the potential of pre and postharvest silicon (Si) application in the brown rot control and quality maintenance of peaches. For this, two experiments were conducted in consecutive years, involving fungicides and silicon application in the field and postharvest, to evaluate their efficiency and elucidate the best product application time. Evaluations were carried out after cold storage, with the following variables: incidence of *Monilinia fructicola*, *Penicillium* sp. and *Rhizopus stolonifer*, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), firmness, epidermal texture, skin darkening and total polyphenol content. It was verified that the postharvest sodium metasilicate application reduces the brown rot incidence after cold storage, however, the fruit wetness with the metasilicate bath before exposition to cold storage, increases the incidence of skin browning. Sodium metasilicate applied in postharvest does not affect the fruit maturation parameters and total polyphenols content. Foliar spraying of sodium silicate or sodium metasilicate intercalated with fungicides are effective in the brown rot control after cold storage, without depreciating the fruit quality, while the postharvest application reduces the incidence of the disease, but increases the severity of dark spots in the epidermis.

**Key words:** *Monilinia fructicola*. Skin browning. Total polyphenols. Quality.

#### **6.1.1 Introdução**

A podridão parda, causada pelo fungo *Monilinia fructicola* (G. Winter) Honey, é a doença de maior ocorrência e severidade na cultura do pessegueiro, causando relevantes danos na produção, apesar das práticas de profilaxia e uso de produtos químicos, tanto em pré quanto em pós-colheita. O fungo ataca flores e frutos no pomar, ficando na forma de infecção latente nos frutos, manifestando-se na colheita ou pós-colheita, principalmente após o armazenamento

(LARENA et al., 2005; VILLARINO et al., 2012). Para o controle da doença é fundamental reduzir o inóculo no campo evitando, assim, a sua manifestação durante o armazenamento e comercialização. Na Espanha, Larena et al., (2005) observaram que os danos podem chegar a 59% em pós-colheita, enquanto que no Brasil, Sestari et al., (2008) verificaram danos de 80% da colheita até a comercialização. Pavanello et al., (2015a) observaram danos de 50% dos frutos após 40 dias de armazenamento refrigerado mais 6 dias de exposição a 20 °C.

Além do manejo da doença no campo, o controle durante a fase de pós-colheita é primordial para minimizar os danos, entretanto, mostra-se bastante limitado no Brasil, em que não há registro de fungicidas sintéticos para essa fase, ao contrário do observado nos Estados Unidos da América (EUA) e no Chile (AGROFIT, 2015; CAES, 2015). Em alternativa ao controle com fungicidas sintéticos em pós-colheita ou como forma complementar para o controle da podridão parda, estuda-se a utilização de produtos alternativos, com baixo ou nenhum impacto a saúde e meio ambiente. Atualmente, tratamentos com fungicidas sintéticos é o principal método para o controle da doença, mas com a crescente preocupação do público consumidor sobre o impacto desses produtos ao meio ambiente e a saúde humana, surge o interesse em explorar novas alternativas para o manejo da doença. Dessa forma, encontrar alternativas que minimizem o número de aplicações de fungicidas, ou a substituição por produtos alternativos poderiam resultar em menor risco de seleção de populações do patógeno resistentes, menor custo e menor impacto da agricultura sobre o meio ambiente e a saúde humana (ELMER; REGLINSKI, 2006; MARI et al., 2010).

Nesse sentido, pesquisas envolvendo a utilização de produtos à base de silício (Si) para o controle de doenças estão em evidência. O Si é eficaz na redução da intensidade de doenças em várias culturas economicamente importantes, como a cevada, milho, pepino, uva, arroz, sorgo, soja (DATNOFF et al., 2007), trigo (GUEVEL et al., 2007; DOMICIANO et al., 2010), tomate (DANNON; WYDRA, 2004), melão (DALLAGNOL et al., 2012) e feijão (POLANCO et al., 2012). Em pós-colheita sua eficácia já foi reportada para cereja (QIN; TIAN, 2005), melão (BI et al., 2006), batata (LI et al., 2009) e pêssegos (BIGGS et al., 1997; NASCIMENTO et al., 2014). A eficácia do Si sobre o controle de doenças em plantas está a sua capacidade fungistática, com a inibição do crescimento fúngico (QIN; TIAN et al., 2005; LIU et al. 2010; YANG et al. 2010), à ativação do estado de *'priming'* da planta a qual ativará com maior rapidez e intensidade os mecanismos de defesa das plantas, com o aumento da concentração de compostos fenólicos, lignina e fitoalexinas, bem como à maior atividade de enzimas de defesa e antioxidantes (GUERRA et al., 2013; HAYASAKA et al., 2008; DALLAGNOL et al. 2015; RAHMAN et al., 2015; SILVA et al., 2015) e a deposição de sílica amorfa abaixo da cutícula

e na parede celular como mecanismo de defesa que impede ou atrasa a penetração do patógeno (NING et al., 2014; RODRIGUES, et al. 2015).

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da aplicação pré e pós-colheita do silício para o controle da podridão parda após o armazenamento refrigerado dos frutos, bem como a sua interação quando aplicado em pré-colheita em associação com fungicidas sintéticos.

## **6.1.2 Material e métodos**

### *6.1.2.1 Descrição da área experimental*

Os experimentos foram realizados em dois anos consecutivos, em um pomar comercial de pessegueiro, no município de Santiago, Rio Grande do Sul, altitude de 409 m, latitude 29°11'30" sul e longitude 54°52'02" oeste e no Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria. A cultivar utilizada foi 'Eldorado', com espaçamentos de 1,5m entre plantas e 5m entre linhas e sistema de condução em Y. As práticas culturais anteriores à instalação dos experimentos constituíram-se de adubação, controle fitossanitário, poda e raleio de frutos de acordo com o manejo do produtor. O manejo fitossanitário iniciou com a eliminação dos frutos mumificados no período de repouso e seguiu com tratamentos com fungicidas a partir da floração. Os produtos utilizados foram mancozebe (200 g 100 L<sup>-1</sup>) e captan (240 g 100L<sup>-1</sup>) na plena florada para os experimentos I e II, iprodione (150 mL 100 L<sup>-1</sup>) e tebuconazol (100 mL 100 L<sup>-1</sup>) desde o estágio de queda das pétalas até 24 dias antes da colheita no experimento I.

### *6.1.2.2 Condução do experimento I*

O primeiro experimento foi realizado em 2013, com o objetivo de avaliar a eficácia do metassilicato de sódio (MS) durante a fase de pré e pós-colheita, bem como a sua interação quando aplicado em associação com fungicidas. As aplicações foram feitas 24 dias antes da colheita (DAC) (28/11/2013), 17 DAC (05/12/2013), 10 DAC (12/12/2013) e 3 DAC (19/12/2013), sendo os seguintes tratamentos avaliados: [1] quatro aplicações de água (testemunha); [2] duas aplicações de água mais duas de MS (10 e 3 DAC); [3] quatro aplicações de fungicidas; [4] quatro aplicações de fungicidas mais duas de MS (10 e 3 DAC); [5] duas aplicações de fungicidas mais duas de água; [6] duas aplicações de fungicidas mais duas de MS (10 e 3 DAC); [7] duas aplicações de água intercaladas com duas aplicações de fungicidas; [8]

duas aplicações de MS (17 e 3 DAC) intercaladas com duas de fungicidas. A fonte de Si utilizada foi o metassilicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)$ ) na dose de  $7 \text{ g L}^{-1}$ , conforme determinado em experimento anterior (dados não publicados) e os fungicidas iminocadine, tebuconazol e iprodiona, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos aplicados em pré-colheita no experimento I (2013/2014) e experimento II (2014/2015).

Tratamentos	Época de aplicação					
	-----Experimento I-----					
	24 DAC*	17 DAC	10 DAC	3 DAC		
T1	Água	Água	Água	Água		
T2	Água	Água	Água + Metassilicato de sódio (MS)	Água + MS		
T3	Iminocadina (Bellkute™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )	Iminocadina (Bellkute™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )	Tebuconazol (Folicur™) (100 mL 100L <sup>-1</sup> )	Iprodione (Rovral™) (150 mL 100L <sup>-1</sup> )		
T4	Iminocadina	Iminocadina	Tebuconazol + MS	Iprodione + MS		
T5	Iminocadina	Tebuconazol	Água	Água		
T6	Iminocadina	Tebuconazol	Água +MS	Água +MS		
T7	Iminocadina	Água	Tebuconazol	Água		
T8	Iminocadina	Água + MS	Tebuconazol	Água +MS		
	-----Experimento II-----					
	RALEIO	30 DAR**	24 DAC*	17 DAC	10DAC	3 DAC
T1	SS (Silicato de sódio)	SS	SS	SS	SS	SS
T2	Procimidone (Sumilex™)	Iminocadine (Bellkute™)	Tebuconazol (Folicur™)	Iminocadine (Bellkute™)	Tebuconazol (Folicur™)	Iprodione (Rovral™)
T3	Iminocadine	--	Tebuconazol	--	Iprodione	--
T4	Iminocadine	SS	Tebuconazol	SS	Iprodione	SS

\* Dias antes da colheita. \*\* Dias após o raleio

As aplicações foram realizadas com atomizador costal (Jacto, bico cônico) de 13 L seguindo as doses recomendadas para cada ingrediente ativo e adequando-as para um volume de calda de  $1000 \text{ L ha}^{-1}$ . Utilizou-se o espalhante adesivo Fixade na concentração de 0,1% v/v.

Após a colheita os frutos foram transportados para o laboratório, onde em um lote de frutos de cada tratamento foi aplicado o metassilicato de sódio (MS) enquanto em outro apenas água. A aplicação do MS foi feita por aspersão na dose de 1%, de acordo com os testes preliminares e resultados obtidos por Nascimento et al. (2014). Na sequência, os frutos foram armazenados à temperatura de  $-0,5 \text{ °C}$  e UR 96% por 35 dias para posterior avaliação. A temperatura da câmara foi controlada por meio de termostatos eletrônicos e acompanhada

diariamente por meio de um termômetro com bulbo de mercúrio com precisão de 0,2 °C, inserido na polpa de um fruto e a UR monitorada por um psicrômetro e, quando necessário, o ambiente era umedecido para manter a umidade em 96%.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e 16 tratamentos, em um esquema trifatorial 4x2x2 (aplicações de fungicidas x aplicação de silício pré-colheita x aplicação de Si pós-colheita). No campo, cada unidade experimental foi composta por oito plantas das quais duas corresponderam à bordadura. Após a colheita cada unidade experimental foi composta por 25 frutos.

### 6.1.2.3 *Condução do experimento II*

O segundo experimento foi realizado no ano de 2014, com atomizações de fungicidas e silicato de sódio (SS) desde o período do raleio até a pré-colheita combinado com MS em pós-colheita, com o objetivo de verificar se há necessidade de aplicações pré e pós-colheita do Si e se o seu efeito é potencializado quando ocorre a redução no número de aplicações de fungicidas. As aplicações foram na época do raleio dos frutos (07/10/2014), 30 dias após o raleio (DAR) (04/11/2014), 24 DAC (22/11/2014), 17 DAC (29/12/2014), 10 DAC (05/12/2014) e 3 DAC (12/12/2014), sendo os seguintes tratamentos avaliados: [1] seis aplicações de SS; [2] seis aplicações de fungicidas; [3] três aplicações de fungicidas (Raleio, 17 e 3 DAC); três aplicações de SS (30 DAR, 17 DAC e 3 DAC) intercaladas com três aplicações de fungicidas (raleio, 24 DAC e 10 DAC). Em pré-colheita, a fonte de Si foi o silicato de sódio neutro  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_3$  na dose de 6 g L<sup>-1</sup> de água e os fungicidas procimidona, iminoctadine, tebuconazol e iprodiona, conforme tabela 1. As aplicações pré e pós-colheita foram realizadas conforme o experimento I, com exceção da dose de metassilicato de sódio em pós-colheita que foi de 0,6%. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições e oito tratamentos, em um esquema fatorial 4x2 (tratamento pré-colheita x aplicação pós-colheita de Si). No campo, cada unidade experimental foi composta por oito plantas das quais duas corresponderam à bordadura. Após a colheita cada unidade experimental foi composta por 25 frutos. As condições meteorológicas no período dos experimentos podem ser vistas na figura 1.

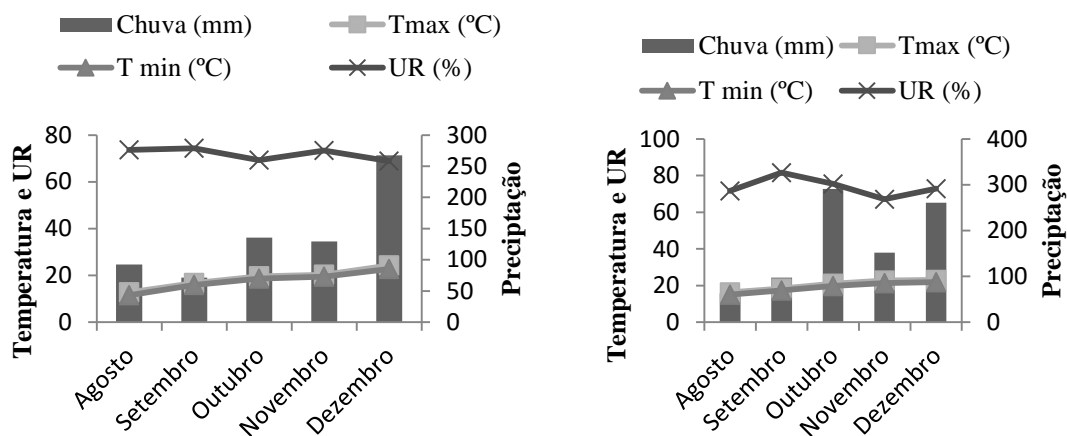


Figura 1 – Precipitação pluviométrica, umidade relativa e temperatura observadas na estação meteorológica de Santiago, RS, durante o ciclo produtivo do pessegueiro cv. Eldorado, nos anos de 2013 (A) e 2014 (B).

#### 6.1.2.4 Avaliações pós-colheita

Após o armazenamento refrigerado os frutos foram expostos à temperatura de 20 °C por quatro dias para simular o período de vida de prateleira e os seguintes parâmetros avaliados:

**a) Incidência de podridão parda (*Monilinia fructicola*):** O monitoramento da incidência da doença em pós-colheita foi realizado pela contagem dos frutos que apresentaram lesões características da infecção pelo fungo e os resultados expressos em percentagem de frutos sintomáticos na saída do armazenamento, aos dois e quatro dias de exposição dos frutos a 20 °C. **b) Incidência de *Penicillium* sp. e *Rhizopus stolonifer*:** determinada pela contagem dos frutos que apresentaram lesões características da infecção pelo fungo e os resultados expressos em percentagem de frutos com lesões na epiderme dos frutos aos quatro dias de exposição dos frutos a 20 °C. **c) Frutos sadios:** avaliado pela contagem dos frutos sem qualquer tipo de lesão decorrente de patógenos e os resultados expressos em percentagem de frutos sadios. **d) Teor de sólidos solúveis totais (SST):** obtido por refratometria a partir do suco dos frutos e os resultados expressos em °Brix. **e) Acidez titulável (AT):** determinada por titulação com NaOH 0,1 N de uma solução contendo 10 mL de suco diluídos em 100 mL de água destilada, até atingir pH 8,1 e expresso em meq 100 mL<sup>-1</sup>. **f) Polifenóis totais:** determinado pelo método colorimétrico (SINGLETON; ROSSI JUNIOR, 1965). Em tubo de ensaio, adicionaram-se 200 µL de amostra diluída (1:10) em solução etanol/ácido clorídrico/água, na proporção de 70/1/30 (V/V/V), 1.000 µL de reagente de Folin-Ciocalteu, diluído (1:10) em água destilada e deionizada. Entre 3 e 8 minutos adicionaram-se 800 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7,5%. Após duas horas ao abrigo da luz, foi lida a absorbância a 765 nm em espectrofotômetro da marca

FEMTO, modelo 600S (mono feixe). Para a curva de calibração foi utilizada como padrão uma solução de ácido gálico nas concentrações: 15, 30, 45, 60, 75 e 90 mg L<sup>-1</sup>. A concentração de polifenóis totais foi expresso em mg de ácido gálico em 100 g<sup>-1</sup> de casca. **g) Firmeza da polpa:** avaliada em dois lados opostos na região equatorial dos frutos, onde previamente foi retirada parte da epiderme. Para a determinação foi utilizado um penetrômetro manual com ponteira de 7,9 mm, sendo os valores expressos em Newton (N). **h) Textura da epiderme:** A textura foi analisada com um texturômetro eletrônico TAXT-plus ® (Stable Micro Systems Ltd. Reino Unido), em termos de força necessária para o rompimento da epiderme. Foi utilizada ponteira modelo PS2, com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 5 mm, com velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 2, 10 e 2 mm s<sup>-1</sup>, respectivamente, conforme metodologia de Alves et al., (2009), com modificações e expressa em Newton (N). **i) Índice de escurecimento da epiderme:** expresso por um índice, calculado pela frequência de ocorrência vezes o nível observado. Foi considerado nível 0 = fruto sem escurecimento, nível 1 = com menos de 10% da epiderme escurecida, nível 2 = com 10-30% de escurecimento na epiderme e nível 3 = com mais de 30% de escurecimento.

#### 6.1.2.5 Análise estatística

Os dados, antes da análise de variância (ANOVA), foram submetidos ao teste de normalidade dos erros, pelo teste de Lilliefors e os parâmetros que não apresentavam normalidade dos erros foram transformados pela fórmula  $\text{arc.sen}\sqrt{x/100}$  para serem submetidos com os demais à análise de variância. As médias foram comparadas pelo de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. Para isso, foram utilizados os softwares Sisvar (UFLA, versão 5.3) e Action pelo Excel.

### 6.1.3 Resultados e discussão

#### 6.1.3.1 Efeito do Si na incidência de podridões

No experimento I houve interação tripla significativa para a incidência de podridão parda na saída dos frutos do armazenamento e aos dois dias de exposição a 20 °C (Tabela 2). Tanto na saída quanto aos dois dias, o efeito positivo do MS somente foi verificado quando associado a aplicações de fungicidas. Aos dois dias, quando comparado com frutos com a aplicação de MS em pré-colheita, a combinação pré e pós-colheita de MS, reduziu



significativamente a incidência de podridão parda nos tratamentos em que houve redução do número de aplicações de fungicidas. Aos quatro dias de exposição a 20°C houve interação significativa entre a aplicação pré-colheita de MS e a época de aplicação de fungicidas e entre a aplicação pós-colheita de MS e épocas de aplicação de fungicidas (Tabela 2). Tanto a utilização do MS em pré ou em pós-colheita foi eficiente na redução da incidência da podridão parda nos tratamentos em que houve redução do número de aplicações de fungicidas.

No experimento II observou-se interação significativa entre a aplicação pré e pós-colheita de SS para a incidência de podridão parda na saída da câmara, aos dois e quatro dias de exposição dos frutos a 20 °C (Tabela 2). Na saída da câmara os tratamentos com aplicações de silicato de sódio (SS) intercaladas com fungicidas no campo, seguido da aplicação pós-colheita de MS e o tratamento com seis aplicações de fungicida sem MS em pós-colheita não apresentaram incidência de podridão parda. Aos dois e quatro dias a 20°C, a aplicação pós-colheita de MS foi eficaz no controle da podridão parda nos frutos dos tratamentos com seis aplicações de SS, três aplicações de fungicida e no tratamento intercalando fungicida e SS.

Não se observou efeito da aplicação pós-colheita de MS nos frutos tratados com seis aplicações de fungicida. Até dois dias de exposição dos frutos a 20 °C, o tratamento com seis aplicações de SS a campo seguido da aplicação de MS em pós-colheita controlou satisfatoriamente a podridão parda, porém aos quatro dias a 20°C chegou a 41,3% de incidência. Aos quatro dias a 20°C o tratamento com seis aplicações de fungicida e o com fungicida intercalado com SS, mais aplicações pós-colheita de MS foram eficientes no controle da podridão parda, com 19,5 e 26,3% de incidência, respectivamente.

Tabela 2 – Incidência de *Monilinia fructicola* e de frutos sadios em pêsegos ‘Eldorado’ tratados com Si em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).

Tratamentos pré e pós-colheita		..... Experimento I .....									
		<i>Monilinia fructicola</i> (%)				<i>Monilinia fructicola</i> (%)					
		Saída do armazenamento				2 dias 20 °C					
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4		
S/MS pré	S/MS** pós	27,5 aA*	17,5 aAB	8,75 aB	11,2 aB	52,5 aA	22,5 aB	18,7 aB	25,0 aB		
	C/MS pós	18,7 aA	5,10 bB	5,00 aB	11,2 aAB	50,0 aA	11,1 bB	15,0 aB	11,2 bB		
C/MS pré	S/MS pós	30,8 bA	5,10 aB	8,75 aB	5,00 aB	72,1 aA	10,1 aC	17,5 aB	13,7 a BC		
	C/MS pós	50,0 aA	6,25 aB	2,50 bB	2,50 aB	76,2 aA	11,2 aB	10,0 bB	7,63 bB		
S/MS pós	S/MS pré	27,5 a	17,5 a	8,75 a	11,2 a	52,5 b	22,4 a	18,7 a	25,0 a		
	C/MS pré	30,8 a	5,10 b	8,75 a	5,00 a	72,1 a	10,1 b	17,5 a	13,7 b		
C/MS pós	S/MS pré	18,7 b	5,10 a	5,00 a	11,2 a	50,0 b	11,1 a	15,0 a	11,2 a		
	C/MS pré	50,0 a	6,25 a	2,50 a	2,50 b	76,2 a	11,2 a	10,0 a	7,63 a		
Cv (%)		31,4				10,4					
		<i>Monilinia fructicola</i> (%)					Frutos sadios (%)				
		4 dias 20 °C					4 dias 20 °C				
		T1	T2	T3	T4	Média	T1	T2	T3	T4	Média
S/MS pré		85,6 bA	25,3aC	43,7 aB	41,2 aB	49	8,75 aB	15,7 bAB	21,8 bA	23,1 bA	17,4
C/MS pré		97,4 aA	26,1 aB	23,7 bB	22,7 bB	42,6	1,31 bC	36,6 aB	53,1 aA	53,6 aA	36,2
Média		91,5	25,9	33,7	33		5,03	26,2	37,5	38,4	
S/MS pós		88,7 bA	27,0 aC	41,9 aB	44,4 aB	50,5	6,31 aB	36,0 aA	36,9 aA	38,1 aA	29,3
C/MS pós		94,4 aA	24,9 aB	25,6 bB	19,6 bB	41,2	3,75 aC	16,4 bB	38,1 aA	38,6 aA	24,2
Média		91,5	25,9	33,7	33		5,03	26,2	37,5	38,4	
Cv (%)		10,1					8,81				
Tratamentos pré-colheita		..... Experimento II .....									
		<i>Monilinia fructicola</i> (%)									
		Saída da câmara			2 dias 20°C			4 dias 20°C			
		MS pós-colheita			MS pós-colheita			MS pós-colheita			
		Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	Sem	Com	Média	
SS - 6 aplic.		1,25 bB	3,75 aA	2,5	28,8 aA	12,5 aB	20,6	86,3 aA	41,3 aB	63,8	
Fung. - 6 aplic.		0,00 bB	4,95 aA	2,48	2,38 cA	6,25 abA	4,32	16,0 dA	19,5 bA	17,9	
Fung. - 3 aplic.		1,25 bA	2,50 aA	1,88	32,6 aA	10,0 aB	21,3	56,9 bA	42,8 aB	49,8	
F+S+F+S+F+S***		4,71 aA	0,00 bB	2,36	16,7 bA	2,50 bB	9,6	35,8 cA	26,3 bB	31,1	
Média		1,8	2,8		20,1	7,81		48,8	32,5		
Cv (%)		64,2			20,8			7,98			

Tratamentos pré colheita (experimento I): **T1** – quatro aplicações de água; **T2** – quatro aplicações de fungicidas (24; 17; 10 e 3 DAC); **T3** – duas aplicações de fungicidas (24 e 17 DAC); **T4** – duas aplicações de fungicida (24 e 10 DAC). \* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de Si) e

maiúscula na horizontal (aplicação de fungicidas), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* MS: Metassilicato de sódio. \*\*\* F: fungicida, SS: silicato de sódio.

Em geral, independente da época e número de aplicações do Si, observou-se sua eficácia sobre a *Monilinia fructicola*, principalmente quando aplicado intercalado com fungicidas, substituindo de duas a três aplicações do mesmo. Conforme resultados, o efeito do MS, quando aplicado em pós-colheita, aumenta em situações em que ocorre redução do uso de fungicidas no pomar, sendo uma importante estratégia para anos em que o manejo fitossanitário é reduzido. Provavelmente essa eficácia do Si está relacionada à sua capacidade antifúngica, inibindo a germinação dos esporos e reduzindo o crescimento micelial. Yang et al. (2010) verificaram que a combinação de silicato de sódio com oligoquitosana reduziu significativamente a incidência de *Monilinia* em maçã, após 96 horas da inoculação. Esses autores também observaram o efeito do silicato de sódio na redução da lesão até 72 horas após a inoculação. A eficácia do metassilicato de sódio para o controle do fungo *Monilinia fructicola* em pós-colheita, bem como o seu potencial antifúngico, também foi comprovada em cerejas por Qin e Tian (2005) e em pêssegos por Nascimento et al. (2014).

Para a incidência dos fungos *Penicillium* e *Rhizopus* houve interação tripla significativa para o experimento I (Tabela 3). Comparando a aplicação de fungicidas com a utilização ou não de MS, frutos submetidos a aplicações de fungicida em pré-colheita apresentaram maior incidência desses fungos em relação à testemunha. Entretanto, comparando à aplicação pré e pós-colheita de MS, observa-se a eficácia do MS somente quando aplicado em pré-colheita, verificando-se que com a aplicação pós-colheita aumenta-se a incidência. A aplicação pré-colheita de MS tem maior eficácia tanto sobre a incidência de *Monilinia*, quanto para *Penicillium* e *Rhizopus*, o que pode ser verificado com a maior porcentagem de frutos sadios após 35 dias de armazenamento refrigerado mais quatro dias de exposição a 20 °C (Tabela 3). A aplicação de fungicidas resultou em mais frutos sadios, principalmente nos tratamentos envolvendo a substituição de duas aplicações por duas de MS, comprovando a eficácia do produto. No experimento II, a incidência de *Penicillium* apresentou interação significativa entre os tratamentos pré-colheita e a aplicação pós-colheita de MS (Tabela 3).

Tabela 3 – Incidência de *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. e de frutos sadios em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com Si em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais dois e quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).

..... Experimento I .....										
Tratamentos Pré e pós-colheita		<i>Penicillium</i> sp. (%) 4 dias 20 °C				<i>Rhizopus</i> sp. (%) 4 dias 20 °C				
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
S/MS**	S/MS pós	7,50 aC*	13,6 bBC	26,2 bAB	31,2 bA	3,75 aC	34,9 aA	7,50 aBC	12,5 bB	
	pré C/MS pós	7,50 aC	70,7 aA	52,5 aB	55,0 aAB	0,00 bC	30,7 aA	6,25 aB	38,7 aA	
C/MS	S/MS pós	1,25 bC	24,1 Aa	12,5 bAB	7,50 bB	0,00 aB	2,56 bB	0,00 bB	18,7 aA	
	pré C/MS pós	2,12 aBC	36,8 Aa	35,0 aAB	17,8 aB	0,00 aC	13,8 aA	3,75 aB	11,5 bA	
S/MS	S/MS pré	7,50 a	13,6 a	26,2 a	31,2 a	3,75 a	34,9 a	7,50 a	12,5 a	
	pós C/MS pré	1,25 b	24,1 a	12,5 b	7,50 b	0,00 b	2,56 b	0,00 b	18,7 a	
C/MS	S/MS pré	7,50 a	70,7 a	52,5 a	55,0 a	0,00 a	30,7 a	6,25 a	38,7 a	
	pós C/MS pré	21,2 a	36,8 b	35,0 b	17,8 b	0,00 a	13,8 b	3,75 a	11,5 b	
Cv (%)		20,3				13,7				
..... Experimento II .....										
Tratamentos pré-colheita		<i>Penicillium</i> sp. (%) 2 dias 20 °C				Frutos sadios (%) 4 dias 20 °C				
		MS pós-colheita		Média		MS pós-colheita		Média		
		Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
SS - 6 aplic.		0,00 cA	1,25 Ba	0,62	0,00 cB	3,75 cA	1,88	12,5 dB	55,0 bcA	90,0
Fung. - 6 aplic.		2,63 aB	7,51 aA	5,07	7,52 aB	18,8 aA	13,2	77,8 aA	62,9 abB	70,4
Fung. - 3 aplic.		2,04 aA	2,50 bA	5,77	2,38 bB	8,75 bA	5,56	35,8 cB	47,2 cA	64,0
F+SS+F+SS+F+SS***		1,19 bA	0,00 cA	0,6	3,64 bA	5,00 cA	4,32	61,8 bB	71,2 aA	66,5
Média		1,46	2,82		3,39	9,08		47		
Cv (%)		38,1			11,5			6,31		

Tratamentos pré-colheita (experimento I): **T1** – quatro aplicações de água; **T2** – quatro aplicações de fungicidas (24; 17; 10 e 3 DAC); **T3** – duas aplicações de fungicidas (24 e 17 DAC); **T4** – duas aplicações de fungicida (24 e 10 DAC). \* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de Si) e maiúscula na horizontal (aplicação de fungicidas), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* MS: Metassilicato de sódio. \*\*\* F: fungicida, SS: silicato de sódio.

Da mesma forma que no experimento I, a aplicação de MS em pós-colheita, bem como a utilização de fungicidas no campo, aumentou a incidência de *Penicillium* a partir do quarto dia de exposição dos frutos a 20°C. Tanto aos dois quanto aos quatro dias, a maior incidência foi observada no tratamento com seis aplicações de fungicida mais a aplicação de MS em pós-colheita. A menor incidência foi observada no tratamento com seis aplicações foliares de SS sem a aplicação pós-colheita, tanto aos dois quanto aos quatro dias de exposição a 20°C. O mesmo comportamento foi observado para o tratamento envolvendo a intercalação do SS, sendo que nesse caso não houve diferença entre aplicações ou não de MS em pós-colheita. Embora a

aplicação pós-colheita aumente a incidência de *Penicillium*, a maior incidência de frutos sadios confirma a eficiência do tratamento com SS intercalado com fungicidas, mais aplicação pós-colheita de MS como uma alternativa viável para o controle das podridões em pós-colheita, tendo o mesmo efeito que seis aplicações de fungicidas. Ao contrário do encontrado no presente trabalho, Liu et al. (2010) verificaram que o silício sob a forma de silicato de sódio é capaz de controlar o bolor verde (*P. digitatum*) enquanto que, Quin e Tian (2005) no controle de *Penicillium expansum* em cerejas.

Conforme resultados obtidos nos dois anos de trabalho, fica evidente a eficácia do metassilicato de sódio, no controle pós-colheita da podridão parda na cultura do pessegueiro. Em situações em que as pulverizações com fungicidas não foram realizadas nas épocas recomendadas, ou houve uma redução no número de aplicações, o uso do metassilicato de sódio em pós-colheita reduziu a incidência da podridão parda, minimizando os danos durante o armazenamento dos frutos. Entretanto, observa-se que essas aplicações pós-colheita resultam em frutos com maior índice de escurecimento da epiderme (Tabela 5) e maior incidência de manchas na epiderme. Com exceção do tratamento três, no experimento II, os demais apresentaram mais de 50% de frutos com os sintomas (dados não apresentados). Esse resultado é importante para a tomada de decisão quanto à utilização do produto em pós-colheita, já que a qualidade visual do fruto é fundamental para sua comercialização. Assim, com base nos resultados obtidos até o momento, a melhor alternativa para a redução da incidência da podridão parda após o armazenamento refrigerado é a aplicação do Si em pré-colheita, intercalado aos fungicidas com satisfatório controle sem prejudicar a qualidade do produto. Além disso, estudos com doses menores de metassilicato de sódio devem ser realizadas com o objetivo de verificar a eficácia e a redução de danos na epiderme, uma vez que se sabe que doses acima de 0,2% inibem em mais de 95 % a germinação dos esporos de *Monilinia* (QUIN; TIAN 2005).

#### 6.1.3.2 Efeito do Si na maturação e qualidade dos frutos

No experimento I não houve diferença entre os tratamentos para os sólidos solúveis totais (SST enquanto que no experimento II houve interação significativa entre os tratamentos pré-colheita com a aplicação de metassilicato em pós-colheita (Tabela 4). Neste caso, os SST foram maiores no tratamento com três aplicações de fungicidas e sem MS em pós-colheita. A AT não sofreu influência da aplicação pré-colheita de MS, mas foi maior no tratamento controle sem a aplicação de fungicidas (Tabela 4). Além disso, observou-se interação significativa entre a aplicação de fungicidas em pré-colheita e a aplicação de MS em pós-colheita, com maior

acidez nos frutos sem aplicação de fungicida, independente da aplicação de metassilicato em pós-colheita e do tratamento quatro com MS em pós-colheita. Comportamento semelhante foi observado no experimento II, em que o tratamento com seis aplicações de fungicida mais MS em pós-colheita apresentou menor AT.

Tabela 4 – Sólidos solúveis (SST) e acidez titulável (AT) em pêssegos ‘Eldorado’ tratados com metassilicato de sódio (MS) em pré e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5°C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).

..... Experimento I .....										
Tratamentos pré e pós colheita	SST (° Brix)					AT (meq 100 ml <sup>-1</sup> )				
	T1	T2	T3	T4	Média	T1	T2	T3	T4	Média
S/MS pré	11,6	11,3	11,2	11,5	11,4 <sup>ns</sup>	8,05	7,14	7,14	7,29	7,40 <sup>ns</sup>
C/MS pré	11,6	11,6	11,5	11,3	11,5	8,11	7,4	7,09	7,37	7,49
Média	11,6	11,5	11,4	11,4 <sup>ns</sup>		8,08 A	7,27 B	7,11 B	7,33 B	
S/MS** Pós	11,4	11,5	11,5	11,5	11,5 <sup>ns</sup>	8,29 aA	7,44 aB	7,28 aB	7,02 bB	7,51
C/MS pós	11,8	11,4	11,2	11,4	11,4	7,87 bA	7,10 aB	6,95 aB	7,64 aA	7,39
Média	11,6	11,5	11,4	11,4 <sup>ns</sup>		8,08	7,27	7,11	7,33	
CV (%)			3,19					4,96		
..... Experimento II .....										
Tratamento Pré-colheita	SST (°Brix)			AT (meq 100 ml <sup>-1</sup> )						
	MS pós-colheita		Média	MS pós-colheita		Média				
	Sem	Com		Sem	Com					
SS - 6 aplic.	12,5 bA*	12,3 aA	12,4	10,6 aA	11,2 aA	10,9				
Fung. - 6 aplic.	12,3 Ba	12,1 aA	12,2	10,4 aA	9,60 bB	10				
Fung. - 3 aplic.	13,4 aA	12,3 aB	12,8	10,5 aA	11,0 aA	10,8				
F+SS+F+SS+F+SS***	12,6 Ba	12,6 aA	12,6	10,4 aA	11,0 aA	10,7				
Média	12,7	12,3		10,5	10,7					
Cv (%)		2,99		4,59						

Tratamentos pré-colheita: **T1** – quatro aplicações de água; **T2** – quatro aplicações de fungicidas (24; 17; 10 e 3 DAC); **T3** – duas aplicações de fungicidas (24 e 17 DAC); **T4** – duas aplicações de fungicida (24 e 10 DAC). \* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de Si) e maiúscula na horizontal (aplicação de fungicidas), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* MS: Metassilicato de sódio. \*\*\* F: fungicida, SS: silicato de sódio.

Para a firmeza de polpa não se observou efeito da aplicação de Si, tanto em pré quanto em pós-colheita, tanto no experimento I quanto no II (Tabela 5). Entretanto, frutos tratados com fungicidas apresentaram menor firmeza de polpa no experimento I e o com seis aplicações de fungicida menor firmeza no experimento II. Da mesma forma, a textura da epiderme não foi afetada pela aplicação do Si mas foi menor nos frutos tratados com fungicidas. Os resultados mostram que o Si não afeta os parâmetros de maturação dos frutos enquanto que, com a aplicação de fungicidas observa-se uma tendência na redução da firmeza de polpa e da AT. A

influência de fungicidas nos parâmetros de maturação de pêssegos também foi verificado por Pavanello et al. (2015a) e Moreira; May De Mio (2009).

Tabela 5 – Firmeza de polpa, escurecimento da epiderme, textura da epiderme e polifenóis totais em pêssegos cv. Eldorado tratados com Si em pré-colheita e pós-colheita, refrigerados por 35 dias a -0,5 °C, mais quatro dias de exposição a 20 °C. Experimento I (2013-2014) e II (2014-2015).

..... Experimento I .....										
Tratamentos pré e pós- colheita	Firmeza de polpa (N)					Escurecimento da epiderme Índice (0-3)				
	T1	T2	T3	T4	Média	T1	T2	T3	T4	Média
S/MS** pré	42,3	35,5	33,9	36,7	37,1 a	1,35	1,24	1,2	1,23	1,26 a
C/MS pré	40,1	36,7	38,0	37,0	38,0 a	1,54	1,1	1,19	1,31	1,29 a
Média	41,2 A	36,1 B	36,0 B	36,9 B		1,45 A	1,17 B	1,20 AB	1,27 AB	
S/MS pós	39,7	36,9	36,1	36,5	37,3 a	1,19	1,03	0,92	0,89	1,01 b
C/MS pós	42,7	35,3	35,8	37,2	37,8 a	1,7	1,32	1,48	1,65	1,54 a
Média	41,2 A	36,1 B	36,0 B	36,9 B		1,45 A	1,17 B	1,20 AB	1,27 AB	
CV (%)			9,53					22,8		
..... Experimento II .....										
Tratamento Pré-colheita	Firmeza de polpa (N)			Escurecimento da epiderme índice (0-3)						
	MS pós-colheita		Média	MS pós-colheita		Média				
	Sem	Com		Sem	Com					
SS - 6 aplic.	33,1	40,8	37,0 a*	0,79 aB	1,07 bA	0,93				
Fung. - 6 aplic.	31,3	33,5	32,5 b	0,62 aB	1,37 aA	0,99				
Fung. - 3 aplic.	33,8	42,3	38,0 a	0,86 aA	0,81 bcA	0,84				
F+SS+F+SS+F+SS***	37,8	39,6	38,7 a	0,74 aB	1,29 abA	1,02				
Média	34,0 B	39,0 A		0,75	1,13					
Cv (%)		9,59			15,8					
Tratamento Pré-colheita	Textura da epiderme (N)			Polifenóis totais (mg de ác. gálico em 100 g <sup>-1</sup> de casca)						
	Si pós-colheita		Média	Si pós-colheita		Média				
	Sem	Com		Sem	Com					
SS - 6 aplic.	7,70	8,00	7,85 a	248,5	210,5	229,5 a				
Fung. - 6 aplic.	6,39	7,14	6,76 b	211,6	208,5	210,0 ab				
Fung. - 3 aplic.	7,16	7,46	7,31 ab	209,4	218,9	214,2 ab				
F+SS+F+SS+F+SS***	7,24	6,96	7,10 ab	182,8	198,0	190,4 b				
Média	7,12 A	7,39 A		213,8A	209,0A					
Cv (%)		6,73			10,7					

Tratamentos pré colheita: **T1** – quatro aplicações de água; **T2** – quatro aplicações de fungicidas (24; 17; 10 e 3 DAC); **T3** – duas aplicações de fungicidas (24 e 17 DAC); **T4** – duas aplicações de fungicida (24 e 10 DAC). \* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (aplicação de Si) e maiúscula na horizontal (aplicação de fungicidas), diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* MS: Metassilicato de sódio. \*\*\* F: fungicida, SS: silicato de sódio.

Quanto ao escurecimento da epiderme, frutos tratados com metassilicato de sódio em pós-colheita apresentaram maior índice de escurecimento da epiderme nos dois anos da pesquisa (Tabela 5), exceto para o tratamento três do experimento II, em que não se observou diferença. Observa-se que embora a aplicação de água tenha causado escurecimento, a

aplicação de metassilicato agravou os sintomas. Diversos trabalhos têm reportado a eficiência de produtos alternativos ao uso de fungicidas, aplicados em pós-colheita para o controle da podridão parda, entretanto observa-se a depreciação da qualidade do fruto em decorrência de manchas na epiderme, provocadas principalmente pelo molhamento do fruto antes do armazenamento sobre baixas temperaturas (PAVANELLO et al., 2015b; SAUTER et al., 2011, THEWES et al., 2010).

O conteúdo de polifenóis totais, considerado um parâmetro para mensurar a possível reação de defesa das plantas à infecção fúngica, não foi afetado pela aplicação pós-colheita de metassilicato de sódio (Tabela 5). Segundo Fawe et al. (1998) um dos possíveis mecanismos de ação do Si no controle de doenças em plantas é a sua capacidade de agir como indutor de resistência, estimulando os mecanismos de defesa do hospedeiro com aumento do nível de compostos fenólicos e inibidores da atividade de quitinases,  $\beta$ -1,3-glucanases, peróxidos, fenilalanina-amonioliase (PAL) e polifenoloxidase. Datnoff e Rodrigues (2005) observaram que plantas tratadas com Si têm maior produção de fenóis (mamilolactonas) atrasando o desenvolvimento de fungos e, conseqüentemente, os sintomas da doença. No presente trabalho não se verificou o efeito do Si no aumento do conteúdo de polifenóis totais, ao contrário do observado em trabalhos anteriores, em que a aplicação de metassilicato de sódio resultou em maior concentração de polifenóis com doses de metassilicato de sódio entre 4 e 6 g L<sup>-1</sup> e quando aplicados em pré-colheita, principalmente intercalado com fungicidas. Essa inconstância nos resultados obtidos reforça a necessidade de estudos para verificar o papel do Si como indutor de resistência para a cultura do pessegueiro, principalmente em pós-colheita. Com os resultados obtidos até o momento, pode-se afirmar que o Si é eficaz no controle da podridão parda do pessegueiro, entretanto os seus mecanismos de ação ainda devem ser melhor estudados.

#### **6.1.4 Conclusões**

1 - O silício, na forma de metassilicato de sódio ou silicato de sódio, intercalado com fungicidas em aplicação a campo é tão eficiente quanto a aplicação isolada de fungicidas no controle da podridão parda em pós-colheita.

2 - Aplicações pós colheita de metassilicato de sódio reduzem a incidência da podridão parda após o armazenamento refrigerado, mas aumentam a incidência de manchas escurecidas na epiderme dos pêssegos.

3 - Metassilicato de sódio aplicado em pós-colheita não afeta os parâmetros de maturação e qualidade dos frutos e não aumenta o conteúdo de polifenóis totais.



### 6.1.5 Referências Bibliográficas

AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> ACESSO em: 05 novembro de 2015.

ALVES, E. de O. et al. Armazenamento refrigerado de ameixas ‘Laetitia’ com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. **Ciência Rural**, v.40, p.30-36, 2009.

BI, Y. et al. Sodium silicate reduces postharvest decay on Hami melons: induced resistance and fungistatic effects. **Plant Disease**, v.90, p. 279–283, 2006.

BIGGS, A. R. et al. Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. **Plant Disease**, v.81, p.399-403, 1997.

CAES - THE UNIVERSITY OF GEORGIA COLLEGE OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES. Southeastern peach, nectarine and plum pest management and culture guide. 2014. Disponível em: <http://www.ent.uga.edu/peach/peachguide.pdf>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2015.

DALLAGNOL, L.J. et al. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, v.61, 323-330, 2012.

DALLAGNOL, L.J. et al. Comparison of root versus foliar applied potassium silicate in potentiating post infection defences of melon against powdery mildew. **Plant Pathology**, v64, n. 5, p. 1085-1093, 2015.

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

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

DATNOFF, L.E.; RODRIGUES, F.A. The role of silicon in suppressing rice diseases. APSnet Feature, February, 2005.

DOMICIANO, G.P. et al. Wheat resistance spot blotch potentiated by silicon. **Journal of Phytopathology**, v.158, p.334-343, 2010.

ELMER, P.A.G.; REGLINSKI, T. Bio suppression of *Botrytis cinerea* in grapes. **Plant Pathology**, v.55, p.155–177, 2006.

FAWE, A. et al. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology*, v.88, n.5, p.396–401, 1998.

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**, v.119, p.429-436, 2007.

GUERRA, A. M. N. de M. et al. Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializada pelo silício. **Bragantia**, v. 72, p. 292-303, 2013.

HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, v.98, p.1038-1044. 2008.

LARENA, I. et al. Biological control of postharvest brown rot (*Monilinia* spp.) of peaches by field applications of *Epicoccum nigrum*. **Biological Control**, v.32, p.305–310, 2005.

LI, Y.C. et al. Antifungal activity of sodium silicate on *Fusarium sulphureum* and its effect on dry rot of potato tubers. **Journal Food Science**, v.74, p.213–218, 2009.

LIU, J. et al. Plasma membrane damage contributes to antifungal activity, of Silicon Against *Penicillium digitatum*. **Current Microbiology**, v.61, p.274–279, 2010.

MARI, M., NERI, F., BERTOLINI, P. **New approaches for postharvest disease control in Europe**. In: PRUSKY, D., GULLINO, M.L. (Eds.), Postharvest Pathology. Springer, Heidelberg, D, pp. 119–136, 2010.

MOREIRA, L. M.; MAY DE MIO, L. M. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.405-411, 2009.

NASCIMENTO, F.V.; BENDER, R.J.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M. UV-C effect and alternative treatments for postharvest control of brown rot in peaches. **Acta Hort.** v. 1053, p. 265-272, 2014.

NING, D., et al. Effects of slag-based silicon fertilizer on rice growth and brown spot resistance. **PLoS One**, v.9, e102681, 2014.

PAVANELLO, E. P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 67-76, 2015a.

PAVANELLO, E.P. et al. Postharvest biological control of brown rot in peaches after cold storage preceded by preharvest chemical control. **Revista Ceres**, v. 62, p. 539-545, 2015.

POLANCO, L.R. et al. Biochemical aspects of bean resistance to anthracnose mediated by silicon. **Annals of Applied Biology**, v.161, p.140-150, 2012.

QIN, G. Z.; TIAN, S. P. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. **Phytopathology**, v.95, p.69–75, 2005.

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M. and UDDIN, W. Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, p. 748-757, 2015.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. **Silicon and Plant Diseases**, Springer International Publishing. 2015.

SAUTTER, C. K. et al. Controle da podridão-parda e características físico-químicas de pêssegos 'Magnum' submetidos a tratamentos pós-colheita com elicitores abióticos. **Revista Ceres**, v. 58, p. 172-177. 2011.

SESTARI, et al. Condições de atmosfera controlada para pêssegos "Maciel" colhidos em dois estádios de maturação. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1240-1245. 2008.

SINGLETON, V.L.; ROSSI JUNIOR, J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.

SILVA, W.L. da, et al. Histochemical aspects of wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Scientia Agricola**, v.72, p.322-327, 2015.

THEWES, F. R. et al. O molhamento do fruto como causa do escurecimento pós-colheita da epiderme de pêssego cultivar Eragil. In: I Congresso de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 2010, Florianópolis. I Congresso de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 2010.

VILLARINO, M. et al. Secondary inoculum dynamics of *Monilinia* spp. and relationship to the incidence of postharvest brown rot in peaches and the weather conditions during the growing season. **European Journal of Plant Pathology**, v.133, p.585–598, 2012.

YANG, L. et al. Synergistic effect of oligochitosan and silicon on inhibition of *Monilinia fructicola* infections. **Journal Science Food Agriculture**, v. 90, p. 630–634, 2010.



## 7 DISCUSSÃO GERAL

Devido aos elevados danos provocados pela podridão parda na cultura do pessegueiro, que podem variar de 25 a 80% (RASEIRA; QUEZADA, 2003; SESTARI et al., 2008), compreender as variáveis que influenciam na patogenicidade do fungo *Monilinia fructicola*, bem como alternativas para o seu controle é de suma importância para o manejo da doença. Atualmente o controle da podridão parda é feito principalmente com uso de fungicidas, sendo que no mercado brasileiro estão registrados 20 princípios ativos para a cultura. Esses produtos, em sua maioria, vêm sendo utilizados por várias décadas pelos produtores, o que nos faz questionar sobre a sua eficácia no controle da doença. Em estudos anteriores, verificou-se que o fungicida captana, um produto muito usado pelos fruticultores, apresentou baixo efeito no controle da podridão parda em comparação com produtos como tebuconazol, iminoctadine, iprodione e difenoconazol (PAVANELLO et al., 2015a). Resultados esses que se confirmam no presente trabalho (Artigo 1), com a comprovação da eficiência do iprodione, tebuconazol e difenoconazol, que reduziram em mais de 90% a incidência de podridão parda a campo. Além disso, reforçou-se a eficiência do iminoctadine no controle da podridão pós-colheita. A aplicação do fungicida Iminoctadine (Bellkute™) é uma importante estratégia para o controle da doença em pós-colheita, pois, mesmo com a sua aplicação somente até o 14º dia antes da colheita, a incidência da doença foi de apenas 4%, tanto aos quatro dias após a colheita, quanto após 40 dias de armazenamento refrigerado mais quatro dias a 20 °C.

Um dos fatores que dificulta o controle do fungo *Monilinia fructicola* é a sua habilidade em infectar os frutos e permanecer latente até que as condições sejam favoráveis à sua manifestação. As infecções ocorrem ao longo de todo o ciclo da cultura, podendo manifestar-se antes da colheita e em pós-colheita durante o armazenamento refrigerado (NORTHOVER; CERKAUSKAS, 1994). A compreensão dos eventos relacionados à infecção latente por *Monilinia*, como por exemplo, o seu papel na manifestação pós-colheita é de fundamental para o manejo da doença. Nesse sentido, o artigo 1 mostra correlação entre a incidência de infecções latentes durante a fase de crescimento até maturação dos frutos com a podridão parda em pós-colheita, sendo as infecções decorrentes de infecções latentes maior quanto mais próximo do período da colheita. Correlação entre infecção latente e a incidência da doença em pós-colheita tem sido relatada na Europa por Luo et al. 2005, Xu et al., 2007 e Gell et al. 2008. No Brasil, May de mio et al., 2008 também encontraram infecção latente em frutos verdes. Esses resultados reforçam a importância do correto manejo da doença durante todo o período de

crescimento do fruto, mas principalmente na pré-colheita, estabelecendo estratégias eficientes de forma a estender a vida pós-colheita dos frutos. Neste trabalho, a aplicação dos fungicidas iminocadine e tebuconazol apresentaram excelentes resultados no controle da doença em pós-colheita e isso pode ser relacionado à baixa incidência de *Monilinia fructicola* provenientes de infecções latentes observadas na colheita.

Aplicação de produtos em pré-colheita que possam controlar a doença em pós-colheita é uma estratégia importante para o manejo da cultura, tendo em vista que a utilização de fungicidas em pós-colheita não é permitida no Brasil e que grande parte dos produtos permitidos (produtos alternativos) não são eficazes para o controle. Além disso, um dos problemas durante a conservação de pêssegos é a sua perda de qualidade resultante da alta sensibilidade da epiderme. Diversos trabalhos têm reportado a eficiência de produtos alternativos no controle da podridão parda pós-colheita, entretanto ocorre depreciação da qualidade do fruto em decorrência de manchas na epiderme, provocadas principalmente pelo molhamento do fruto antes do armazenamento em baixas temperaturas (PAVANELLO et al., 2015b; SAUTER et al., 2011, THEWES et al., 2010).

Atualmente, é crescente e de ordem mundial a preocupação com o uso de agrotóxicos na agricultura. O Brasil é o segundo país maior produtor e o primeiro maior consumidor de agrotóxicos. Na fruticultura, o uso de agrotóxicos é constante, principalmente no manejo de pragas e doenças, sendo o uso de fungicidas sintéticos a forma mais eficiente de se controlar as doenças fitopatológicas e minimizar as perdas na cadeia produtiva. Em função disso, pesquisas voltadas para a redução do uso de produtos químicos, minimizando seu impacto ao meio ambiente e à saúde humana têm se destacado no meio científico, principalmente quanto à utilização do silício no controle de doenças. Nos últimos anos, tem se intensificado as pesquisas nessa área, com resultados satisfatórios para inúmeras culturas, desde espécies anuais como soja, arroz, das famílias Curcubitaceae e Solanaceae e espécies perenes como bananeira, cafeeiro e citros. O presente trabalho apresenta resultados promissores para a utilização do ME e SS no controle da podridão parda do pessegueiro, tanto com sua aplicação foliar a campo quanto em pós-colheita (Artigos 2, 3 e 4).

Para o fungo *Monilinia fructicola*, a dose de 6 g L<sup>-1</sup> de água, tanto o silicato de sódio quanto o metassilicato de sódio, inibiu completamente a germinação dos esporos *in vitro*, comprovando a capacidade fungistática dos produtos. Comportamento semelhante foi observado em aplicações foliares do metassilicato de sódio, em que a dose de 7 g L<sup>-1</sup> foi a que melhor controlou a podridão parda na colheita e pós-colheita (Artigo 2). Entretanto, em função dos resultados de testes preliminares e dos observados no artigo 3, a dose recomendada é de 6

g L<sup>-1</sup>, tendo em vista que com doses maiores, observou-se em algumas plantas sintomas de fitotoxidez, semelhantes ao observado nos testes preliminares com doses superiores a 10 g L<sup>-1</sup>. Plantas com esses sintomas apresentaram manchas necróticas no centro e nos bordos das folhas e, em alguns casos mais severos, queda prematura das mesmas (Apêndice A). Devido a isso, no segundo ano, buscando evitar possíveis problemas de fitotoxidez com o metassilicato sódio, este foi substituído pelo silicato de sódio, reduzindo-se assim para 1/3 a concentração de Na.

Independente do produto utilizado (silicato de sódio, metassilicato de sódio e o pó de rocha (Rocksil<sup>TM</sup>)), o silício foi eficaz no controle da podridão parda do pessegueiro, podendo substituir três aplicações de fungicida. Além disso, substituindo-se três aplicações de fungicidas por três de SS, os trabalhos mostraram o mesmo resultado, independente da época de aplicação. O SS também se mostrou tão eficaz quanto o fungicida quando aplicado isoladamente, desde o raleio até a colheita (seis aplicações), sendo uma importante estratégia para o uso na agricultura orgânica.

A eficácia do Si no controle da podridão parda do pessegueiro ficou bem evidente nos resultados do trabalho, entretanto os mecanismos pelo qual o elemento age sobre a inibição do crescimento do fungo ainda não estão totalmente compreendidos. Primeiramente, o que se pode afirmar é que os produtos aplicados apresentam uma capacidade fungicida, o que de certa forma pode ter contribuído significativamente para o controle da doença, inibindo a germinação do esporo. Além disso, a possível barreira física pela deposição do produto na superfície do fruto pode ter contribuído na redução da penetração fúngica. Dallagnol et al. (2012) concluíram que a eficácia das aplicações foliares para o controle do oídio na cultura do melão está relacionada ao impedimento físico provocado pela deposição de silicato de potássio na superfície das folhas. Entretanto, para a cultura do feijão Rodrigues et al. (2010) verificaram um incremento no teor de Si em folhas tratadas via foliar com silicato de potássio, em que a redução na epidemia da doença se deveu ao impedimento físico em decorrência da polimerização do Si abaixo da cutícula das folhas e ou pelo reforço da parede celular. Na presente tese, os resultados do artigo 3 mostram um maior conteúdo de Si, tanto na folha quanto no fruto tratados com silicato de sódio, entretanto, não se pode afirmar que o elemento está apenas superficial ou depositado abaixo da cutícula.

Em pós-colheita o MS é eficiente quando ocorre a redução do número de aplicações de fungicida no campo. Possivelmente, nesse caso o fruto é colhido com uma alta carga de esporos e esses, ao entrarem em contato com a solução de MS, são impedidos de germinar devido à capacidade fungicida do produto, conforme observado no artigo 2. Entretanto, apesar da eficácia do metassilicato de sódio em pós-colheita, observa-se a presença de manchas

escurecidas na epiderme dos frutos causadas pelo produto, depreciando a qualidade dos mesmos. Dessa forma, na cultura do pessegueiro a melhor alternativa para a utilização do silicato de sódio ou metassilicato de sódio, é a aplicação em pré-colheita, com satisfatório controle sobre a podridão parda do pessegueiro, tanto em pré quanto em pós-colheita (Artigos 2, 3 e 4).

Além da eficácia do Si no controle da podridão parda, outra característica que deve ser observada pelos agricultores ao optar pelos produtos silicatados é o custo de produção. Nesse sentido, o baixo custo dos produtos metassilicato de sódio e silicato de sódio aliado ao percentual de controle da doença faz com que o retorno econômico seja alto, inclusive maior do que somente com aplicações de fungicidas (Apêndice B). Dessa forma, os produtos à base de silício apresentam eficácia no controle da podridão parda do pessegueiro, sendo uma alternativa econômica e de baixo impacto ambiental.

Resultados satisfatórios foram encontrados com relação à utilização do silício na cultura do pessegueiro, principalmente envolvendo aplicações foliares dos produtos e a redução da utilização de fungicidas químicos, entretanto pesquisas devem ser realizadas a fim de compreender os mecanismos pelo qual o silício age na cultura. Nesse sentido, trabalhos devem ser realizados para avaliar morfológicamente os frutos que sofreram tratamento com silício, verificando possíveis alterações na parede celular por meio de cortes anatômicos e pela determinação do conteúdo de silício nos tecidos. Além disso, mensurar as atividades de enzimas ligadas a mecanismos de defesa das plantas como as enzimas ligadas ao estresse oxidativo (peroxidases), e as de ação direta sobre a parede celular do patógeno (quitinases e  $\beta$ -1,3-glucanases), além do conteúdo de polifenóis totais.



## 8 CONCLUSÃO GERAL

Os fungicidas iprodione, tebuconazole e difenoconazole são eficazes no controle da podridão parda a campo.

O fungicida iminoctadina é eficaz no controle da podridão parda do pessegueiro, mesmo após longos períodos de armazenamento refrigerado dos frutos, reduzindo principalmente a incidência de lesões decorrentes de infecções latentes.

Há uma alta correlação entre a presença de infecções latentes em pré-colheita com a incidência da doença em pós-colheita, sendo a maior parte das lesões causadas pelo fungo *Monilinia fructicola* após o armazenamento refrigerado decorrentes das infecções latentes.

O metassilicato de sódio e o silicato de sódio são eficazes no controle da podridão parda do pessegueiro, tanto em pré quanto em pós-colheita, sendo uma alternativa para a minimização do uso de agrotóxicos com redução nos custos de aplicação.



## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ADASKAVEG, J.E.; FELICIANO, A.J.; OGAWA, J.M. Comparative studies of resistance in peach genotypes to *Monilinia Fructicola*. **Proceedins of the American Phytopathological Society Annual Meeting**. 1989 (Abstr.).
- ADASKAVEG, J. E; FELICIANO, A. J.; OGAWA, J, M. Evaluation of the cuticle as a barrier to penetration by *Monilinia fructicola* in peach fruits. **Phytopathology**, v. 81, p. 1150 (Abstr.). 1991.
- ADASKAVEG, J. E.; SCHNABEL, G.; FÖRSTER, H. Diseases of peach caused by fungi and fungal-like organisms: biology, epidemiology and management. In: LAYNE, D. R.; BASSI, D. (Ed.). **The peach: botany, production and uses**. Wallingford: CAB International, p. 352-406. 2008.
- ADASKAVEG, J. E; FÖRSTER, H. New developments in postharvest fungicide registrations for edible horticultural crops and use strategies in the United States. In: PRUSKY, D.; GULLINO, M.L., **Postharvest Plant Pathology**, p.107-117. 2010.
- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Editora FNP, 2014. 520p.
- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5°. ed. London: Academic Press. 2005.
- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> ACESSO em: 05 novembro de 2015.
- ANDRADE, E. R. **Doenças de pessegueiro e da ameixeira e seu controle no Estado de Santa Catarina**. Florianopolis: Epagri. 1995. 37p. (Boletim Técnico 71).
- AZEVEDO, L. A. S. **Fungicidas sistêmico** – Teoria e prática. Campinas: Emopi Edit. e Graf., 2007. 290 p.
- BARROS, F. C. et al. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**, v.26, p.231-239. 2010.
- 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**, v.93, p. 402–412, 2003.
- BENATO, E. A., CIA, P.; SOUZA, N. L. Manejo de doenças de frutas pós-colheita. **Revisão anual de patologia de plantas**, v. 9, p. 403-440. 2001.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.. **Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico**. Volume 1, Piracicaba, SP: Ceres, 1996. 289p.
- BIGGS, A. R.; NORTHOVER, J. Early and late season susceptibility of peach fruits to *Monilinia fructicola*. **Plant Disease**, v.72, p.1070–1074, 1988.
- BLEICHER, J. Doenças de rosáceas de caroço. In: KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3ª ed. São Paulo: Ceres, 1997. p. 621-627.

BLOOD, R. Z. Y. et al. Eficiência da aplicação em pré-colheita de clorotalonil, tiofanato metílico e tetraconazole no controle de podridão parda em pessegueiro. **Scientia Agrária**, v.8, n.4, p.455-458, 2007.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos, Piracicaba: FEALQ, 2005. P.11-28.

BOSTOCK, R. M.; et al. Suppression of *Monilinia fructicola* cutinase production by peach fruit surface phenolic acids. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. V.54, p.37–50, 1999.

BRACKMANN, A.; GARIBALDI, N. L.; MAUCH, N. Avaliação da Eficiência de Fungicidas no Controle da Podridão Parda (*Monilinia fructicola* Windt.) em Pessegueiro. In: VIII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 1986, Brasília. Anais do Congresso Brasileiro de Fruticultura, 1986. p. 455-458.

BRAGA, F.T.B. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.128-132, 2009.

BURNETT, A. L.; LALANCETTE, N.; MCFARLAND, K. A. Effect of QoI fungicides on colonization and sporulation of *Monilinia fructicola* on peach fruit and blossom blight cankers. **Plant Diseases**, v. 94, n.8, p. 1000-1008. 2010.

BYRDE, R. J. W.; WILLETTS, H. J. Infection. In: \_\_\_\_The brown rot of fruit: their biology and control. Oxford: **Pergamon Press**. p. 87-110. 1977a.

BYRDE, R. J. W.; WILLETTS, H. J. Structure and morphogenesis. In: \_\_\_\_ . The brown rot of fruit: their biology and control. **Pergamon Press**, 1977b.

CAES - THE UNIVERSITY OF GEORGIA COLLEGE OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES. Southeastern peach, nectarine and plum pest management and culture guide. 2014. Disponível em: <http://www.ent.uga.edu/peach/peachguide.pdf>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2015.

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. da S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**: Piracicaba: FEALQ, 2005. p.81-113.

CAVALCANTI, L. S. et al. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian Journal Microbiology**, v.47, p.289–297, 2007.

CORBIN, J. B.; CRUICKSHANK, I. A. M. Environment and sporulation in phytopathogenic fungi *Monilinia fructicola* (W.) Honey: Effect of water relation on regeneration of conidia in vivo. **Journal of Biological Sciences**, v.16, p.99-110.1963.

COSTA, R.R.; MORAES, J.C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl na resistência de plantas de trigo ao *Schizaphis graminum*. **Neotropical Entomology**, v.35, p.834–839, 2006.

CRUICKSHANK, R. H.; WADE, G. C. The activation of latent infections of *Monilinia fructicola* on apricots by volatiles from the ripening fruit. **Journal of Phytopathology**, v. 136, p. 107-112. 1992.

CURRIE H. A.; PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v.100, n.1, p.1383–1389, 2007.

DALLAGNOL, L.J. et al. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, v.61, 323-330, 2012.

DALLAGNOL, L.J. et al. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**, v.62, p.120–129, 2013.

DALLAGNOL, L.J., et al. Rice grain resistance to brown spot and yield are increased by silicon. **Tropical Plant Pathology**, v.39, p.56–63, 2014.

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

DATNOFF, L.E.; SEEBOLD, K.W.; CORREA-V, F.J. The use of silicon for integrated disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant resistance. In DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam, Elsevier, 2001.

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

DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRAKIN, C.I. Detection of silica in plants. **American Journal Botanic**, v. 70, p.1079-1084, 1983.

DELEN, N.; TOSUN, N. Fungicidas: mecanismo de ação e resistência. Parte 1: fungicidas com mecanismo de ação não-específica. In: LUZ, W. C. et al. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 11, 2003. p.43-69.

DOMICIANO, G.P. et al. Wheat resistance spot blotch potentiated by silicon. **Journal of Phytopathology**, v.158, p.334-343, 2010.

EMERY, K. M.; MICHAILIDES, T. J.; SCHERM, H. Incidence of latent infection of immature peach fruit by *Monilinia fructicola* and relationship to brown rot in Georgia. **Plant Disease**, v. 84, p. 853-857. 2000.

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

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

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site>> ACESSO em: 01 maio de 2012.

FELICIANO, A.; FELICIANO, A.J.; OGAWA, J.M. *Monilinia fructicola* resistance in peach cultivar Bolinha. **Phytopathology**. v.77, p. 776-780. 1987.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows: versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos, SP. Resumos... São Carlos: UFScar, 2000. p. 235.

FORCELINI, C. A. Fungicidas inibidores da síntese de esteróis. I. triazoles. **RAPP**, v.2, 1994. p.335-355.

FORTES, J. F. Controle de *Monilinia fructicola* em *Prunus persica* na pré-colheita. **Fitopatologia Brasileira**, v. 19, supl., p. 327. 1994.

FORTES, J. F.; MARTINS, O. M. Sintomatologia e controle das principais doenças. In: MEDEIROS, C. A. B.; RASEIRA, M. do C. B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p.243-264. 1998.

FORTUNATO, A.A.; RODRIGUES, F.A.; NASCIMENTO, K.J.T. Physiological and biochemical aspects of the resistance of banana plants to *Fusarium wilt* potentiated by silicon. **Phytopathology**, v.102, p.957-966, 2012.

FÖRSTER, H.; ADASKAVEG, J. E. Early brown rot infections in sweet cherry fruit are detected by *Monilinia*-specific DNA primers. **Phytopathology**, v.90, p.171-178, 2000.

FRIESEN, D.K. et al. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in COLOMBIA. I. Evidence of major yield constraint. In: Conferência internacional de arroz para a América Latina e para o Caribe, n.9, Goiânia, 1994.

GARCION, C.; LAMOTTE, O.; MÉTRAUX, J. P. **Mechanisms of defense to pathogens: biochemistry and physiology**. In: WALTERS, D.; NEWTON, A.; LYON, G. (Ed.). Induced resistance for plant defence – a sustainable approach to crop protection. Oxford: Blackwell, 2007, p.109-132.

GELL, I. et al. Relationship between the incidence of latent infections caused by *Monilinia* spp. and the incidence of brown rot of peach fruit: Factors affecting latent infection. **Journal of Plant Pathology**, v. 121, p. 487-498. 2008.

GELL, I. et al. Conidial density of *Monilinia* spp. on peach fruit surfaces in relation to the incidences of latent infections and brown rot. **Journal of Plant Pathology**, v. 123, p. 415-424. 2009.

GONZALO, M.J., LUCENA, J.J.; HERNANDEZ-APAOLAZA, L.; Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron

Deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 70, p. 455-461, 2013.

GOTO, M. et al. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop. **Plant Science**, v. 164, p. 349–356, 2003.

GRADZIEL, T.M. Changes in susceptibility to Brown rot with ripening in three clingstone peach genotypes. **Journal American Society for Horticultural Science**. v. 119, n.1, p. 101-105. 1994.

GRADZIEL, T. M. et al. Breeding for brown rot (*Monilinia fructicola*) resistance in clingstone peach with emphasis on the role of fruit phenolics. **Acta Horticulturae**, v.01, n.465, p.161-170. 1998

GRADZIEL, T.M.; BOSTOCK, R.M.; ADASKAVEG, J.E. Resistance to brown rot disease in Peach is determined by multiple structural and biochemical components. **Acta Horticulture**, n.622, p.347-352, 2003.

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**, v.119, p.429-436, 2007.

GUERRA, A.M.N. de M. et al. Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializada pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 292-303, 2013.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J.D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 201-213, 2012.

HAMMERSCHMIDT, R.; NICHOLSON, R.L. A survey of plant defense responses to pathogens. In: AGRAWAL A. A.; TUZUN S.; BENT, E. Induced Plant Defenses Against Pathogens and Herbivores. **APS Press**, pp. 55–71. 1999.

HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, v.98, n.9, p.1038-1044. 2008.

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

HEWITT, H. G. **Fungicides in crop protection**. Oxon, UK: CAB International, 1998. 221p.

HODSON, M. J. et al. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annual Botanic**, v.96, p.1027 – 1046, 2005.

HOLTZ, B. A.; MICHAILIDES, T. J.; HONG, C. X. Development of apothecia from stone fruit infected and stromatized by *Monilinia fructicola* in California. **Plant Disease**. v.82, p.1375-1380. 1998.

HONG, C. X. et al. Significance of thinned fruit as a source of secondary inoculum of *Monilinia fructicola* in California nectarine orchards. **Plant Disease**, v. 81, p.519–524, 1997.

- HONG, C. X.; MICHAILEDIS, T. J. Effects of wounding, inoculum density, and biological control agents on postharvest Brown rot of stone fruit. **Plant Disease**, v.82, n.11, p. 1210-1216. 1998.
- ISELI, B. et al. Plant chitinases use two different hydrolytic mechanisms. **FEBS letters**, v.382, p.186–188. 1996.
- JACKSON, A.O.; TAYLOR, C.B. Plant-microbe interactions: life and death at the interface. **The Plant Cell**, v.8, p.1651–1668. 1996.
- JARVIS, W. R. Latent infection in the pre and postharvest environment. **HortScience**, v. 29, p. 747-749. 1994.
- JENKINS, P. T. The dispersal of conidia of *Sclerotinia fructicola* (Wint.). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.16, p.627-633. 1965.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.
- KABLAN, L. et al. Silicon reduces black sigatoka development in banana. **Plant Disease**, v. 96, p. 273-278, 2012.
- KABLE, P. F. Significance of short-term latent infections in the control of brown rot in peach fruits. **Phytopathology**. v.70, p.173-176, 1971.
- KHATTAB, H. I. et al. Effect of selenium and silicon on transcription factors NAC5 and DREB2A involved in drought-responsive gene expression in rice. **Biology Plant**. v. 58, p. 265–273, 2014.
- KIDO, N. et al. The matrix polysaccharide (1;3,1;4)-beta-D-glucan is involved in silicon dependent strengthening of rice cell wall. **Plant Cell Physiology**, v.56, p.268–276, 2015.
- KIM, S. G., et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves, a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, v.92, p.1095-1103, 2002.
- KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ceres, v.2, 774p. 1997.
- KODA, Y. The role of the jasmonic acid and related compounds in the regulation of plant development. **International Review of Cytology**, 135:155-199, 1992.
- KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. **Effect of silicon on plant growth and yield**. In: DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, H.K.; SNYDER, G.H. (coord.) *Silicon in Agriculture*. 1. p. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands. 2001.
- KORNDÖRFER, G.H. **Elementos benéficos**. In: FERNANDES, M.S. (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa MG, 2006. p. 355-374.



- LAMB, C.; DIXON, R.A. The oxidative burst in plant disease resistance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.48, p.251–275. 1997.
- LEE, M. H.; BOSTOCK, R. M. Induction, regulation, and role in pathogenesis of appressoria in *Monilinia fructicola*. **Phytopathology**, V.96, p.1072–1080, 2006.
- LEE, M. H.; BOSTOCK, R. M. Fruit exocarp phenols in relation to quiescence and development of *Monilinia fructicola* infections in *Prunus* spp.: a role for cellular redox? **Phytopathology**, v.97, p.269–277, 2007.
- LEMES, E.M. et al. Effect of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. **Plant Disease**, v.95, p.317-324, 2011.
- LEROUX, P. Recent Developments in the Mode of Action of Fungicides. **Pesticide Science**, v. 47, p. 191-197, 1996.
- LIANG, S.J. et al. Effects of stem structural characters and silicon content on lodging resistance in rice (*Oryza sativa* L.). **Research on Crops**, v. 14, p. 621–636, 2013.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, set. 1999.
- LIU, J.G. et al. Silicon attenuates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* L. by reducing cadmium uptake and oxidative stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 68, p. 1-7, 2013
- LO, C. S. C.; NICHOLSON, R. L. Phenolic compounds and their importance in plant disease, In: LEITE, B. et al. Physiology, biochemistry, and molecular biology of plant-pathogen interactions. São Paulo: FEALQ, 2008. p.283-303.
- LUO, Y. et al. Inoculum dynamics, fruit infection, and development of brown rot in prune orchards in California. **Phytopathology**, v. 95, p. 1132-1136. 2005.
- LUO, Y.; MICHAILIDES, T. J. Factors affecting latent infection of prune fruit by *Monilinia fructicola*. **Phytopathology**, v. 91, p.864-872. 2001.
- LUO, Y.; MICHAILIDES, T. J. Threshold conditions that lead latent infection to prune fruit rot caused by *Monilinia fructicola*. **Phytopathology**, v. 93, p. 102-111. 2003.
- MA, J.F., MYAKEY, Y., TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plants**. In: DATINOFF et al. Silicon on Agriculture, 2001. cap.2, p.17-39.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Kioto: Elsevier Science, 2002, 281p.
- MA, J. F. Silicon and sodium. **Encyclopedia Soil Science**, v.1, p.1568–1573, 2006.
- MA, J.F., YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.65, p.3049-3057, 2008.

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

MARTINS, M. C. et al. Quantificação de danos pós-colheita em pêssegos no mercado atacadista de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.587-592, 2005.

MATEOS-NARANJO, E.; ANDRADES-MORENO, L.; DAVY, A.J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 63, p. 115-121, 2013.

MATYCHENKOV, V.V.; PINSKLY, D.L.; BOCHARNIKOVA, Y.A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, v.27, n.12, p.58-67, 1995.

MAY-DE MIO, L. L. GARRIDO, L.; UENO, B.. Doenças de fruteiras de caroço. In: MONTEIRO, L. B. et al. **Fruteiras de caroço: uma visão ecológica**. Curitiba: UFPR, p. 169-221. 2004.

MAY-DE MIO, L. L. et al. Infecção de *Monilinia fructicola* no período de floração e incidência de podridão parda em frutos de pessegueiro em dois sistemas de produção. **Tropical Plant Pathology**, v.33, p.227-234, 2008.

MAY DE MIO L.L. et al. Doenças da cultura do pessegueiro e métodos de controle. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Ed.). **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 355-432.

MEDEIROS, G.; MEDEIROS, C. A. Controle químico de *Monilinia fructicola* em pessegueiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 283, 1997. Suplemento.

MEHARG, C.; MEHARG, A.A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? **Environmental and Experimental Botany**, v.120 p. 8–17, 2015.

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

MÉTRAUX, J. –P. Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. **European Journal of Plant Pathology**, v. 107, p. 13-18, 2001.

MICHAILIDES, T. J. et al. Cultural and chemical controls of preharvest and postharvest brown rot of peach, nectarines, and plums, and Mucor rot of late varieties of nectarines and plums. Pages 86-101 in: Res. Rep. Calif. Tree Fruit Agreement, Reedley. 1995.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.1255 – 1261, 2005.

MONDINO, P. Hacia una política de racionalización del uso de agrotóxicos. In: DOMINGUEZ, A.; PRIETO, R. (Eds.). **Perfil Ambiental del Uruguay**, p. 93-97, 2003.

MORAES, S.R. et al. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.283-291, 2006.

MOREIRA, L. M. **Alternativas de controle integrado da podridão parda do pessegueiro**. 2005. 90f. Tese (Doutorado em agronomia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MOREIRA, L. M.; MAY-DE MIO, L. M. Crescimento micelial de *Monilinia fructicola* e *Trichothecium roseum* em diferentes temperaturas e sensibilidade do antagonista a fungicidas e fosfitos. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 3, p. 337-341. 2007.

MOREIRA, L. M.; MAY DE MIO, L. M. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.2, p.405-411, 2009.

NICHOLSON, R. L. Events in resistance expression in maize and sorghum: Molecular and biochemical perspectives. **Summa Phytopathologica**. v.21, p.95-99, 1995.

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

NING, D., et al. Effects of slag-based silicon fertilizer on rice growth and brown spot resistance. **PLoS One**, v.9, e102681, 2014.

NOLLA, A. et al. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. **Journal Food Agriculture Environ**, v. 10, p. 269–272, 2012.

NORTHOVER, J.; CERKAUSKAS, R. F. Detection and significance of symptom less latent infections of *Monilinia fructicola* in plums. **Jounal Plant Pathology**. v. 16, p.30-36, 1994.

NOVO, R. J. et al. **Protection vegetal**. Córdoba: Editora Triunfar, 2001. 600p.

OGAWA, J. M.; ENGLISH, H. Diseases of Temperate Zone Tree Fruit and Nut Crops. Univ. Calif. Div. Agric. **Natural Resources**, n. 3345. 1991.

OLIVEIRA, L.A.; CASTRO, N.M. Ocorrência de Sílica nas Folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**, 2002.

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

PAVANELLO, E.P. et al. Eficiência de fungicidas no controle da podridão parda do pessegueiro e sua relação com parâmetros fisiológicos dos frutos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 67-76, 2015a.

PAVANELLO, E.P. et al. Postharvest biological control of brown rot in peaches after cold storage preceded by preharvest chemical control. **Revista Ceres**, v. 62, p.539-545, 2015b.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de

silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27, n.1, p.101-108, 2003.

POLANCO, L.R. et al. Biochemical aspects of bean resistance to anthracnose mediated by silicon. **Annals of Applied Biology**, v.161, p.140-150, 2012.

PRING, R. J.; BYRDE, R. J. W.; WILLETTS, H. J. An ultrastructural study of the infection of pear fruit by *Monilinia fructigena*. **Physiological Plant Pathology**, v. 19, p. 1–6, 1981.

PRUSKY, D. Pathogen quiescence in postharvest diseases. **Annual Review of Phytopathology**. v. 34, p. 13-34, 1996.

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

RAHMAN, A.; WALLIS, C. M.; UDDIN, W. Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopatology**, v.105, p. 748-757, 2015.

RAVEN, J. A. **Silicon transport at the cell and tissue level**. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). Silicon in agriculture. Amsterdam, Elsevier Science 2001, p. 41-55.

RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induces antifungal compounds in powdery mildew-infected wheat. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.66, p.108-115, 2005.

REIS, M. E.; FORCELINI, C. A.; REIS, A. C. **Manual de fungicidas: Guia para o controle químico de doenças de plantas**. 6<sup>a</sup> ed. Editora UPF, 2010. 226p.

RODRIGUES, F. et al. Effect of rice growth stages and silicon on sheath blight development. **Phytopathology**, v.93, p.256– 261, 2003.

RODRIGUES, M.A.T. **Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. 249f. Dissertação (Dissertação em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. São Paulo.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. **Silicon and Plant Diseases**, Springer International Publishing. 2015.

RITCHIE, D. F. Brown rot of stone fruits. **The American Phytopathological Society**. 2000. Disponível:  
<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/BrownRotStoneFruits.aspx>. Acesso em: 07 de março de 2015.

SAUTTER, C. K. et al. Controle da podridão-parda e características físico-químicas de pêssegos ‘Magnum’ submetidos a tratamentos pós-colheita com elicitores abióticos. **Revista Ceres**, v. 58, n.2, p. 172-177. 2011.

SANGSTER, A.G.; HODSON, M.J.; TUBB, H.J. **Silicon deposition in higher plants**. In:

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. editors. Silicon in agriculture, The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p. 85–113.

SCHLAGBAUER, H. E.; HOLZ, G. Occurrence of latent *Monilinia laxa* infections on plums, peaches e apricots. **Phytophylactica**. v. 21, p. 35-38, 1989.

SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R.; PASCHOLATI, S. F. Mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. In: PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B.; STANGARLIN, J.R.; CIA, P. (Ed.). **Interação Planta Patógeno – fisiologia, Bioquímica e Biologia Molecular**. Piracicaba: FEALQ, 2008. p.227-248.

SHI, Y. et al. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 78 p. 27-36, 2014.

SILVA, L.P. da; SILVA, L.S. da; BOHNEN, H. Componentes da parede celular e digestibilidade in vitro de palha de arroz (*Oryza sativa*) com diferentes teores de silício. **Ciência Rural**, v.35, p.1205-1208, 2005.

SILVA, W.L. da, et al. Histochemical aspects of wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Scientia Agricola**, v.72, p.322-327, 2015.

SENDER, S. D; CALLAHAN, A. Variability in the quantities of condensed tannins and other major phenols in peach fruit during maturation. **Journal of Food Science**. v.55. p.1585. 1990.

SMITH, M. A. Infection studies with *Sclerotinia fructicola* on brushed and non brushed peaches. **Phytopathology**, v.26, p.1056–1060, 1936.

SOMMER, M., et al. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. **Journal Plant Nutrition. Soil Science**. v.169, p.310–329, 2006.

SOUZA, A. L. B, et al. Efeito de cálcio na cura de fermento e na resistência de pêssigo ao ataque de *Monilinia fructicola* (Wint) Honey. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 3, p. 616-624. 2001.

SOUZA, D.C. et al. First report of *Monilinia laxa* causing brown rot on peaches in Brazil. **Phytopathology**, v.94, n.6, p. S149-149, 2008.

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

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silicain the growth of rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v.12, p.23-8, 1966.

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

TAIZ, L. ZEIGER, E., **Fisiologia Vegetal**, 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TERUI, M.; HARADA, Y. Apothecial production of *Monilinia fructicola* on artificial media. **Transactions of the Mycological Society of Japan**, v.7, p.309-311, 1966.

THEWES, F.R. et al. O molhamento do fruto como causa do escurecimento pós-colheita da epiderme de pêssego cultivar Eragil. In: **I Congresso de Iniciação Científica e Pós-Graduação**, 2010, Florianópolis. I Congresso de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 2010.

TIAN, S.P.; BERTOLINI, P. Effect of temperature during conidial formation of *Monilinia laxa* on conidial size, germination and infection of stored nectarines. **Journal of Phytopathology**, v.147, p.635–641, 1999.

TISDALE, S. L. et al. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillan, 1993. 634 p.

TOMLIN, C. D. S. **The pesticide manual – a world compendium**. Surrey, UK: British Crop Protection Council. 11 ed., 1997. p. 1252-4.

TOMLIN, C. D. S. **The pesticide manual: a world compendium**. Surrey, Uk: British Crop Protection Council, 12 ed., 2002.1 - CD-ROM.

WADE, G. C.; CRUICKSHANK, R. H. Rapid development of resistance of wounds on immature apricot fruit to infection with *Monilinia fructicola*. **Journal of Phytopathology**, v.136, p. 89–94, 1992.

WAGNER JÚNIOR, A. et al. Peach flower reaction to inoculation with *Monilinia fructicola* (Wint.) Honey. **Journal of the Pomological Society**, Blacksburg, v.59, n.03, p.141-147, 2005a.

WAGNER JÚNIOR, A. et al. Non-Correlation of Flower and Fruit Resistance to Brown Rot (*Monilinia fructicola* (Wint.) Honey) Among 27 Peach Cultivars and Selections. **Journal of the American Pomological Society**, v.59, n.03, p.148-152, 2005b.

WALDEMAR FILHO, P. DE C.; CAMARGO, F. P.; ALVES, H. S. Algumas sugestões para a expansão da agropecuária orgânica no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.37, n.6, 2007.

WALKER, G. M.; WHITE, N. A. Introduction to Fungal Physiology. In: KAVANAGH, K. **Fungi: Biology and Applications**, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005, 280p.

WALTERS, D.; NEWTON, A.; LYON, G. **Induced resistance for plant defence – a sustainable approach to crop protection**. Oxford: Blackwell, 2007. 258p.

WATSON, W. A.; ZEHR, E. I.; GRIMES, L. W. Influence of Temperature and Wetting Period on Inoculum Production by *Monilinia fructicola* in Peach Twig Cankers. **Plant Disease**, v. 86, n.6, p. 666-668. 2002.

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

WILLETTS, H. J.; HARADA, Y. A review of apothecial production by *Monilinia* fungi in Japan. **Mycologia**. v.76, p.314-325, 1984.

WITTIG, H. P. P.; JOHNSON, K. B.; PSCHEIDT, J. W. Effect of epiphytic fungi on brown rot blossom blight and latent infections in sweet cherry. **Plant Disease**, v.81, p.383-387, 1997.

VAN BOCKHAVEN, J.; DE VLEESSCHAUWER, D.; HÖFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, p. 1281-1293, 2013.

VILLARINO, M. et al. Secondary inoculum dynamics of *Monilinia* spp. and relationship to the incidence of postharvest brown rot in peaches and the weather conditions during the growing season. **European Journal of Plant Pathology**, v.133, p.585–598, 2012.

VILLARINO, M. et al. High Chlorogenic and Neochlorogenic Acid Levels in Immature Peach Reduce *Monilinia laxa* Infection by Interfering with Fungal *Melanin Biosynthesis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.3205–3213, 2011.

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

XU, X.-M.; BERTONE, C.; BERRIE, A. Effects of wounding, fruit age and wetness duration on the development of cherry brown rot in the UK. **Plant Pathology**, v.56, p.114–119, 2007.

ZHANG, C. et al. Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? **Plant Soil**, v.372, p.137–149, 2013.

ZEHR, E. I. Control of brown rot in peach orchards. **Plant Disease**. v.66, p.1101-1105, 1982.





## APÊNDICE A

Apêndice A – Sintomas de fitotoxidez por metassilicato de sódio em pessegueiro.



Fonte: PAVANELLO, 2015.



## APÊNDICE B

Apêndice B – Custo dos fungicidas por aplicação e análise econômica.

Custo por aplicação					
Ingrediente Ativo	Nome comercial	Dose p. c. <sup>1</sup>	Dose por ha <sup>2</sup>	Custo por kg ou L (R\$)	Custo produto (R\$ ha <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>
Iprodiona	Rovral	150 mL 100 L <sup>-1</sup>	1,5 L ha <sup>-1</sup>	125,00	187,50
Tebuconazol	Folicur 200 CE	100 mL 100 L <sup>-1</sup>	1 L ha <sup>-1</sup>	125,00	125,00
Iminoctadina	Belkute	150 mL 100 L <sup>-1</sup>	1,5 L ha <sup>-1</sup>	125,00	187,50
Procimidona	Sumilex	200 g 100 L <sup>-1</sup>	2 kg ha <sup>-1</sup>	125,00	250,00
Metassilicato de sódio	-	600 g 100 L <sup>-1</sup>	6 kg ha <sup>-1</sup>	4,80	28,80
Silicato de sódio	-	600 g 100 L <sup>-1</sup>	6 L ha <sup>-1</sup>	1,94	11,64
Pó de rocha	Rocksil	1 kg 100 L <sup>-1</sup>	10 kg ha <sup>-1</sup>	16,00	160,00

Análise econômica na colheita					
Tratamentos	Custo das aplicações (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Controle da <i>M. fructicola</i> <sup>4</sup> (%)	Produção (Kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	Retorno Econômico (R\$ ha <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	Retorno econômico (%) <sup>7</sup>
Testemunha	0,00	63,6	10494,0	30747,4	-
Silicato de sódio - SS (6x)	69,84	86,8	14322,0	41893,6	36,2
Fungicidas - (Procimidona, Iminoctadina (2x), tebuconazol (2x) e iprodiona)	750,00	85,8	14173,5	40778,3	32,6
Iminoctadina + SS + Tebuconazol + SS + Iprodione + SS	534,92	84,6	13959,0	40364,9	31,3
Iminoctadina + MS + Tebuconazol + MS + Iprodione + MS	586,40	89,0	14685,0	42440,6	37,8
Iminoctadina + R + Tebuconazol + R + Iprodione + R	855,00	81,8	13513,5	38739,5	26,0

Análise econômica em pós-colheita (35 dias em AR mais 4 dias a 20°C)					
Tratamentos	Custo das aplicações (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Controle da <i>M. fructicola</i> <sup>4</sup> (%)	Produção (Kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	Retorno Econômico (R\$ ha <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	Retorno econômico (%) <sup>7</sup>
Testemunha	0,00	27,2	4448,0	13032,6	-
Silicato de sódio - SS (6x)	69,84	62,8	10362,0	30290,8	132,4
Fungicidas - (Sumilex, Iminoctadina (2x), tebuconazol (2x) e iprodiona)	750,00	71,8	11847,0	33961,7	160,6
Iminoctadina + SS + Tebuconazol + SS + Iprodione + SS	534,92	52,5	8662,5	24846,2	90,6
Iminoctadina + MS + Tebuconazol + MS + Iprodione + MS	586,40	63,6	10494,0	30161,0	131,4
Iminoctadina + R + Tebuconazol + R + Iprodione + R	855,00	64,0	10560,0	30085,0	130,8

Preços dos produtos obtidos em 20 de dezembro de 2015. <sup>1</sup> Dose do produto comercial em 100 L de água. <sup>2</sup> Volume de aplicação da calda: 1000 L ha<sup>-1</sup>. <sup>3</sup> Custo do produto por aplicação. <sup>4</sup> % de controle da *Monilinia fructicola*. <sup>5</sup> Produção em relação à % de controle. Para o cálculo usou-se uma produção estimada de 16.500 kg ha<sup>-1</sup> e o preço do kg foi estimado em R\$ 2,93 (AGRIANUAL, 2014). <sup>6</sup> Retorno econômico calculado pela fórmula RE = ((produção do tratamento x Preço do kg de pêssego) – Custo das aplicações). O custo foi calculado levando em consideração apenas o preço do produto. <sup>7</sup> Porcentagem de retorno em relação à testemunha.