

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DIEGO TOLENTINO DE LIMA

**SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E
INDIRETA DO SORGO AOS PULGÕES**

UBERLÂNDIA/MG
2018

DIEGO TOLENTINO DE LIMA

**SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E
INDIRETA DO SORGO AOS PULGÕES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UBERLÂNDIA/MG
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

L732s
2018 Lima, Diego Tolentino de, 1989
 Silício na produtividade e na indução de resistência direta e indireta
do sorgo aos pulgões / Diego Tolentino de Lima. - 2018.
 75 p. : il.

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.471>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Sorgo - Doenças e pragas - Teses. 3. Silício
na agricultura - Teses. 4. Parasitóides - Teses. I. Sampaio, Marcus
Vinicius. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

DIEGO TOLENTINO DE LIMA

**SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E
INDIRETA DO SORGO AOS PULGÕES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque	UFMG
Prof. Dr. Fernando Juari Celoto	UFU
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira	UFU
Prof. Dr. Reinaldo Silva de Oliveira	IFTM

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio
UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA/MG
2018

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade concedida para realizar o doutorado e ao corpo docente, servidores e alunos, vinculados ao ICIAG pela amizade, disposição e profissionalismo.

Aos meus pais, Salvador e Divina de Fátima, e meus irmãos Diuleígor e Djulie Hellen, pelo apoio, convívio e amizade.

Ao orientador Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio, pela valiosa orientação, dedicação, paciência, ensinamentos, críticas, conselhos e amizade.

Ao Prof. Dr. Carlos Juliano e seu orientado Weslei Martins, pela grande ajuda, apoio e ensinamentos, principalmente nos experimentos de campo.

À equipe do Laboratório de Controle Biológico (LACOB), em especial Ana Letícia, Anakely, David, Edmundo, Gabriel, Giovana, Lohayne, pela grande ajuda.

Às equipes do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), juntamente com o professor Hamilton Seron; Laboratório de Nanobiotecnologia (NANOs), juntamente com o professor Lúcio Girão e a Fabiana; Laboratório de Filmes Poliméricos e Nanotecnologia (LAFIP), juntamente com a professora Ana Graci e a Ana Cristina, pelo apoio em análises diversas.

À Agroneli e à Ercal, pela doação do Agrosilício e Calcário, para a realização dos experimentos.

Às amizades feitas na UFU, Ariel, David, Daniel, Ermane, Roberta, Alyne, Thiago, e todo pessoal do Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC)

À EPAMIG Patos de Minas pelo apoio durante a semeadura dos experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, (FAPEMIG) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides (INCHTHYMPAR/CNPq, CAPES e FAPESP), pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação pessoal e profissional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO SORGO	5
3.2 DOENÇAS E PRAGAS DO SORGO.....	6
3.2.1 Principais espécies de pulgões que atacam o sorgo.....	8
3.3 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS	10
3.3.1 Indução de resistência direta e indireta por silício	11
3.4 PARASITOIDES NO CONTROLE DE PULGÕES	16
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SORGO À ADUBAÇÃO COM SILÍCIO	18
4.1.1 Preparo do solo	18
4.1.2 Semeadura, adubação e tratamentos	18
4.1.3 Coleta das plantas e análise de silício.....	19
4.1.4 Análise dos dados	19
4.2 EFEITO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E INDIRETA E NA PRODUTIVIDADE DO SORGO	20
4.2.1 Local do experimento e tratamentos.....	20
4.2.2 Características, preparo e adubação do solo.....	22
4.2.3 Avaliações semanais de pulgões e seus parasitoides.....	23
4.2.4 Coleta de folhas e análise de silício.....	23
4.2.5 Avaliações na colheita	23
4.2.6 Análise dos dados	24
4.3 ATRATIVIDADE DE PARASITOIDES NO CAMPO	25
4.3.1 Local do experimento	25
4.3.2 Criação de <i>S. graminum</i>	25
4.3.3 Preparo do solo, semeadura e adubação	26
4.3.4 Infestação das plantas, exposição ao parasitismo e avaliações	26
4.3.5 Análise dos dados	27
4.4 EFEITO DO SILÍCIO NA QUALIDADE DE <i>S. graminum</i> PARA <i>L. testaceipes</i>	27
4.4.1 Local do experimento	27
4.4.2 Preparo do solo, semeadura e adubação	28

4.4.3 Criação de <i>S. graminum</i> e <i>L. testaceipes</i>	28
4.4.4 Infestação das plantas com <i>S. graminum</i> e parasitismo por <i>L. testaceipes</i>	28
4.4.5 Peso dos insetos e quantificação de proteín.....	29
4.4.6 Coleta das plantas e análise de silício.....	30
4.4.7 Análise dos dados	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SORGO À ADUBAÇÃO COM SILÍCIO	31
5.2 EFEITO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E INDIRETA E NA PRODUTIVIDADE DO SORGO	33
5.2.1 Silício foliar	33
5.2.2 Avaliações semanais de pulgões e seus parasitoides.....	36
5.2.3 Avaliações na colheita	42
5.3 ATRATIVIDADE DE PARASITOIDES NO CAMPO	48
5.4 EFEITO DO SILÍCIO NA QUALIDADE DE <i>S. graminum</i> PARA <i>L. testaceipes</i>	50
6 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55

RESUMO

LIMA, DIEGO TOLENTINO DE. **Silício na produtividade e na indução de resistência direta e indireta do sorgo aos pulgões**. 2018. 78 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

O silício (Si) como indutor de resistência às plantas contra pragas e doenças, seja por ação mecânica, produção de compostos químicos ou pela atração do terceiro nível trófico, é objeto de várias pesquisas. O objetivo do trabalho foi avaliar, em condições de casa de vegetação e campo, o efeito da adubação com Si na produtividade e na indução de resistência direta e indireta a pulgões na cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*). Em casa de vegetação, 16 genótipos de sorgo foram avaliados quanto à resposta à adubação silicatada, em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 16x2 (0 e 261 kg ha⁻¹ de Si), com três repetições. Desses genótipos, quatro responsivos à adubação com Si foram avaliados no campo, com delineamento em blocos casualizados, quatro repetições, em fatorial 4x2x3 (4 genótipos x 2 doses, 0 e 400 kg ha⁻¹ de Si, x 3 épocas de semeadura). Foi avaliado o número semanal de pulgões e parasitoides no campo, concentração de Si acumulado na folha, altura da planta, porcentagem de acamamento e de plantas atacadas por broca (*Diatraea saccharalis*), notas de severidade da doença antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), rendimento de grãos, massa fresca e seca de plantas de sorgo produzidas no campo. Em um ensaio no campo durante a terceira época de plantio a atratividade de parasitoides foi avaliada pelo número de pulgões parasitados. Em experimento em casa de vegetação foram avaliados o acúmulo de Si na planta de sorgo, peso e quantificação de proteína no pulgão *Schizaphis graminum* e no parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* desenvolvidos em plantas com e sem Si. A resposta do sorgo à adubação com Si, em casa de vegetação, variou em função do genótipo, sendo que dos 16 genótipos testados, 12 foram responsivos acumulando mais Si quando adubados com esse elemento. Genótipos responsivos em casa de vegetação, também foram no campo. No entanto, não foi verificada influência do Si sobre o rendimento de grãos nem na produção de massa fresca e seca no sorgo, apesar de reduzir o acamamento das plantas. No campo, a adubação silicatada, via solo, promoveu a indução de resistência direta em dois genótipos de sorgo a *S. graminum*, reduzindo o número médio de pulgões por planta. A indução de resistência indireta por silício em plantas de sorgo foi observada em campo, pelo maior parasitismo de pulgões pelo inimigo natural *L. testaceipes* em plantas adubadas com Si. A resistência induzida por Si à doença antracnose em sorgo também foi verificada no campo, reduzindo as notas de severidade dessa doença. Entretanto a resistência induzida por Si à broca, *D. saccharalis*, não foi verificada, nas mesmas condições. O acúmulo de Si pela planta de sorgo não reduziu o tamanho e o teor de proteína do hospedeiro *S. graminum* e nem do parasitoide *L. testaceipes*. O silício induziu resistência direta e indireta do sorgo ao pulgão *S. graminum*.

Palavras-chave: Adubação silicatada. Parasitoide. *Sorghum bicolor*. *Schizaphis graminum*. *Lysiphlebus testaceipes*. MIP.

¹Orientador: Marcus Vinicius Sampaio - UFU

ABSTRACT

LIMA, DIEGO TOLENTINO DE. **Silicon in the productivity and induction of direct and indirect resistance of sorghum to aphids.** 2018. 78 p. Thesis (PhD in Agronomy / Phytotechnology) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

Silicon (Si) as an inducer of plant resistance against pests and diseases, either by mechanical action, production of chemical compounds or attraction of the third trophic level, is the subject of several of research. The goal of this study was to evaluate the effect of fertilization with Si on productivity and induction of direct and indirect resistance to aphids in sorghum (*Sorghum bicolor*) culture under greenhouse and field conditions. In a greenhouse, 16 sorghum genotypes were evaluated for the response to Si fertilization, in a completely randomized design, with two fixed factors 16x2 (0 and 261 kg ha⁻¹ of Si), with three replications. Of these genotypes, four responses to Si fertilization were evaluated in the field, with a randomized block design, four replications, and three fixed factors 4x2x3 (4 genotypes x 2 doses, 0 and 400 kg ha⁻¹ of Si, x 3 sowing seasons). The weekly number of aphids and parasitoids in the field, accumulated Si concentration in the leaf, plant height, percentage of lodging and plants attacked by borer (*Diatraea saccharalis*), severity of anthracnose disease (*Colletotrichum sublineolum*), yield of grains, fresh and dry mass of sorghum plants produced in the field, were evaluated. In an experiment in the field during the third planting season the attractiveness of parasitoids was evaluated by the number of parasitized aphids. In a greenhouse experiment, the accumulation of Si in the sorghum plant, weight and quantification of the protein in the aphid *Schizaphis graminum* and in the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* were evaluated in plants with and without Si. The response of sorghum to Si fertilization under greenhouse conditions varied according to the genotype, and of the 16 genotypes tested, 12 were responsive accumulating more Si when fertilized with this element. Responsive genotypes in a greenhouse were also in the field. However, Si influence on grain yield and fresh and dry mass production in sorghum was not verified, although it reduced the lodging of the plants. In the field, Si fertilization, via soil, promoted the induction of direct resistance in two sorghum genotypes to *S. graminum*, reducing the average number of aphids per plant. The induction of indirect resistance by silicon in sorghum plants was observed in the field by the greater parasitism of aphids by *L. testaceipes* in plants fertilized with Si. The resistance induced by Si to anthracnose disease in sorghum was also verified in the field, reducing the severity of this disease. However, the resistance induced by Si to the borer, *D. saccharalis*, was not verified under the same conditions. The accumulation of Si by the sorghum plant did not reduce the size and protein content of the host *S. graminum* nor of the parasitoid *L. testaceipes*. Silicon induced direct and indirect resistance of sorghum to *S. graminum* aphid.

Keywords: Silicified fertilization. Parasitoid. *Sorghum bicolor*. *Schizaphis graminum*. *Lysiphlebus testaceipes*. IPM.

¹Advisor: Marcus Vinicius Sampaio - UFU

1 INTRODUÇÃO

O Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, que é composta principalmente de silicatos (EPSTEIN, 2009). Na solução do solo, o Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4) via canais tipo aquaporina, que são proteínas específicas de transporte (DESHMUKH et al., 2013; GRÉGOIRE et al., 2012; MA et al., 2006). A absorção se dá juntamente com a água (fluxo de massa), se polimerizando principalmente nas áreas de máxima transpiração, na forma fitólitos de óxido (SiO_2) amorfo inorgânico. A maior parte do Si é incorporada na parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos e tricomas, ou depositada juntamente a outros elementos, originando os depósitos de fitólitos (HARTLEY et al., 2015; MA, 2004; MITANI; MA, 2005).

Mesmo não sendo considerado essencial do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e desenvolvimento de plantas, aumentam as evidências na literatura que o Si é benéfico para as plantas, desempenhando papéis importantes na defesa contra o estresse abiótico e biótico incluindo insetos herbívoros e patógenos (BAKHAT et al., 2018; EPSTEIN, 1999; LUYCKX et al., 2017; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009; REYNOLDS et al., 2016). Alguns estudos também demonstram efeito indireto do Si sobre a atração de inimigos naturais, contribuindo para o controle biológico (KVEDARAS et al., 2010; LIU et al., 2017; OLIVEIRA, 2012). O Si induz resistência às pragas em trigo (GOMES et al., 2005), arroz (NASCIMENTO et al., 2014), cana-de-açúcar (CAMARGO et al., 2010), milho (ALVARENGA et al., 2017) e sorgo (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES; CARVALHO, 2002).

A maioria das culturas da família Poaceae são consideradas plantas acumuladoras de Si, assim como o sorgo (KORNDÖRFER; LEPSCH, 2001). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2016; 2017) entre os países maiores produtores mundiais de sorgo o Brasil é o décimo, sendo que na safra 2016/17 a produção e a produtividade da cultura aumentaram, apesar do recuo da área, registrando um consumo mundial de 62,74 milhões de toneladas nessa safra. Entretanto a lavoura de sorgo pode sofrer prejuízos devido ao ataque de insetos-praga, como o pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), considerado uma praga-chave no sorgo (MENDES et al., 2014)

Trabalhos desenvolvidos em laboratório evidenciam o efeito do Si na indução de resistência de plantas contra o pulgão *S. graminum* em Poaceae, como sorgo e trigo

(REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009). Carvalho, Moraes e Carvalho (1999), relataram efeito do Si na resistência do sorgo a *S. graminum*, reduzindo a preferência, o período reprodutivo, longevidade de adultos e fecundidade do pulgão. Já Moraes e Carvalho (2002) observaram aumento na mortalidade de *S. graminum* no período pré-reprodutivo e redução na produção de ninfas. Goussain, Prado e Moraes, (2005) sugeriram que mudanças químicas induzidas por Si em plantas de trigo reduziram o tempo da picada de prova de *S. graminum*. Gomes et al. (2005) verificaram que a aplicação de Si ativou e aumentou a síntese de enzimas de defesa na planta de trigo, peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amonialiase, reduzindo a taxa de crescimento e também a preferência desse inseto-praga.

Apesar dos benefícios do Si no controle de pulgões, o efeito da adubação da planta com esse elemento poderia afetar negativamente o desenvolvimento dos parasitoides, comprometendo o controle biológico. Pois o aumento do teor de Si nas plantas promove redução no período reprodutivo e/ou a fecundidade dos pulgões (BASAGLI et al., 2003; CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; DIAS et al., 2014; MORAES; CARVALHO, 2002; RANGER et al.; 2009) e estudos realizados por Jandricic et al. (2014) mostram que fatores que promovem a redução da fecundidade do pulgão levam a um pior desenvolvimento do parasitoide. No entanto estudos de Moraes et al. (2004) mostraram que mesmo a adição de Si, promovendo uma redução na fecundidade do pulgão *S. graminum*, não há alteração no desenvolvimento do parasitoide *Aphidius colemani*.

Assim o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o acúmulo de Si no sorgo, o efeito da adubação com Si em características de produtividade e na indução de resistência a insetos e doenças na cultura do sorgo, e a interferência do Si no terceiro nível trófico.

2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o acúmulo de silício em diferentes genótipos de sorgo.

- Hipótese nula (H_0): genótipos de sorgo não acumulam mais silício quando há adubação com esse elemento.

- Hipótese alternativa (H_1): genótipos de sorgo acumulam mais silício quando há adubação com esse elemento.

($H_{1,1}$): genótipos de sorgo acumulam silício em proporções semelhantes.

($H_{1,2}$): genótipos de sorgo acumulam silício em proporções diferentes.

Avaliar a indução de resistência direta e indireta, por silício, a pulgões, em genótipos de sorgo.

- Hipótese nula (H_0): a adubação com silício não induz resistência a pulgões no sorgo.

- Hipótese alternativa (H_1): a adubação com silício induz resistência a pulgões no sorgo.

($H_{1,1}$): o silício induz resistência direta e indireta a pulgões no sorgo.

($H_{1,2}$): o silício induz resistência direta a pulgões no sorgo.

($H_{1,3}$): o silício induz resistência indireta a pulgões no sorgo.

Avaliar o efeito da adubação com silício no ataque de *Diatraea saccharalis* em genótipos de sorgo.

- Hipótese nula (H_0): a aplicação de silício não interfere na incidência de *D. saccharalis* no sorgo.

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício reduz a incidência de *D. saccharalis* no sorgo.

Avaliar o efeito da adubação com silício na severidade de ataque por antracnose em genótipos de sorgo.

- Hipótese nula (H_0): a aplicação de silício não interfere na incidência de antracnose no sorgo.

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício reduz a incidência de antracnose no sorgo.

Avaliar o efeito da adubação com silício na produtividade do sorgo.

- Hipótese nula (H_0): a aplicação de silício não interfere na produtividade da cultura do sorgo.

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício aumenta a produtividade da cultura do sorgo.

Avaliar a interferência do silício na qualidade de *Schizaphis graminum* como hospedeiro para *Lysiphlebus testaceipes*.

- Hipótese nula (H_0): a aplicação de silício não interfere na qualidade de *S. graminum* para *L. testaceipes* em sorgo.

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício interfere na qualidade de *S. graminum* para *L. testaceipes* em sorgo.

($H_{1.1}$): a aplicação de silício reduz a qualidade de *S. graminum*.

($H_{1.2}$): a aplicação de silício aumenta a qualidade de *S. graminum*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO SORGO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é o quinto cereal mais plantado no mundo, ficando atrás somente do trigo, do arroz, do milho e da cevada (PEREIRA FILHO; RODRIGUES, 2015; SABALLOS, 2008). A produção mundial de sorgo na safra 2016/17, da ordem de 62,78 milhões de toneladas, significa um incremento de 5%, em relação ao que foi produzido globalmente no ano anterior (2015/16), porém com recuo da área plantada, de 3,5%, passando de 43,02 para 41,53 milhões de hectares em 2016/17. Isso significa que a produtividade aumentou em 8,63% (de 1,39 tonelada/hectare em 2015/16 para 1,51 tonelada/hectare em 2016/17). Já o consumo mundial do sorgo registrou expansão de 2,08%, foram consumidas 61,46 milhões de toneladas em 2015/16 e 62,74 em 2016/17 (CONAB, 2017).

Estados Unidos é o maior produtor mundial de sorgo, seguido por México, Nigéria, Índia, Sudão, Argentina, Etiópia, China, Austrália e o Brasil em décimo (CONAB, 2016). A produção brasileira de sorgo quase dobrou de volume na safra 2016/17 (2,14 milhões de toneladas) em comparação com 2015/16 (1,17 milhões de toneladas), que de acordo com o IBGE (2017), cresceu 82,3%. A área plantada cresceu de 580 mil para 761 mil hectares, ou seja, 31,4% dessa forma a produtividade também aumentou em 38,7%, passou de 2,03 para 2,82 toneladas por hectare (IBGE, 2017).

O estado de Goiás, sendo o maior produtor do país, foi o responsável pelo impulso no aumento da última safra. Somente neste estado foram produzidas 778 mil toneladas de sorgo 2016/17, um aumento de 124,3% em relação à safra anterior (346 mil toneladas), reflexo do aumento na área colhida em 32,7% e, principalmente na produtividade média das lavouras de 2,11 para 3,58 toneladas por hectare (69,1% de aumento) (IBGE, 2017).

No Brasil as principais finalidades do cultivo do sorgo são grãos e forragem. A expressiva expansão da cultura nos últimos anos agrícolas se deu, do ponto de vista agrônomo, pelo elevado potencial produtivo, fonte de energia qualificada para ração animal, ensilagem, feno, pastejo direto, além de ser uma planta resistente a períodos prolongados de estresse hídrico e às condições de baixa fertilidade dos solos, que oferecem maiores riscos para outras culturas, notadamente o milho (RIBAS, 2003; RODRIGUES, 2015; SABALLOS, 2008).

É um dos cereais atualmente cultivados que têm a melhor tolerância à seca (comum em locais com precipitação média anual variando de 375 a 625 mm), explorando de forma eficiente as camadas mais profundas do solo em busca de água disponível, sendo cultivado em todo mundo em regiões tropicais semiáridas (DOGGETT, 1988; RAMATOULAYE et al., 2016; SANI et al., 2011). Se tornando uma alternativa para a produção de grãos em locais com solos pobres onde o milho não tem um bom desempenho, bem como em regiões com a estação do inverno quente e seco (KAYE et al., 2007; MATEUS et al., 2011; SABALLOS, 2008; SANI et al., 2011; SURVE; ARVADIA, 2012).

Pesquisas em recurso renováveis, como a biomassa lignocelulósica (culturas energéticas), indicam que algumas culturas podem fornecer matéria-prima para a produção de biocombustíveis de segunda geração, conduzindo a um crescente interesse nessas culturas (CARLIN; ROSSETTO, 2014). Segundo Cardoso et al. (2013), dentre estas culturas se incluem gramíneas com rápido crescimento e alta produtividade de biomassa, como o sorgo, que pode oferecer as seguintes vantagens: rapidez no ciclo (quatro meses); cultura totalmente mecanizável; colmos com açúcares diretamente fermentáveis; utilização do bagaço como fonte de energia para industrialização ou forragem para animais.

Assim como demais plantas cultivadas, a lavoura de sorgo pode sofrer prejuízos devido ao ataque de doenças e insetos-praga. Sujeita ao ataque de muitos agentes fitopatogênicos, com destaque para as doenças foliares, as perdas na cultura do sorgo podem ser superiores chegar a 70%, sob condições de epidemias severas, principalmente quando há alternância de condições secas e úmidas associadas a temperaturas elevadas (CASELA et al., 1997; CASELA et al., 2003; SILVA et al., 2014). Dentre os insetos, o grupo de sugadores e vetores de fitopatógenos (vírus), pela sucção de seiva e injeção de toxinas causam dano direto nas plantas, transmitem doenças (dano indireto), podendo reduzir significativamente a produção ou mesmo matando plantas jovens (COELHO et al., 2002; MENDES et al. 2014).

3.2 DOENÇAS E PRAGAS DO SORGO

Em função das condições ambientais em que o sorgo é cultivado, as doenças podem atacar todas as partes da planta, patógenos causadores de doenças foliares e da panícula, agentes causais de doenças sistêmicas, além de fungos de solo causadores de podridões radiculares e viroses. Os mais importantes são: antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), míldio (*Peronosclerospora sorghi*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), ferrugem

(*Puccinia purpurea*), doença açucarada (*Claviceps africana*) e a podridão seca (*Macrophomina phaseolina*). Entretanto antracnose é a mais importante doença do sorgo, estando presente em praticamente em todas as áreas de plantio de sorgo do Brasil, constituindo-se num fator limitante ao desenvolvimento da cultura, por ocasionar perdas severas na produção de grãos e de forragens (CASELA et al., 2003; COSTA et al., 2003; SILVA et al., 2014).

A antracnose (*C. sublineolum*), considerada a doença mais severa para o sorgo no Brasil, além de causar perda de grãos que podem chegar a 70%, reduz o valor nutricional, a qualidade de forragem, a massa verde e o caldo no colmo, podendo aumentar o acamamento de plantas. Temperaturas altas, entre 22 e 30 °C, favorecem a doença, que está distribuída em praticamente todas as regiões produtoras (SILVA et al., 2014).

Nas folhas os sintomas se iniciam com pequenas lesões elípticas a circulares, com diâmetro em torno de 5 mm, que evoluem para lesões com centros necróticos de coloração palha, com margens avermelhadas, alaranjadas ou castanha, dependendo da pigmentação da cultivar. A frutificação típica do patógeno, os acérvulos, que constituem a principal forma de identificação da doença em condições de campo são formados no centro das lesões. Principalmente nas condições de alta umidade há coalescência das lesões, quando grande parte do limbo foliar apresenta-se tomado por lesões. Na nervura central da folha os sintomas são caracterizados por lesões elípticas a alongadas, de coloração avermelhada, púrpura, ou escura, nas quais podem ser observados os acérvulos do patógeno (SILVA et al., 2014).

A ocorrência de insetos-pragas é um dos fatores de prejuízos na cultura do sorgo. A relevância da praga e o prejuízo aceitável na cultura podem variar de acordo com a finalidade do cultivo de sorgo, grãos, forragem, ou matéria prima para bioenergia. Dentre as pragas do sorgo, as espécies que atacam a parte subterrânea das plantas são: peludinha, *Astylus variegatus* (Coleoptera: Melyridae); larva-aramé, *Conoderus scalaris* (Coleoptera: Elateridae); e corós, *Eutheola* sp., *Dyscinetus* sp., *Stenocrates* sp., *Diloboderus* sp., *Cyclocephala* sp., *Phytalus* sp. e *Phyllophaga* sp. (Coleoptera: Scarabaeidae). As que atacam a planta na fase inicial de desenvolvimento: lagarta-elasma, *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae); e formigas-cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae). As que atacam folhas ou colmos: considerada praga-chave a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae); curuquerê-dos-capinzais, *Mocis latipes*, (Lepidoptera: Noctuidae); outra praga-chave em determinadas situações é a broca-da-cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). As que atacam a panícula: praga-chave em

determinadas situações a mosca-do-sorgo, *Stenodiplosis sorghicola* (Diptera: Cecidomyiidae); lagartas *S. frugiperda*, *Helicoverpa zea* e *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae); percevejos *Sthenaridea carmelitana* (Hemiptera: Miridae), *Leptoglossus zonatus* (Hemiptera: Coreidae), *Nezara viridula*, *Thyanta perditor* e *Oebalus spp.*, (Hemiptera: Pentatomidae). Sugadores de seiva e vetores de vírus: praga-chave o pulgão-verde *Schizaphis graminum*; pulgão-do-milho *Rhopalosiphum maidis*; pulgão-da-aveia *Rhopalosiphum padi*, (Hemiptera: Aphididae). Destaca-se neste grupo de pragas as espécies de pulgões, *S. graminum* e *R. maidis* (COELHO et al., 2002; MENDES et al., 2014)

3.2.1 Principais espécies de pulgões que atacam o sorgo

Considerado uma praga-chave no sorgo, o pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) apresenta como principais características o tamanho pequeno a médio (adultos medem aproximadamente 1,8 mm de comprimento), a coloração verde-limão com duas estrias verde-escuras bem distintas no dorso do abdômen e os sífúnculos cilíndricos e escurecidos na parte apical. As antenas possuem flagelos escuros em quase toda a extensão e a nervura média da asa anterior apresenta apenas uma bifurcação. Os ápteros possuem, geralmente uma linha média dorsal e longitudinal de cor verde-clara. Os alados têm cabeça e mesotórax de coloração escura (COELHO et al., 2002; MENDES et al. 2014; PEÑA-MARTINEZ, 1992).

A faixa ótima de temperatura para a reprodução do *S. graminum* situa-se entre 21°C a 24°C, podendo produzir de três a quatro gerações por mês. Cada fêmea pode produzir até 100 descendentes nos seus 25 dias de longevidade. Possui quatro instares ninfais, com duração de aproximadamente uma semana, quando passa para a forma adulta, iniciando a fase reprodutiva. O período pré-reprodutivo e o ciclo aumentam com a redução da temperatura (CRUZ; VENDRAMIM, 1989; MENDES et al. 2014).

Os danos ao sorgo proveem da grande quantidade de seiva extraída das folhas, causando limitações de água e nutrientes, e pela injeção de toxina, tanto adultos quanto ninfas, que provoca a destruição enzimática da parede celular, causando clorose e finalmente necrose do tecido foliar (aspecto de bronzeamento), dependendo da infestação, podem causar a morte de toda a planta. Normalmente se instala na face inferior das folhas, mas o sintoma de manchas bronzeadas pode ser observado na face superior (COELHO et al., 2002; CRUZ, 1986).

Além dos danos diretos, os adultos, principalmente as formas aladas, transmitem viroses importantes, como o do mosaico da cana-de-açúcar, capaz de causar danos significativos ao sorgo (COELHO et al., 2002), predispõe a planta a doenças como a podridão-do-colmo (TEETES; JOHNSON, 1973), ou afetam a qualidade dos grãos (STARKS; MAYO Jr., 1985). O controle para *S. graminum* normalmente sugerido é uso de inseticidas químicos, via tratamento de sementes e pulverizações (GONÇALVES-GERVÁSIO et al., 2001).

O pulgão-do-milho *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera:Aphididae) possui corpo alongado de coloração verde-azulada a cinza-escuro, com manchas negras na área ao redor dos sífúnculos. Os adultos medem de 0,9 a 2,6 mm de comprimento, possuindo pernas e antenas de coloração negra, tubérculos antenais pouco desenvolvidos, antenas curtas com seis segmentos e processo terminal curto, de 2 a 2,3 vezes o comprimento da base (GASSEN, 1996; MOREIRA; ARAGÃO, 2009; SALVADORI; TONET, 2001; STOETZEL; MILLER, 2001).

Locais e períodos com baixa umidade, ventos de baixa velocidade e temperatura entre 18 e 24 °C são ideais para o desenvolvimento do *R. maidis*. Nessas condições, aproximadamente sete dias após o nascimento as ninfas se tornam adultos. O ciclo biológico varia de 20 a 30 dias e cada fêmea pode dar origem a até seis ninfas por dia e cerca de 70 novos pulgões, no final do ciclo (GASSEN, 1996; MAIA et al., 2003; MOREIRA; ARAGÃO, 2009).

Tanto os adultos como as ninfas de *R. maidis* preferem infestar as partes mais novas das plantas, geralmente cartucho, panículas ou gemas florais. Esta espécie diferencia-se da anterior por não introduzir toxina, sendo seus danos atribuídos à sucção de seiva das plantas, o que prejudica as reservas hídricas e nutricionais e causa deformações nas folhas. Os danos indiretos são transmissão de vírus, como o mosaico da cana-de-açúcar, principalmente pelos alados e a formação da fumagina (COELHO et al., 2002; MOREIRA; ARAGÃO, 2009).

Por *R. maidis* não injetar toxinas na planta, os prejuízos só se tornam significativos quando a população de insetos é alta e o sorgo está sob estresse hídrico, acentuando os sintomas de folhas murchas, ou com bordas necrosadas. Ou quando há fonte de inoculo de viroses próximo à área de plantio. Dessa forma, normalmente não requer controle e uma leve infestação pode até ser benéfica para atrair e manter inimigos naturais de pragas mais nocivas, como *S. graminum*. Sob condições críticas, recomenda-se o mesmo tratamento indicado para o *S. graminum* (COELHO et al., 2002; MENDES et al. 2014).

3.3 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS

O método de controle por resistência de plantas a insetos é muito relevante no Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois pode ser considerado como método ideal de controle, devido à planta resistente sofrer menor dano em condições de igualdade, ser compatível com todos os outros métodos de controle, não exige conhecimentos específicos por parte do agricultor para sua utilização e reduzir o uso de defensivos agrícolas que são componentes chaves do MIP, mas somente devem ser utilizados quando as outras opções não resolverem o problema (LARA, 1991).

Os tipos de resistência de plantas a insetos herbívoros são conhecidos como não preferência (ou antixenose), antibiose e tolerância (SMITH, 2005). Não preferência ocorre quando as plantas são menos preferidas para a alimentação, abrigo ou oviposição, sem afetar a biologia/fisiologia dos insetos caso sejam atacadas. Está associada a atributos característicos da planta hospedeira, que interferem no comportamento do inseto, como cor emitida, constituição da epiderme, por exemplo, dureza, tipo, ou quantidade de tricoma e também por estímulos químicos (semioquímicos) que podem ser favoráveis, ou não na interação inseto/planta (LARA, 1991; SMITH, 2005).

Na antibiose, as plantas afetam a biologia/fisiologia do inseto, e não o seu comportamento, devido à presença de substâncias tóxicas ingeridas pelos insetos ao se alimentarem. Os efeitos podem ser o aumento da mortalidade, redução do tamanho, peso e fecundidade dos indivíduos, alteração na razão sexual e tempo de vida (LARA, 1991; PANDA; KUSH, 1995). Já no caso da tolerância, a planta não afeta o comportamento e nem a biologia do inseto. A planta resistente por tolerância suporta o ataque da praga sem afetar sua produção, enquanto uma suscetível apresenta queda sob as mesmas condições de herbivoria. Isso devido à regeneração de tecidos destruídos, emissão de novos ramos, ou perfilhos, ou por outro meio em que não afete a quantidade e qualidade da produção (GULLAN; CRANSTON, 2007; LARA, 1991).

A resistência de plantas a insetos também pode ser induzida. Pode ocorrer devido a fatores bióticos, ou abióticos e até de manejo, como a adubação. Quando é sem base genética (pseudoresistência) pode ser uma manifestação temporária da resistência e a planta retorna à suscetibilidade caso essas condições especiais do ambiente sejam suprimidas (LARA, 1991). Mas a indução de resistência também pode ocorrer mediante base genética, como resistência

verdadeira, resultando nos mecanismos de antibiose e/ou antixenose. Resulta de uma ativação qualitativa e quantitativa de mecanismos produtores de substâncias de defesa da planta por meio de fatores extrínsecos, bióticos e abióticos (KANT et al., 2015).

Um exemplo desse tipo de indução de resistência é a adubação com silício (Si). Aumentam as evidências na literatura que o Si é benéfico para as plantas, desempenhando papéis importantes na defesa contra o estresse abiótico e biótico incluindo insetos herbívoros e patógenos (BAKHAT et al., 2018; EPSTEIN, 1999; LUYCKX et al., 2017; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009; REYNOLDS et al., 2016).

3.3.1 Indução de resistência direta e indireta por silício

O elemento silício (Si), após o oxigênio, é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, que é composta principalmente de silicatos (EPSTEIN, 2009). O Si não é considerado essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, embora tenha sido denominado "quase essencial" (EPSTEIN, 1994; EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Apesar a abundância de Si no solo, este elemento está, em partes, na estrutura de formação dos minerais silicatados, portanto um baixo teor de Si solúvel é observado em solos altamente intemperizados em áreas tropicais úmidas, especialmente solos arenosos (BAKHAT et al., 2018; SAVANT et al., 1999). A dissolução do Si a partir dos minerais do solo é um processo lento e sua adsorção ou reabsorção pelas partículas do solo, juntamente com uso contínuo do solo, também podem contribuir para reduzir os níveis de Si disponível, ao ponto de ser necessário uso de fontes de Si solúveis para haver respostas esperadas do Si na planta (DATNOFF; DEREN; SNYDER, 1997).

Na solução do solo o Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4) através de canais tipo aquaporina, que são proteínas específicas de transporte (DESHMUKH et al., 2013; GRÉGOIRE et al., 2012; MA et al., 2006). A absorção se dá juntamente com a água (fluxo de massa), se acumula e se polimeriza principalmente nas áreas de máxima transpiração, na forma fitólitos de óxido (SiO_2) amorfo inorgânico. A maior parte do Si é incorporada na parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos, espinhos e tricomas (HARTLEY et al., 2015; MA, 2004; MITANI; MA, 2005).

Entre os estudos sobre os efeitos do Si sobre a resistência de plantas a herbívoros, dois modos de ação primários surgiram como principais (REYNOLDS et al., 2016). Além disso, alguns estudos também já demonstram efeito indireto do Si sobre os inimigos naturais,

contribuindo para o controle biológico (KVEDARAS et al., 2010; LIU et al., 2017; OLIVEIRA, 2012). O primeiro é o modo mecânico fornecido pelo acúmulo e polimerização de Si na célula epidérmica, logo abaixo da cutícula formam uma barreira mecânica considerada proteção física para as plantas contra o ataque de insetos-praga (HARTLEY et al., 2015; HUNT et al., 2008; KVEDARAS, KEEPING, 2007; MA, 2004; MASSEY; HARTLEY, 2009).

É conhecido que deposição de Si como fitólitos nas folhas aumenta a dureza e abrasividade dos tecidos da planta, comprometendo o aparelho bucal do inseto e diminui a palatabilidade e digestibilidade do tecido vegetal pelo herbívoro (HUNT et al., 2008; JEER et al., 2017; MASSEY; HARTLEY, 2009; SANTOS et al., 2015). Dessa forma em lagartas (Lepidoptera), o desgaste mandibular é muitas vezes atribuído à planta tratada com Si (às vezes com base apenas em comparações visuais), entretanto, usando um método simples para determinar o desgaste mandibular (SMITH; KVEDARAS; KEEPING, 2007), mostrou que, embora houvesse uma tendência para um maior desgaste nas lagartas de *Eldana saccharina* que se desenvolveram em cana-de-açúcar tratadas com Si, a capacidade das lagartas de renovar a sua mandíbula em cada muda provavelmente lhes permite compensar o aumento do desgaste (KVEDARAS et al., 2009).

Hunt et al. (2008) concluíram que o Si em gramíneas fornece, pelo menos em parte, proteção mecânica nas células do clorênquima (que contêm altos níveis de amido e proteína procurados pelos insetos), pela redução de dano mecânico na folha. Eles demonstraram que as gramíneas com altos níveis de Si liberam menos clorofila após a mastigação e retém mais depois de passar pelo trato intestinal do gafanhoto, *Schistocerca gregaria*, demonstrando que os níveis de Si estão correlacionados com o aumento da proteção mecânica.

Keeping, Kvedaras e Bruton (2009), usando microscopia eletrônica de varredura e microanálise de raios-X, mostraram que em duas cultivares de cana plantas tratadas com Si tinham mais desse elemento na epiderme do colmo, especialmente nos entrenós e próximo a raiz. Como estes são locais conhecidos de penetração da broca *E. saccharina*, tais padrões de deposição de Si podem explicar a maior resistência da cana tratada com Si à penetração e alimentação da broca. Além disso, independentemente do suprimento de Si, observaram maior acúmulo de Si na cultivar de cana-de-açúcar resistente à broca do que na suscetível, sugerindo que a resistência pode estar pelo menos em parte, associada à capacidade da planta de acumular Si no colmo.

Hartley et al. (2015) também por microscopia eletrônica de varredura e de raios-X, comparando quatro espécies de capim, demonstraram que a morfologia da coluna e do fitólito de Si dentro e entre as espécies pode ser mais importante do que a concentração real de Si foliar na determinação da abrasividade e /ou digestibilidade das folhas e, portanto da eficácia de defesa contra o herbívoro. Os autores mostraram que todas as gramíneas testadas foram capazes de depositar novos tipos de estruturas à base de Si quando o suprimento do elemento foi aumentado. Essas mudanças foram particularmente evidentes quando as folhas foram danificadas mecanicamente; no entanto, danos na ausência de Si adicional não produziram tais estruturas (HARTLEY et al., 2015).

O segundo modo de ação primário descrito é o bioquímico/molecular, onde o Si tem sido considerado um importante indutor/ativador de enzimas de defesa da planta, aumentando a resistência aos insetos herbívoros e patógenos (RAHMAN; WALLIS; UDDIN, 2015; REYNOLDS et al., 2016; VIVANCOS et al., 2015; YE et al., 2013). Os agentes indutores da defesa vegetal normalmente são advindos da injúria de insetos, presentes tanto na secreção oral (saliva) liberados no processo de herbivoria, ou do fluído de oviposição liberados antes da deposição dos ovos na planta hospedeira, esses indutores desempenham a importante função de estimular a atividade de enzimas de defesa (DIXON; HARRISON; LAMB, 1994).

Existem trabalhos demonstrando que o Si também atua como esses indutores/ativadores, preparando as respostas de defesa que serão então totalmente implantadas no início do estresse (no caso dos insetos, a herbivoria). O Si provavelmente ativa o estado metabólico da planta, tornando-a mais eficiente em responder a estímulos exógenos (LUYCKX et al., 2017). A indução de defensas químicas pelo Si e sua interação com a via de sinalização do jasmonato, facilita a produção das enzimas defensivas, como catalase (CAT), peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), polifenol oxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL), que são enzimas chave que regulam a produção e acumulação de compostos metabólicos secundários, como fenólicos, fitoalexinas e momilactonas (GOMES et al., 2005; HAN et al., 2016; YE et al., 2013).

Plantas de arroz adubadas com Si e ao mesmo tempo infestadas com a lagarta enroladora das folhas (*Cnaphalocrocis medinalis*) apresentaram maior atividade de CAT, PAL, PPO e SOD do que as plantas cultivadas em solo não adubado com Si (HAN et al., 2016). Segundo os autores esses resultados em conjunto com a redução da taxa de sobrevivência de *C. medinalis*, indicam que o aumento de Si nas plantas adubadas com o elemento, quando ocorre infestação pela praga, pode amplificar a atividade das enzimas

antioxidantes em plantas de arroz, o Si melhora o metabolismo antioxidante e os mecanismos de defesa após o ataque de pragas.

Ye et al. (2013), estudaram a resistência de plantas de arroz adubadas com Si a *C. medinalis* e descobriram que a adubação com Si aumentou a resistência do arroz contra as lagartas em plantas normais, mas não nas plantas com genes da biossíntese de jasmonato silenciados. Após a herbivoria de *C. medinalis*, as plantas normais tratadas com Si apresentaram respostas de defesa aprimoradas em relação às não tratadas, incluindo níveis mais altos de acumulação de jasmonato e atividade elevada de POD, PPO e inibidor de protease de tripsina. Segundo os autores, a resistência à *C. medinalis* mediada por Si provavelmente ocorre de forma dependente de jasmonato no arroz.

Trabalhos com insetos sugadores também são encontrados na literatura. Em trigo, o tratamento com apenas a aplicação do Si, ou o tratamento com pré-infestação pelo pulgão *S. graminum*, ativaram o sistema de defesa da planta, afetando negativamente a preferência desse inseto e sua taxa intrínseca de aumento populacional, desencadeando um aumento significativo das enzimas POD, PPO e PAL (GOMES et al., 2005).

Ranger et al. (2009) observaram reduções na fecundidade total e taxa intrínseca de aumento populacional do pulgão *Myzus persicae* em plantas de *Zinnia elegans* adubadas com Si. Utilizando cromatografia para identificar e quantificar os ácidos fenólicos e os flavonóides no tecido foliar das plantas, os autores associaram as reduções de fecundidade a maiores concentrações de ácido 5-cafeoilquinico, ácido p-cumarilquinico e rutina em plantas com Si.

Estudos recentes também detectaram o potencial de Si para atuar indiretamente no terceiro nível trófico (de forma indireta), podendo aumentar a atração de inimigos naturais de determinado inseto praga, melhorando assim o controle biológico de pragas por resistência indireta (KVEDARAS et al., 2010; LIU et al., 2017; OLIVEIRA, 2012). Segundo Liu et al. (2017), considerando que a via de sinalização de defesas mediada por jasmonato é ativada por Si em plantas que sofrem herbivoria, essa via poderia fornecer voláteis, ou HIPVs (Herbivore-induced plant volatiles) necessários para a atração dos inimigos naturais.

Os voláteis produzidos são específicos da interação herbívoro-planta e os inimigos naturais os utilizam para localizar determinada espécie hospedeira. Por exemplo os parasitoides, que são capazes de identificar esses compostos químicos e direcionar o processo de localização dos hospedeiros para as plantas que estão produzindo os voláteis (VET; DICKE, 1992).

Trabalho realizado por Connick (2011), em videiras mostrou que aplicação de Si no solo tem efeitos significativos nos voláteis produzidos por plantas infestadas pela praga Lepidoptera, *Phalaenoides glycinae*. Sete compostos voláteis emitidos a partir de videiras infestados por *P. glycinae* foram identificados dentre estes o *n*-heptadecano foi produzido em quantidades significativas apenas por plantas tratadas com Si.

Kvedaras et al. (2010) realizaram ensaios com o predador generalista *Dicranolaius bellulus* em plantas de pepino adubadas, ou não com Si. No laboratório eles mostraram que as plantas adubadas com Si e infestadas com *Helicoverpa armigera* foram mais atrativas ao predador, não havendo diferença na atração do predador por plantas que não foram infestadas com *H. armigera*, sendo estas adubadas (ou não) com Si.

No campo Kvedaras et al. (2010) colocaram ovos de *H. armigera* em plantas infestadas, ou não com a praga e adubadas, ou não com Si e concluíram que mais ovos foram predados nas plantas adubadas com Si e infestadas com *H. armigera*. As plantas que foram infestadas, mas não adubadas com Si, ou que não foram infestadas (independentemente da adubação silicatada), não apresentaram uma predação de ovos consideravelmente relevante.

Oliveira (2012) estudou a atratividade de plantas de trigo, adubadas (ou não) com Si e infestadas (ou não) com pulgões *Rhopalosiphum padi*, ao parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* e verificou que as fêmeas do parasitoide não responderam às plantas não adubadas com Si e não infestadas pelos pulgões. Mas foram atraídas para as plantas sem Si, mas infestadas por *R. padi* para as adubadas com Si e não infestadas por *R. padi* e para aquelas que receberam os dois estímulos. Quando os tratamentos que atraíram os parasitoides foram testados entre si, não foi verificada a preferência de *L. testaceipes* por nenhum deles. As respostas positivas para as plantas adubadas com Si, independentemente da presença de herbivoria, sugerem que os voláteis emitidos são similares aos das plantas atacadas pelos pulgões.

Os HIPVs emitidos por plantas de arroz foram influenciados pela herbivoria de *C. medinalis*, uma vez que três compostos foram produzidos apenas por plantas infestadas, e vários outros foram produzidos em maiores quantidades por plantas infestadas do que nas não infestadas, independentemente da adubação com Si ou não. Sendo as fêmeas adultas dos parasitoides *Trathala flavo-orbitalis* e *Microplitis mediator* mais atraídas por plantas infestadas com *C. medinalis*, dentro de cada tipo de adubação, com ou sem Si (LIU et al., 2017).

Entretanto no mesmo estudo, quatro compostos foram emitidos em menor quantidade das plantas infestadas com *C. medinalis* adubadas com Si em comparação com infestadas sem

Si. Essas mudanças de HIPVs pelo Si foram significativas ao ponto de alterar a atração dos parasitóides. Fêmeas adultas de *T. flavo-orbitalis* e *M. mediator* foram mais atraídas pela mistura de HIPVs de plantas infestadas com *C. medinalis* adubadas com Si em comparação com infestadas sem Si. Isso demonstra que plantas adubadas com Si apresentam um perfil de HIPVs diferente de não adubadas (LIU et al., 2017). No mesmo trabalho os autores usaram plantas de arroz com genes da sinalização de jasmonato silenciados, e não observaram alteração na mistura de HIPVs associada ao tratamento com Si, indicando que os efeitos de Si nos HIPVs são modulados pela via de sinalização do jasmonato.

3.4 PARASITOIDES NO CONTROLE DE PULGÕES

Os inimigos naturais são importantes agentes no MIP, o qual baseia-se nos diferentes métodos de controle, utilizados corretamente, para manter a população da praga abaixo daqueles que causariam danos econômicos (PEDIGO; RICE, 2006). Uma espécie de parasitoide que tem se destacado no controle biológico dos pulgões *S. graminum* e *R. maidis* é *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) desde o estado do Paraná até a região Sudeste, como São Paulo e Minas Gerais, muito em função do seu acompanhamento na dispersão dos pulgões em direção às áreas de produção de trigo (DOGRAMACI et al., 2005; STARÝ; SAMPAIO; BUENO, 2007; ZANINI et al., 2006).

Sabe-se que plantas colonizadas, ou danificadas por insetos herbívoros produzem um grupo de compostos orgânicos voláteis, frequentemente chamados de HIPVs, que são atraentes para os parasitoides, que os utilizam para encontrar seus hospedeiros (ARIMURA; KOST; BOLAND, 2005). Depois de encontrar os hospedeiros, o parasitoide fêmea deve escolher em qual indivíduo irá ovipositar, avaliando a qualidade e adequação do indivíduo para o desenvolvimento da forma jovem (MACKAUER; MICHAUD; VÖLKL, 1996). No desenvolvimento dos parasitoides na sua fase imatura, o hospedeiro representa sua única fonte de nutrientes. Portanto a qualidade nutricional desse hospedeiro é um fator crítico na determinação da taxa de desenvolvimento e sucesso dos parasitoides (LIU; LI; XU, 2013). Naturalmente um parasitoide encontra hospedeiros com recursos variados qualitativa e quantitativamente em nutrientes, por diferença em idade, tamanho, estado fisiológico/imunológico do hospedeiro (CHONG; OETTING, 2006). Segundo Godfray (1994), a qualidade do hospedeiro influencia três componentes principais: tempo de desenvolvimento até a fase adulta, a longevidade e o tamanho do indivíduo na fase adulta.

Os principais componentes nutritivos envolvidos no desenvolvimento dos insetos são triglicerídeos, carboidratos e proteínas, sendo que os aminoácidos essenciais são necessários para o desenvolvimento, assim os desequilíbrios nas quantidades desses aminoácidos podem levar a efeitos significativos sobre o crescimento e a aptidão tanto de imaturas como de adultos (DADD, 1985). No caso dos pulgões, sua adequada nutrição representa maior qualidade e quantidades adequadas de nutrientes aos parasitoides. Desta maneira as larvas dos parasitoides se desenvolvem melhor e darão origem a adultos maiores, os quais terão maior fecundidade e serão mais eficientes na busca de novos pulgões para ovipositar, aumentando a eficiência do controle biológico (SAMPAIO; BUENO; CONTI, 2008).

A resistência das plantas, induzida por Si, pode reduzir a fecundidade dos pulgões (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; DIAS et al., 2014). Considerando os fatores que reduzem a fecundidade dos pulgões podem reduzir sua qualidade para o desenvolvimento dos parasitoides (JANDRICIC et al., 2014; SOUZA et al, 2017), o efeito da adubação da planta com Si poderia afetar negativamente o desenvolvimento do parasitoide, comprometendo o controle biológico. Entretanto isso não foi observado no único estudo sobre o efeito do Si no desenvolvimento dos parasitoides de pulgões (MORAES et al., 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SORGO À ADUBAÇÃO COM SILÍCIO

Visando determinar a resposta de genótipos de sorgo à adubação com Si, um experimento foi instalado em fevereiro de 2015, na casa de vegetação, localizada no campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A média das temperaturas máximas dentro da casa de vegetação durante o período foi de 34,0° C e a média das mínimas de 19,9° C. O material genético (genótipos) utilizado foi composto por 16 variedades de sorgo experimentais, previamente selecionadas para biomassa verde, provenientes de um banco de germoplasma gentilmente cedido para estudo pelas empresas: LuAL Agropecuária Ltda e Instituto Pernambucano de Agropecuária.

4.1.1 Preparo do solo

Para realização do ensaio foi utilizado o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (81% de areia, 5% de silte, 14% de argila e 3,5 mg.dm⁻³ de Si) coletado na fazenda do campus Glória, pertencente à UFU, peneirado e depois de seco homogeneizado, juntamente com o equivalente a 970 kg ha⁻¹ de carbonato de cálcio e 380 kg ha⁻¹ de carbonato de magnésio (para neutralizar Al³⁺ e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺) dissolvidos em quantidade de água suficiente para deixar o solo na capacidade de campo. Dessa forma o solo foi incubado em sacos de 50 kg por 30 dias.

4.1.2 Semeadura, adubação e tratamentos

Após o período de incubação o solo foi colocado em vasos de cinco litros, onde foi realizada a semeadura de quatro sementes de sorgo por vaso. A adubação do solo foi 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples, 50 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 (micronutrientes). Aos cinco dias após a emergência das plântulas foi feito o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso.

O experimento foi composto em esquema fatorial (16 x 2) com 16 genótipos de sorgo adubados, ou não adubados com Si. A fonte de Si utilizada para a adubação foi o silicato de

potássio na forma líquida (Fertisilício), apresentando 12% de Si total e 12% de K₂O, com densidade de 1,39 g cm⁻³.

Para evitar o efeito tóxico de uma superdosagem de potássio, o fertilizante foi dissolvido em água destilada para extração do potássio utilizando resina de troca catiônica. A solução resultante, contendo então somente silicato, com 0,0072% de Si, foi utilizada para regar diariamente os respectivos tratamentos durante 30 dias, totalizando 4,5 litros de solução. Dessa forma, o equivalente a aproximadamente 261 kg ha⁻¹ de Si, prontamente disponível na solução do solo, foi utilizado por vaso.

4.1.3 Coleta das plantas e análise de silício

Aos 30 dias após a emergência as plantas foram seccionadas no colo, coletando a parte aérea, a qual foi acondicionada em um saco de papel para secagem e posterior análise da concentração de Si na planta. Este estágio de desenvolvimento da planta foi estabelecido, pois segundo Magalhães, Durães e Schaffert (2000) com cerca de 30 dias após a emergência ocorre a diferenciação do ponto de crescimento vegetativo (folhas) para reprodutivo (panícula) nas plantas de sorgo, quando o número total de folhas e o tamanho potencial da panícula são determinados.

O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até peso constante e triturado em moinho tipo Wiley, a fim de reduzir as plantas em partículas entre 4 e 6 mm. Posteriormente foi enviado ao Laboratório de Análise de Fertilizantes do Instituto de Ciências Agrárias da UFU, onde foi determinado o teor de Si nas plantas de sorgo. As análises foram realizadas conforme metodologia descrita por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004).

4.1.4 Análise dos dados

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 16 x 2 (16 genótipos de sorgo e presença ou ausência de adubação com Si) com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais (vasos). Para avaliar a normalidade dos resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,01$) e para a homogeneidade das variâncias o teste de Levene ($p = 0,05$). Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANAVA) e

para comparar a concentração de Si nas plantas entre os genótipos de sorgo foi utilizado o teste de Scott-Knott ($p = 0,05$).

De acordo com a concentração de Si nas plantas adubadas, ou não adubadas com Si, os genótipos foram classificados em: 1) responsivos - apresentaram maior quantidade de Si quando receberam adubação com esse elemento; 2) não responsivos - apresentaram mesma quantidade de Si independente da adubação. Já quando comparadas as concentrações de Si nas plantas quando não houve adubação com Si, os genótipos foram classificados em: 1) eficientes - apresentaram maior quantidade de Si na biomassa em solo sem aplicação desse elemento; 2) não eficientes - apresentaram menores quantidades de Si do que os outros genótipos em solo sem adubação com esse elemento.

Em função do teor de Si nos 16 genótipos de sorgo testados, foram selecionados quatro responsivos, porém não eficientes (dois deles acumularam mais Si que os outros dois mesmo sendo os quatro responsivos) para avaliar o efeito do Si na produtividade e na indução de resistência contra pulgões em ensaio de campo. Genótipos responsivos foram selecionados para que se obtivesse o maior efeito do Si possível entre as plantas adubadas e não adubadas com este elemento.

4.2 EFEITO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E INDIRETA E NA PRODUTIVIDADE DO SORGO

4.2.1 Local do experimento e tratamentos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Uberlândia, Minas Gerais, localizada nas coordenadas 18°52'55"66 S e 48°20'28"21 O. Altitude de 820 metros. O experimento foi repetido três vezes, com semeaduras em janeiro, fevereiro e abril de 2016, separadas de 40 dias uma da outra. O preparo do solo e a condução e avaliações dos experimentos foram idênticos para as três épocas de semeadura.

O clima da região é Aw segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), tropical quente úmido com inverno frio e seco. Com total médio de chuva anual entre 1500 a 1600 mm. A temperatura média mensal nos meses de inverno atinge 18 °C enquanto nos meses mais quentes a média fica em torno de 23 °C com média das máximas por volta de

28 a 29 °C. Os dados de precipitação e temperatura média durante o período de condução do experimento foram coletados na estação meteorológica na Fazenda Capim Branco (Figura 1).

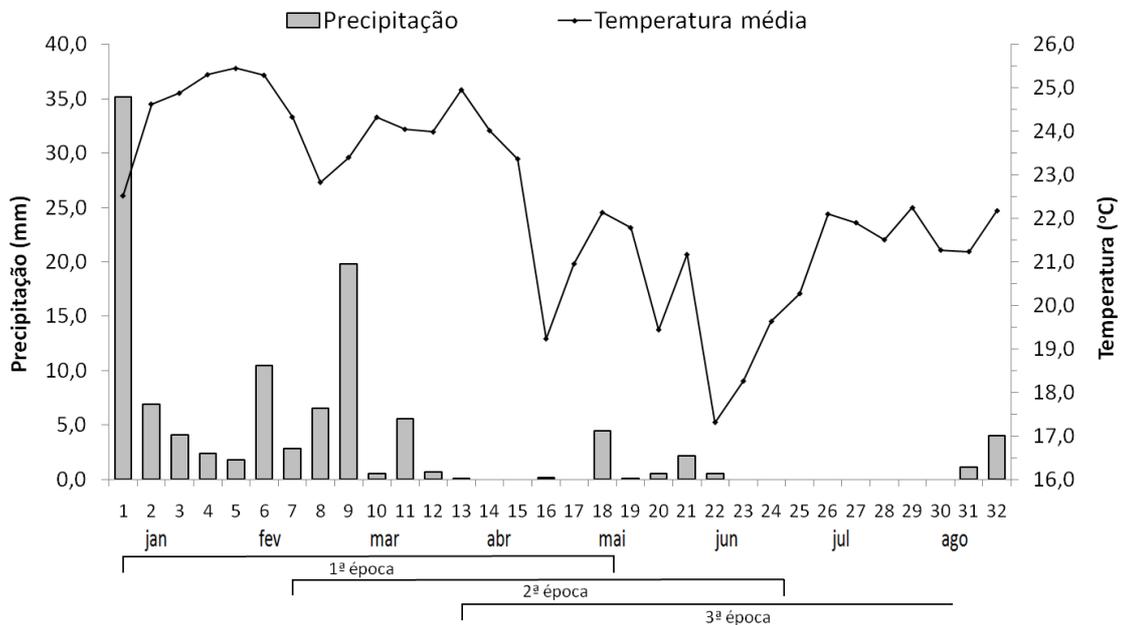


FIGURA 1 - Variação de temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) por semana, durante o experimento na primeira, segunda e terceira época de semeadura. Fonte: Estação meteorológica da Fazenda Experimental Capim Branco da UFU, Uberlândia-MG, 2016.

Os tratamentos foram quatro genótipos responsivos e não eficientes, LE268 e LE276 (entre os mais responsivos e não eficientes), LE299 e LE270 (entre os menos responsivos e não eficientes), selecionados no primeiro experimento em casa de vegetação; duas doses de Si, 0 e 400 kg ha⁻¹; e três épocas de semeadura.

As plantas da segunda época passaram por estresse hídrico severo visivelmente murchas durante semanas, por isso foi tomada a decisão de irrigar a terceira época desde a semeadura até o estabelecimento da cultura. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão em malha, aplicando 15 mm por semana durante as semanas 14, 15, 15 e 17, totalizando 60 mm.

4.2.2 Características, preparo e adubação do solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Foram analisadas as características químicas desse solo antes da instalação do experimento (Tabela 1).

TABELA 1 - Caracterização química do solo no qual foi realizado experimento do efeito de silício em quatro genótipos de sorgo e em três épocas de semeadura. Fazenda Capim Branco.

pH H₂O (01:02,5)	P meh-1 -----mg dm⁻³-----	S-SO₄	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	M.O	C.O
			-----cmol_cdm⁻³-----					-----dag kg⁻¹----	
7,3	5,6	7,0	0,29	3,6	1,7	0,0	0,9	3,0	1,7
SB	t	T	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----cmol_cdm⁻³-----			-----%-----		-----mg dm⁻³-----				
5,59	5,59	6,49	86,0	0,0	0,15	5,9	10,0	3,9	0,7

SB = Soma de Bases; T = CTC pH 7,0

V = Sat. Base; m = Sat. Alumínio; P = [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹]

S-SO₄ = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L⁻¹]; Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L⁻¹]

M.O. = Método colorimétrico; H+Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5]

O solo foi preparado com uma aração e duas gradagens. Nas parcelas tratadas com Si, foi distribuído Agrosilício Plus Agronelli (10,5% de Si, 35% de CaO e 10% de MgO) na dose equivalente a 400 kg ha⁻¹ de Si e incorporado manualmente. Nos tratamentos não adubados com Si, foi utilizado o calcário dolomítico Ercal (37-38% de CaO e 8-10% de MgO), incorporado manualmente, para equilibrar as quantidades de Ca e Mg, utilizando a mesma quantidade (em peso) de calcário e agrosilício nas distintas situações.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos no solo, foi realizada a semeadura manual dos quatro genótipos de sorgo, no espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de semeadura de sete a oito sementes por metro linear. Aos 14 dias após a emergência foi realizado desbaste deixando cinco plantas por metro linear, perfazendo uma população de 100 mil plantas por hectare. A parcela foi constituída de quatro linhas de 5,0 m de comprimento, sendo a parcela útil os quatro metros centrais das duas linhas centrais.

As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com recomendações da análise de solo e exigência do sorgo conforme descrito por Santos et al. (2014a). Foi realizado controle de plantas infestantes antes da semeadura com glifosato (Roundup WG, dose do produto comercial, 2,0 kg ha⁻¹), em pré-emergência com atrazina

(Atrazina Nortox 500 SC, dose do produto comercial, 3,0 L ha⁻¹) e durante o ciclo da cultura foram realizadas capinas manuais. Não foi realizada aplicação de inseticidas e fungicidas.

4.2.3 Avaliações semanais de pulgões e seus parasitoides

Uma semana após a emergência iniciaram-se avaliações semanais da infestação natural de pulgões sadios e parasitados em 10 plantas aleatoriamente na parcela útil. No campo, em cada planta foram examinadas todas as folhas, colmo e cartucho, sem destruir a planta, contando-se a olho nu o número de pulgões de cada espécie e o número de pulgões parasitados. A identificação das espécies no campo foi realizada com auxílio de um guia (elaborado pelo autor) ilustrado com fotos coloridas e descrições morfológicas. Eventualmente foram coletadas folhas com pulgões a fim de confirmar as identificações em laboratório com auxílio de microscópio estereoscópico. Foram coletadas amostradas de pulgões parasitados durante as avaliações, que foram individualizadas em tubos eppendorf e levadas para o laboratório até a emergência do parasitoide, onde foi conservado em álcool 70% até sua identificação. Na primeira época de semeadura foram seis semanas de avaliação (após esse período não foi mais observado número suficiente de insetos, observações em praticamente todas as plantas igual a zero) e na segunda e terceira foram oito semanas de avaliação.

4.2.4 Coleta de folhas e análise de silício

No florescimento pleno, quando 50% das panículas estavam com flores abertas em cada genótipo foi coletada a folha bandeira de seis plantas na parcela útil para realizar a análise do teor de Si. A preparação das amostras e a análise foram realizadas conforme o item 4.1.3.

4.2.5 Avaliações na colheita

Após a maturidade fisiológica dos grãos, cerca de 110 a 115 dias após a semeadura foi avaliada a altura da planta (cm), acamamento de plantas (%), plantas com colmo atacado por broca (%) *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), incidência de antracnose (*Colletotrichum sublineolum*) com base em notas de severidade, atribuídas por

avaliação visual com nota 1 = 0 a 3%; nota 2 = 3 a 6%; nota 3 = 6 a 12%; nota 4 = 12 a 25%; e nota 5 = 25 a 50%, da área foliar lesionada (HORSFALL; BARRATT, 1945). As panículas de 10 plantas na parcela útil foram coletadas para cálculo de produtividade. As plantas da parcela útil foram coletadas e pesadas para cálculo da massa fresca. Após pesagem foram trituradas e uma amostra retirada para secar em estufa para cálculo da massa seca.

4.2.6 Análise dos dados

Para avaliar a normalidade dos resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,01$) e para a homogeneidade das variâncias o teste de Levene ($p = 0,05$). Os dados que atenderam as pressuposições foram analisados por meio ANOVA, exceto os dados de número semanal de insetos nas plantas de sorgo no campo, que foi avaliado por outros testes descritos abaixo.

Os dados de número semanal de insetos observados nas plantas de sorgo no campo foram ajustados a um modelo linear generalizado misto (MLGM), com distribuição binomial negativa e função de ligação log (para correção da sobredispersão dos dados). Considerou-se como efeitos fixos do modelo os genótipos e doses de Si, como fatores aleatórios a época, o bloco dentro de cada época e o tempo (semanas) dentro de cada época. O excesso de zeros presente nos dados também foi ajustado dentro de um modelo zero inflacionado com distribuição binomial e função de ligação logit. Assim, procedeu-se com a análise de deviance (ANODEV) para avaliar a significância dos efeitos fixos e sua interação pelo teste de Qui-Quadrado (χ^2) ($p = 0,05$). Quando significativo, os coeficientes do modelo foram estimados e o teste de Z foi aplicado para testar a significância destes ($p = 0,05$).

Os dados da concentração de Si acumulado na folha, altura da planta, porcentagem de acamamento e de plantas atacadas por broca, notas de antracnose, produtividade, massa fresca e seca de plantas de sorgo produzidas no campo foram analisados em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial $4 \times 2 \times 3$ (4 genótipos x 2 doses de Si x 3 épocas) para a concentração de Si acumulado na folha (três épocas) e $4 \times 2 \times 2$ (4 genótipos x 2 doses de Si x 2 épocas) para a altura da planta, porcentagem de acamamento e de plantas atacadas por broca, notas de antracnose, produtividade, massa fresca e seca, já que não foi possível obter esses dados para a terceira época de semeadura devido ao ataque de vertebrados herbívoros. Foi utilizada análise conjunta em função do fator época de semeadura. Após a análise de variância individual e determinação do F máximo de Hartley

(1950), analisaram-se conjuntamente as épocas de semeadura. Em caso de F significativo na ANAVA conjunta, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p = 0,05$).

4.3 ATRATIVIDADE DE PARASITOIDES NO CAMPO

4.3.1 Local do experimento

Plantas de sorgo do genótipo LE276 semeadas em vasos em casa de vegetação foram utilizadas para verificar o efeito do Si na atratividade de parasitoides em plantas infestadas com o pulgão *S. graminum*. A semeadura nos vasos foi realizada na mesma data da semeadura da terceira época no campo. Após as plantas na casa de vegetação serem infestadas com pulgão, foram levadas para o campo, onde esse experimento foi realizado no interior das parcelas do genótipo LE276, no experimento da terceira época de semeadura na Fazenda Capim Branco (Figura 2).

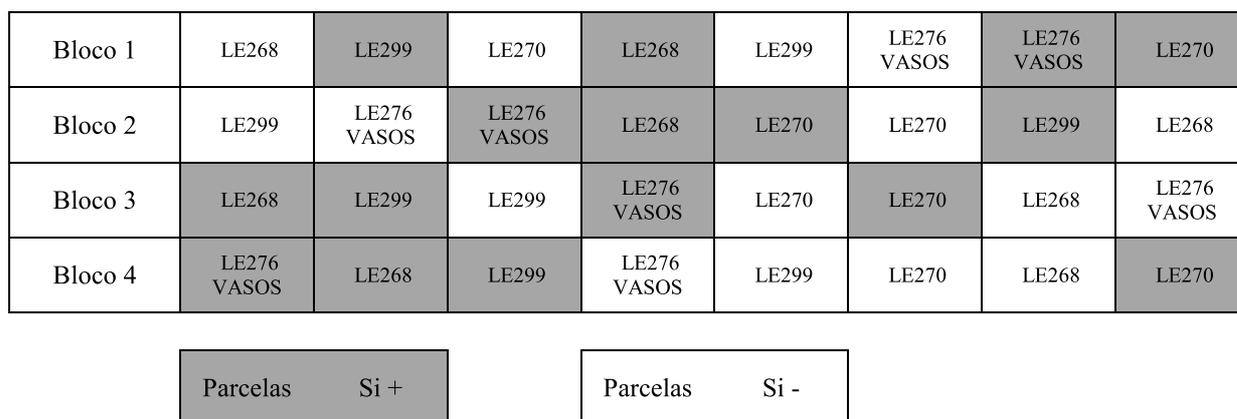


FIGURA 2 - Croqui do experimento da terceira época com a disposição, das parcelas com os genótipos LE299, LE270, LE268 e LE276 e dos vasos (semeados com o genótipo LE276) para a avaliação da atratividade dos parasitoides em campo.

4.3.2 Criação de *S. graminum*

Pulgões da espécie *S. graminum* foram criados no Laboratório de Entomologia e Controle Biológico da Universidade Federal de Uberlândia (LACOB-UFU) durante três meses antes da preparação do ensaio. Foi utilizada a variedade de sorgo BRS 332, semeada em vasos plásticos de dois litros contendo substrato orgânico. As plantas permaneceram na

casa de vegetação do Umuarama/UFU até 20 dias após a semeadura, quando foram utilizadas na criação dos pulgões em laboratório. Pulgões da espécie *S. graminum* foram coletados em plantas de sorgo na Fazenda Experimental Capim Branco e criados em gaiolas de acrílico (30cm x 60cm x 30cm) contendo uma planta de sorgo e em sala climatizada a $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 12 horas de fotofase. A cada sete dias as plantas de sorgo eram substituídas por novas plantas para manter a criação de pulgões utilizados no ensaio.

4.3.3 Preparo do solo, semeadura e adubação

Para realização do ensaio foi utilizado o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (81% de areia, 5% de silte, 14% de argila e $3,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Silício). Nos tratamentos adubados com Si, o solo foi incubado com o Agrosilício Plus Agronelli (10,5% de Si, 35% de CaO e 10% de MgO) na dose equivalente a 400 kg ha^{-1} de Si. Nos tratamentos não adubados com Si, o solo foi incubado com o calcário dolomítico Ercal (37-38% de CaO e 8-10% de MgO) para equilibrar as quantidades de Ca e Mg, utilizando a mesma quantidade de calcário e agrosilício nas distintas situações. Foram utilizados 12 vasos por tratamento.

O solo foi pesado, homogeneizado juntamente com o calcário ou agrosilício e colocado em vasos de plástico de dois litros, envolvidos em sacos plásticos para a incubação. O solo no vaso foi umedecido com água até a capacidade de campo, permanecendo assim por 30 dias. Após a incubação, os vasos foram levados para a casa de vegetação da Fazenda Experimental Capim Branco da UFU, foram adicionadas quatro sementes por vaso e gaiolas com tela antiáfideo utilizadas para impedir a infestação das plantas por insetos. Buscando manter homogeneidade de tamanho e fenologia entre as plantas nos vasos e as do campo, a semeadura dos vasos foi realizada na mesma data de semeadura da terceira época do experimento de campo. Sete dias após a emergência, realizou-se o desbaste deixando uma planta por vaso. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com recomendações da análise de solo e exigência do sorgo conforme descrito por Santos et al. (2014a).

4.3.4 Infestação das plantas, exposição ao parasitismo e avaliações

Aos 30 dias após a semeadura realizou-se a infestação das plantas da casa de vegetação da Fazenda Capim Branco com pulgões. Para isso, adultos da criação de *S.*

graminum foram colocados em secções foliares de sorgo, posicionadas sobre uma solução de ágar/água a 1% em placas de Petri (10,0 cm de diâmetro) e levados para a Fazenda Capim Branco. Adicionou-se 20 adultos de *S. graminum* por planta. Dezoito dias após a infestação, quando cada planta continha entre 250 a 300 pulgões, os vasos foram levados para o campo, colocados entre as linhas das respectivas parcelas do experimento de campo com e sem Si e retirou-se as gaiolas antiafídeo para ocorrer o parasitismo natural dos pulgões. Utilizou-se três vasos por parcela, totalizando 12 vasos por tratamento (com e sem Si). Após cinco dias os vasos com as plantas infestadas foram levados para casa de vegetação da Fazenda Capim Branco e novamente protegidos com tela antiafídica. Como espera-se por um período de seis a sete dias para a mumificação dos pulgões (CARNEVALE; BUENO; SAMPAIO, 2003; RODRIGUES et al., 2004; SILVA; BUENO; SAMPAIO, 2008), o número de pulgões parasitados (múmias) por planta foi avaliado por contagem direta aos oito e 12 dias após a exposição das plantas no campo. Foram amostrados 10 de pulgões parasitados (múmias) em cada avaliação, individualizados em tubos eppendorf e levados para o laboratório até a emergência do parasitoide, conservado em álcool 70% até serem identificadas.

4.3.5 Análise dos dados

O número médio de pulgões mumificados por planta foi analisado pelo teste Qui-quadrado ($p=0,05$), testando-se a hipótese de que o número de múmias nas plantas com e sem adubação com Si seria o mesmo. Realizou-se o teste para o número médio de pulgões por planta que mumificaram aos oito dias e para o número médio por planta aos 12 dias (somatório da contagem aos oito e 12 dias).

4.4 EFEITO DO SILÍCIO NA QUALIDADE DE *S. graminum* PARA *L. testaceipes*

4.4.1 Local do experimento

As criações de pulgões e parasitoides ocorreram no LACOB-UFU, em ambiente controlado a $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 12 horas de fotofase. O desenvolvimento das plantas e condução do experimento foi realizado na casa de vegetação, localizada no campus Umuarama da UFU. A média das temperaturas máximas dentro da casa de vegetação durante o período manteve-se $31,2^{\circ}\text{C}$ e a média das mínimas de $16,7^{\circ}\text{C}$.

4.4.2 Preparo do solo, semeadura e adubação

Utilizou-se para os ensaios o mesmo solo, mesmas fontes de Si e corretivo, mesma forma de incubação do solo e adubação do sorgo como descrito no item 4.3.3. Entretanto aplicou-se a dose de 600 kg ha⁻¹ de Si.

Na semeadura foi utilizada a variedade de sorgo BRS 332, granífero do tipo híbrido, cedida pela Embrapa Milho e Sorgo, conhecida por suscetibilidade ao pulgão *S. graminum*. Foram utilizados dois vasos de 0,9 litros por parcela e cada parcela foi protegida por gaiola antiafídeo. Semeou-se manualmente quatro sementes por vaso e sete dias após a emergência, foi realizado o desbaste deixando uma planta. Cada tratamento continha o total de 12 repetições, com ou sem aplicação de Si, perfazendo 24 plantas por tratamento e 48 no total.

4.4.3 Criação de *S. graminum* e *L. testaceipes*

Pulgões da espécie *S. graminum*, foram criados conforme descrito no item 4.3.2. Indivíduos provenientes da criação também foram mantidos em secções foliares de sorgo posicionadas sobre uma solução de ágar/água a 1% em placas de Petri (10,0 cm de diâmetro). As folhas eram trocadas a cada quatro dias e mantiveram-se 15 placas com aproximadamente 50 pulgões. Essas placas foram utilizadas para a criação de *L. testaceipes*, descrita a seguir.

Múmias de *S. graminum* coletadas também em plantas de sorgo na Fazenda Experimental Capim Branco foram levadas ao laboratório, individualizadas em tubos eppendorfs. Assim que emergiam os parasitoides foram identificados e alimentados com mel 50% e água e colocados para acasalar. Em cada placa contendo colônias de *S. graminum*, liberou-se duas fêmeas acasaladas e mantidas por 24 horas. Após esse período, as fêmeas foram retiradas e os pulgões parasitados foram mantidos nas mesmas condições controladas. Após oito dias os pulgões já mumificados foram individualizados em eppendorfs e, após a emergência, os parasitoides foram alimentados com mel 50% e água, e utilizados para dar sequência na criação.

4.4.4 Infestação das plantas com *S. graminum* e parasitismo por *L. testaceipes*

Aos 30 dias após a semeadura, adultos de *S. graminum* foram separados em secções foliares de sorgo em ágar/água a 1% em placas de Petri e depois colocados em número de 20

indivíduos por planta. Após 24 horas os adultos foram retirados e ficaram as ninfas (F1) que nasceram nas plantas, em média 41,96 ninfas por planta. Após sete dias as ninfas se tornaram adultos, produzindo novos descendentes (F2) e os adultos F1 foram coletados e congelados imediatamente, sem passar por algum processo de secagem a -20°C.

Após quatro dias de vida das ninfas F2 (3º ou 4º instar), foram liberadas duas fêmeas de *L. testaceipes* com até 48 horas de vida, e recém-acasaladas por gaiola para parasitar os pulgões. As fêmeas de *L. testaceipes* permaneceram na gaiola por 24 horas. Aos sete dias após o parasitismo começaram a se formar múmias e no oitavo dia foram coletadas, em média 17,83 múmias por planta. Antes de serem congeladas a -20°C, as múmias foram padronizadas quanto ao momento de seu desenvolvimento, isto é, quando a larva deixa sua coloração clara e inicia a metamorfose para se tornar adulto, ficando com coloração preta, possível visualizar pela parte ventral do pulgão mumificado. Após coletadas as múmias passaram a ser monitoradas duas vezes ao dia sob microscópio estereoscópio com aumento fixo de 12x, assim que houve a mudança de cor a múmia foi congelada imediatamente, sem passar por algum processo de secagem.

4.4.5 Peso dos insetos e quantificação de proteína

A determinação do peso médio dos pulgões e dos parasitoides (múmias) foi feita em balança de precisão de 0,00001g. O número de 50 insetos congelados por tratamento retirados do freezer, colocados sobre papel toalha e imediatamente pesados no Laboratório de Filmes Poliméricos e Nanotecnologia (LAFIP) do Instituto de Química e do Instituto de Genética e Bioquímica da UFU.

No Laboratório de Nanobiotecnologia (NANOs) do Instituto de Genética e Bioquímica da UFU, as amostras para quantificação de proteína foram preparadas a partir de cinco insetos por repetição, duas repetições por tratamento, sendo que as alíquotas para leitura foram em quintuplicata, totalizando 10 observações por tratamento. Diretamente do freezer, sem passar por nenhum processo de secagem, os insetos foram colocados em placa de Petri sobre gelo e picotados com auxílio de bisturi em solução tampão de lise (125 mM Tris-HCl pH 7,0; 0,1 M NaCl; 0,1% de SDS; 4,5 % de Tween-20; 0,5% de Triton x-100). Posteriormente desintegrados em homogeneizador de tecidos (Dispensor T 10 basic ULTRA-TURRAX[®]) por um minuto em um total de 400 µL da solução tampão de lise. Após 15 minutos no gelo, as amostras foram para centrifuga 13.000 rpm, a 4°C por mais 15 minutos.

Após a centrifugação, ao sobrenadante aplicaram-se inibidores de proteases (4 µL de PMSF 100 mM; 4 µL de benzamidina 100mM; 1,3 µL de coquetel inibidor de fosfatase). A quantificação de proteínas realizada pelo método de Bradford que utiliza o corante de “Coomassie brilliant blue” BG-250 (BRADFORD, 1976), na diluição de 3 µL da amostra (sobrenadante + inibidor de protease) com 47 µL de água destilada e 150 µL do reagente de Bradford.

4.4.6 Coleta das plantas e análise de silício

Após a coleta de *S. graminum* e *L. testaceipes* utilizados para determinação do peso e quantificação de proteínas, as plantas foram seccionadas no colo, coletando a parte aérea. O processamento e análise da concentração de Si nas plantas realizaram-se conforme descrito no item 4.1.3.

4.4.7 Análise dos dados

Os dados de acúmulo de Si na planta de sorgo, peso médio e quantificação de proteína de *S. graminum* e *L. testaceipes*, foram obtidos de um delineamento experimental inteiramente casualizado, com dois tratamentos: com e sem aplicação de Si. Foram consideradas para a análise 10 observações (duas repetições x cinco leituras) para proteína dos insetos e 50 repetições (insetos) para determinação do peso de *S. graminum* e *L. testaceipes*. Para acúmulo de Si no sorgo foram 12 repetições (duas plantas em cada repetição). Para avaliar a normalidade dos resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,01$) e para a homogeneidade das variâncias o teste de Levene ($p = 0,05$). Os dados foram analisados por meio de ANAVA, e as comparações pelo teste F ($p = 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SORGO À ADUBAÇÃO COM SILÍCIO

Houve interação entre genótipo e aplicação de Si no solo ($F= 6,3110$; $P< 0,0001$) para a concentração de Si na biomassa seca das plantas inteiras de sorgo. Os genótipos mais eficientes, que apresentaram maior quantidade de Si quando o solo não foi adubado com o elemento foram: LE296, LE280, LE277, LE272 e IPA46742; e os que não foram eficientes, acumulando menos Si desenvolvendo no solo não adubado com o elemento foram: LE294, LE299, LE300, LE270, LE268 e LE276 ($F= 7,6680$; $P< 0,0001$) (Tabela 2).

TABELA 2 - Concentração de silício em plantas de sorgo (porcentagem média±erro), com 30 dias após a emergência, em casa de vegetação.

Genótipos	Com Si	Sem Si
LE284	2,10±0,16 A a	1,36±0,17 B b
LE296	1,57±0,25 B a	1,95±0,07 A a
LE280	1,80±0,13 B a	1,78±0,02 A a
LE277	2,28±0,13 A a	1,72±0,08 A b
LE272	1,69±0,12 B a	1,82±0,01 A a
IPA46742	2,11±0,21 A a	1,83±0,07 A a
CF15	1,93±0,12 B a	1,37±0,32 B b
LE294	1,95±0,02 B a	0,89±0,12 C b
LE299	1,85±0,13 B a	0,93±0,09 C b
LE300	1,74±0,01 B a	0,91±0,14 C b
LE270	1,83±0,16 B a	0,82±0,04 C b
LE263	2,30±0,08 A a	1,10±0,12 B b
LE268	2,24±0,26 A a	0,78±0,04 C b
LE276	2,28±0,12 A a	0,98±0,23 C b
LE271	1,92±0,06 B a	1,21±0,12 B b
LE303	2,26±0,15 A a	1,29±0,25 B b

CV (%) = 15,52

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na coluna e minúsculas na linha se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$) e F ($p = 0,05$), respectivamente. CV = coeficiente de variação.

Os genótipos não responsivos, que apresentaram mesma concentração de Si, independente da adubação foram: LE296, LE280, LE272 e IPA46742. Dos 16 genótipos 12

foram responsivos, ou seja, apresentaram maior quantidade de Si quando receberam adubação deste elemento os genótipos LE284, LE277, CF15, LE294, LE299, LE300, LE270, LE263, LE268, LE276, LE271 e LE303. Dentre esses responsivos os que mais acumularam Si foram: LE284, LE277, LE263, LE268, LE276 e LE303, em comparação aos que acumularam menos: CF15, LE294, LE299, LE300, LE270 e LE271, quando adubados com esse elemento ($F=2,6050$; $P=0,0041$) (Tabela 2).

Pelos resultados obtidos neste trabalho, em casa de vegetação verificou-se que a maioria dos genótipos de sorgo testados acumulou Si em quantidades maiores que 1% da biomassa seca da planta, mesmo quando não foram adubados com Si e todos os genótipos mais que 1% quando adubados com o elemento, condizendo com o esperado para plantas classificadas como acumuladoras de Si, segundo Ma e Takahashi (2002). Esses autores apresentaram uma árvore filogenética de plantas em relação ao acúmulo de Si e propuseram uma classificação, onde as plantas chamadas de acumuladoras têm uma concentração de Si acima de 1%. As não-acumuladoras têm uma concentração de Si inferior a 0,5%. Já as que não atendem a esses critérios são chamadas de intermediárias. Pelas quantidades de Si acumulado pelo sorgo em outros trabalhos (AHMED; ASIF; HASSAN, 2014; HATTORI et al., 2005; LUX, et al. 2002; OLIVEIRA; CANUTO, 2016; RESENDE, et al., 2009), pode-se dizer que é uma cultura acumuladora de Si, condizendo com os resultados deste trabalho em casa de vegetação.

Todas as plantas terrestres contêm Si em seus tecidos, sendo que o teor varia consideravelmente com a espécie, situando-se entre 0,1 a 10% de Si, numa base de peso seco. As espécies mais ricas em Si são as monocotiledôneas, como o sorgo e as dicotiledôneas geralmente são mais pobres (MA; TAKAHASHI, 2002). Para Sangster (1978) e Hodson et al. (2005) a concentração de Si em plantas depende principalmente da genética (posição filogenética) da planta, mais do que seu ambiente (isto é, concentração de Si no solo e solução do solo).

Sangster, Hodson e Tubb (2001) relatam que entre as dicotiledôneas algumas famílias apresentam silificação como Fabaceae, Cucurbitaceae, Rosales e Asteraceae; e entre monocotiledôneas, tem-se as duas famílias que mais acumulam esse elemento, Cyperaceae e Poaceae (EPSTEIN, 1999; HODSON et al., 2005; MA; TAKAHASHI, 2002). Não coincidentemente, vários estudos têm demonstrado efeitos benéficos da aplicação de Si, especialmente em culturas da família Poaceae, como arroz, cana-de-açúcar, cevada, milho,

sorgo e trigo (GONG et al., 2003; HATTORI et al., 2005; MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001) que apresentam quantidades consideráveis desse elemento em seus tecidos.

Como pôde ser observado no presente trabalho, o acúmulo de Si no sorgo também varia de acordo com genótipo. E também a aplicação de Si no solo pode refletir em diferenças no acúmulo na planta, dependendo do genótipo de sorgo. É conhecido que além das diferenças entre espécies, também existe uma variação entre genótipos para concentração de Si em plantas dentro de uma mesma espécie, embora essa variação, geralmente, não seja tão evidente quanto entre espécies (AHMED; ASIF; HASSAN, 2014; DEREN, 2001; HODSON et al., 2005; LUX, et al. 2002; MA; TAKAHASHI, 2002).

Além disso, uma determinada espécie ou cultivar conduzida em várias concentrações de Si poderá acumular diferentes quantidades de Si (HENRIET et al., 2006; MA; TAKAHASHI, 2002). Assim, mesmo que o acúmulo de Si seja uma característica filogenética, a disponibilidade de Si poderá influenciar a quantidade de Si absorvida pelas plantas. Observamos que 75% dos genótipos de sorgo estudados no presente trabalho foram responsivos a adubação com Si, acumulando mais quando receberam este elemento via adubação.

Estudos indicam que genótipos resistentes tendem absorver maiores quantidades de Si que suscetíveis e que essa habilidade em absorver este elemento proporciona maior resistência ao ataque de insetos herbívoros (KORNDÖRFER; GRISOTO; VENDRAMIM, 2011; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009; REYNOLDS et al., 2016). Assim, foram selecionados para o experimento de campo quatro genótipos não eficientes, porém responsivos. Dois deles entre os genótipos responsivos que acumularam mais Si (LE268 e LE276) e dois entre os responsivos que acumularam menos Si (LE299 e LE270).

5.2 EFEITO DO SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DIRETA E INDIRETA E NA PRODUTIVIDADE DO SORGO

5.2.1 Silício foliar

Na análise conjunta não foram observadas interações para genótipo, Si e época ($F=0,34$; $P=0,9162$), genótipo e Si ($F=0,76$; $P=0,5236$), época e genótipo ($F=1,03$; $P=0,4117$) e época e Si ($F=1,35$; $P=0,2670$) para a concentração de Si acumulada nas folhas de sorgo.

Entretanto, os fatores isoladamente foram significativos, genótipo (F=4,18; P=0,0092), Si (F=7,30; P=0,0089) e época (F=21,25; P=0,0000) (Tabela 3).

TABELA 3 - Resumo da ANAVA conjunta para teor de silício foliar em três épocas de semeadura, no campo.

Concentração de silício foliar		
FV	GL	F
Genótipo (G)	3	4,18*
Silício (Si)	1	7,30*
G x Si	3	0,76
Época (E)	2	21,25*
E x G	2	1,03
E x Si	6	1,35
E x G x Si	6	0,34
Bloco x E	9	1,69
Resíduo	63	--
Total	95	--
CV(%)		30,48

* Significativo a 5% de probabilidade. FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; F = F calculado.

A aplicação de 400 kg ha⁻¹ de Si no solo resultou, em plantas de sorgo, uma maior concentração de Si foliar do que a dose 0 kg ha⁻¹, 0,84 e 0,71% respectivamente (Tabela 4). Também foi observado uma maior concentração de Si foliar na primeira (0,93%) e terceira épocas (0,83%) em relação à segunda (0,56%) (Tabela 4).

O genótipo LE276 (0,90%) apresentou maior concentração de Si foliar do que o genótipo LE268 (0,67%), sendo que o LE270 (0,73%) e o LE299 (0,78%) não se diferiram dos demais (Tabela 5). Desta forma, os quatro genótipos estudados no campo, assim como observado em casa de vegetação, foram responsivos à adubação com Si, apesar de não manterem o padrão dos dois mais (LE268 e LE276) e menos (LE299 e LE270) responsivos observado em casa de vegetação.

A média entre genótipos e épocas para a concentração de Si foliar que mostrou essa resposta à adubação silicatada não superou 1%, entretanto outros trabalhos que também citam o sorgo como planta acumuladora, também não encontraram valores acima de 1% de Si, mas encontraram diferenças nos tratamentos com adubação (maior) e sem adubação (menor) com esse elemento, ou seja, o sorgo responde à adubação com Si (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES; CARVALHO, 2002; SANTOS et al., 2014b). Também

existem resultados relatando as duas situações, como Resende et al. (2013), que estudando dois genótipos de sorgo, observaram que ambos responderam à adubação silicatada acumulando mais Si quando adubados, um dos genótipos chegou a 0,85%, enquanto o outro 1,2% de Si foliar.

TABELA 4 - Concentração de silício foliar em plantas de sorgo (porcentagem média±erro) nos quatro genótipos estudados, em função da aplicação de Silício, referente às três épocas de semeadura no campo.

Época	Genótipo	Dose de Si (kg ha ⁻¹)		Média±erro
		0	400	
1	LE268	0,67±0,08	0,94±0,14	0,93±0,05 A
	LE276	0,85±0,03	1,21±0,23	
	LE270	0,79±0,10	1,02±0,16	
	LE299	0,93±0,13	1,02±0,13	
	Média±erro	0,81±0,05	1,05±0,08	
2	LE268	0,48±0,07	0,54±0,07	0,56±0,04 B
	LE276	0,62±0,07	0,69±0,23	
	LE270	0,44±0,04	0,44±0,02	
	LE299	0,59±0,06	0,70±0,14	
	Média±erro	0,53±0,03	0,59±0,07	
3	LE268	0,58±0,14	0,84±0,15	0,83±0,05 A
	LE276	0,94±0,11	1,13±0,02	
	LE270	0,87±0,17	0,86±0,11	
	LE299	0,77±0,05	0,69±0,15	
	Média±erro	0,79±0,07	0,88±0,07	
Média geral (±erro)		0,71±0,03 b	0,84±0,05 a	

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na coluna se diferem pelo teste de Tukey (p = 0,05), e minúsculas na linha, se diferem pelo teste F (p = 0,05).

TABELA 5 - Concentração de silício foliar em plantas de sorgo (porcentagem média±erro) nos quatro genótipos estudados, no campo.

% de Si Foliar (Média±erro)	Genótipo			
	LE268	LE276	LE270	LE299
	0,67±0,05 b	0,90±0,07 a	0,73±0,06 ab	0,78±0,05 ab

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha se diferem pelo teste de Tukey (p = 0,05).

Dessa forma, o acúmulo de Si é influenciado pela taxa de transpiração e as folhas mais antigas apresentam significativamente mais Si do que folhas mais jovens, principalmente devido ao maior tempo de translocação do Si através do fluxo transpiratório da planta (HARTLEY et al., 2015; MA, 2004; MITANI; MA, 2005; PIPERNO, 2006). Soma-se ainda o fato de que o Si depositado não é remobilizado (RICHMOND; SUSSMAN, 2003), o que significa que os níveis de Si foliar aumentam com a idade da planta e da folha (REYNOLDS et al., 2012). No experimento de campo foi coletada a folha bandeira, no florescimento pleno da planta para realizar a análise do teor de Si, ou seja, a folha mais jovem da planta, justificando os valores baixos encontrados na concentração de Si em relação ao experimento em casa de vegetação, onde foram utilizadas as plantas inteiras.

Como o fluxo transpiratório da planta pode influenciar a absorção de Si também pode depender de fatores climáticos que influenciam a transpiração, como a temperatura e disponibilidade de água (HARTLEY; DeGABRIEL, 2016), a diferença observada na redução da concentração de Si acumulada nas folhas dos genótipos de sorgo na segunda época de avaliação, muito provavelmente se deu pelo estresse hídrico que as plantas sofreram (plantas visivelmente murchas, durante semanas). Apesar de haver pouca precipitação pluviométrica tanto na segunda quanto terceira época, nesta última houve irrigação da cultura desde a semeadura até o estabelecimento da cultura e depois da cultura estabelecida houve precipitações relevantes entre os meses de maio e junho, contribuindo para que as plantas da terceira época não ficassem debilitadas quanto às da segunda.

5.2.2 Avaliações semanais de pulgões e seus parasitoides

Durante as avaliações semanais de insetos nas três épocas foram identificadas e contabilizadas seis espécies de pulgões colonizando plantas de sorgo, *Schizaphis graminum* (total de 62.675 indivíduos), *Rhopalosiphum maidis* (total de 41.888 indivíduos), *Sipha flava* (total de 23.592 indivíduos), *Hysteroneura setariae* (total de 2.096 indivíduos), *Rhopalosiphum padi* (total de 904 indivíduos) e *Sitobion avenae* (total de 49 indivíduos). O que correspondeu ao final das 20 semanas de avaliações a 131.204 pulgões contabilizados em 320 plantas avaliadas por semana (32 parcelas, 10 plantas por parcela).

Schizaphis graminum (pulgão-verde) e *R. maidis* (pulgão-do-milho) sozinhos representaram 79,7% do número total de pulgões, 47,77 e 31,93%, respectivamente para cada espécie. Na primeira semana da primeira época e na segunda semana da segunda época

(semana 8) foram observados valores médios mais elevados de *R. maidis* por planta 42,87 e 29,34, respectivamente (Figura 3). Entretanto a partir da segunda semana na primeira época e quarta semana na segunda época, o número médio de *R. maidis* por planta se manteve próximo a zero até o final das avaliações em cada época. Situação semelhante também ocorreu na terceira época, iniciando na primeira semana de avaliação (semana 13) com valores elevados (10,83 indivíduos por planta) e depois reduzindo para próximo de zero (Figura 3). Dessa forma foi notado que *R. maidis* tem maior ocorrência no período de desenvolvimento inicial da planta, de forma geral, após a quarta semana, praticamente não foi encontrada essa espécie nas plantas de sorgo.

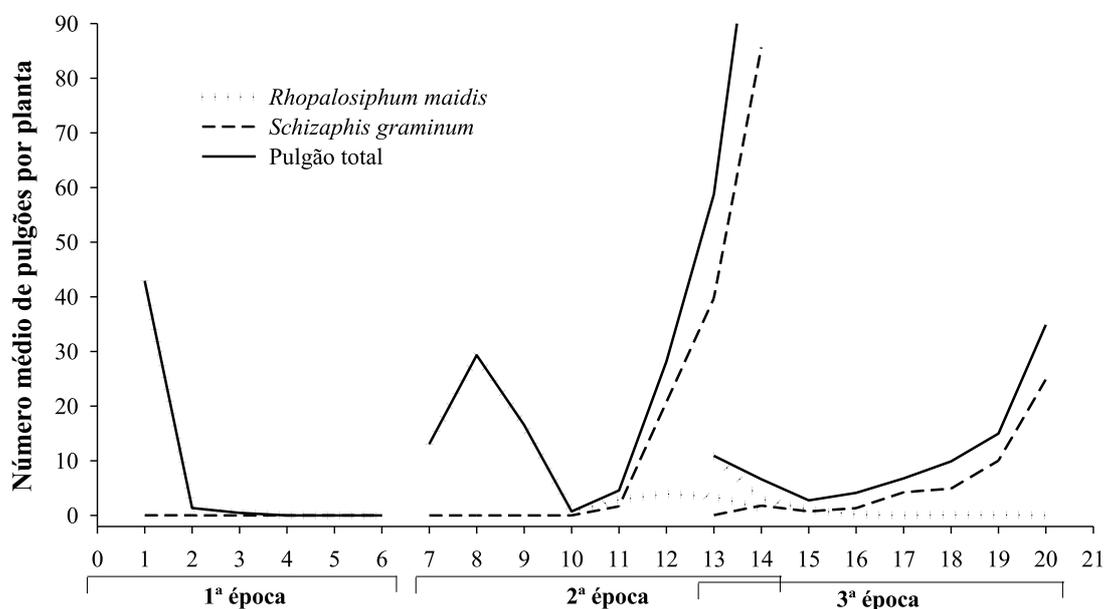


FIGURA 3 - Número médio de pulgões por planta na primeira (semanas de avaliação 1 a 6), segunda (semanas de avaliação 7 a 14) e terceira (semanas de avaliação 13 a 20) épocas.

A partir da quinta semana na segunda época (semana 12) *S. graminum* começou a aparecer em grandes números. Desde essa semana, a espécie representou praticamente o todo de pulgão total, chegando até o final das avaliações dessa época com média de 85,65 *S. graminum* por planta. De maneira semelhante, na terceira época, *S. graminum* nas primeiras semanas foi observado em números próximos a zero, sendo o número total de pulgões representados basicamente por *R. maidis*. Posteriormente *S. graminum* aumentou a média de pulgões por planta chegando em 24,87 até o final das avaliações dessa época (semana 20)

(Figura 3). De forma oposta a *R. maidis*, foi notado que *S. graminum* tem maior ocorrência após o período de desenvolvimento inicial da planta.

Conforme observado no presente trabalho as duas espécies que se destacaram numericamente foram *S. graminum* e *R. maidis*, reportadas na literatura como as duas espécies principais de pulgões na cultura do sorgo, dentro do grupo de pragas sugadoras e vetores de fitopatógenos (vírus do mosaico-anão-do-milho), pela sucção de seiva causando danos diretos e indiretos nas plantas. Além disso, a injeção de toxinas por *S. graminum* destrói a parede celular e causa clorose e necrose dos tecidos das folhas e caules (COELHO, et al., 2002; MENDES et al., 2014).

Já o número médio geral de pulgões parasitados, considerando todas as avaliações representou 0,98% dos pulgões, caracterizando baixa porcentagem de parasitismo natural de pulgões no período avaliado. O parasitismo semanal mais elevado foi em torno de 4,7% nas semanas 2 e 11, seguidos pelas semanas 15, 17 e 20 com parasitismo em torno de 3,85% (Figura 4).

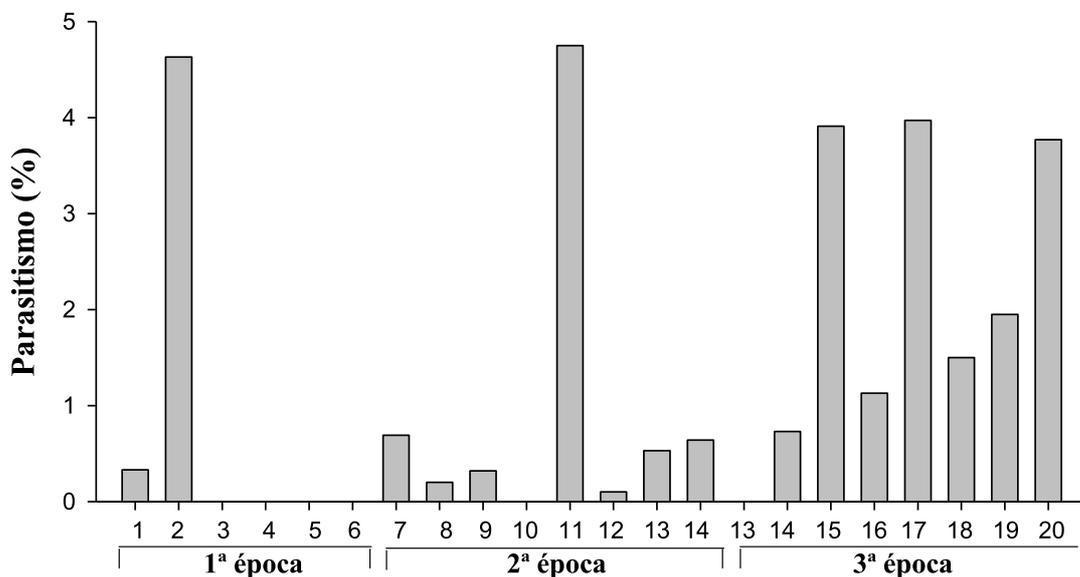


FIGURA 4 - Porcentagem de parasitismo semanal do total de pulgões na primeira (semanas de avaliação 1 a 6), segunda (semanas de avaliação 7 a 14) e terceira (semanas de avaliação 13 a 20) épocas.

Nas amostragens de pulgões parasitados foram encontrados *Lysiphlebus testaceipes* e *Diaeretiella rapae* parasitando somente *S. graminum*. No entanto é conhecido que *L.*

testaceipes também parasita outras espécies de pulgões, como por exemplo, *R. maidis* (SILVA; BUENO; SAMPAIO, 2008). Não foi encontrado *R. maidis* parasitado provavelmente pelo número reduzido de indivíduos amostrados.

O número de *R. maidis* e *S. graminum* se ajustaram ao modelo linear generalizado misto (MLGM), permitindo a análise de deviance (ANODEV) para avaliar a significância dos efeitos fixos (genótipos e doses de Si) e sua interação. Para as demais espécies de pulgões e o número de pulgões parasitados a variação dos dados não se ajustou ao modelo. Para *R. maidis*, não houve significância dos efeitos fixos e nem interação pelo teste de Qui-Quadrado (χ^2) ($p=0,05$) (Tabela 6). Já para *S. graminum* houve interação entre genótipo e dose de Si (Tabela 6).

TABELA 6 - Análise de deviance (ANODEV), para a contagem semanal de pulgões que se ajustaram ao modelo linear generalizado misto (MLGM) em plantas de sorgo no campo.

Pulgões	FV	GL	χ^2	Prob.
<i>Rhopalosiphum maidis</i>	Genótipo (G)	3	1,2028	0,7523
	Dose (D)	1	1,1204	0,2898
	G x D	3	0,7100	0,8708
<i>Schizaphis graminum</i>	G	3	1,4149	0,7020
	D	1	1,5658	0,2110
	G x D	3	16,665	0,0008**

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; χ^2 = Qui-Quadrado; Prob. = probabilidade. **Significativo a 1% de probabilidade.

Dessa forma, os coeficientes do modelo foram estimados e o “teste Z” foi aplicado para testar a significância destes coeficientes ($p=0,05$) para *S. graminum*. Os coeficientes negativos com “teste Z” significativo para *S. graminum* nos genótipos LE276 e LE299 na dose de 400 kg ha⁻¹, indicam que a aplicação de Si reduziu o número de pulgões por planta nas três épocas de avaliação quando comparados com as plantas dos respectivos genótipos sem adubação com Si (Tabela 7).

A média de pulgões *S. graminum* em plantas não adubadas com Si foi 2,48 vezes superior no genótipo LE299 e 2,03 vezes superior no genótipo LE276, em relação às plantas adubadas com esse elemento (Tabela 8).

TABELA 7 - Coeficientes do modelo linear generalizado misto (MLGM), para os tratamentos, para *Schizaphis graminum*, que apresentou ANODEV significativa, e “teste Z” para os coeficientes.

	Dose de Si (kg ha ⁻¹)	Genótipo	Estimativa	Erro padrão	Z	Prob.
<i>Schizaphis graminum</i>	0	LE268	1,692	1,799	0,94	0,3470
		LE276	0,312	0,348	0,90	0,3700
		LE270	0,164	0,350	0,47	0,6402
		LE299	-0,263	0,370	-0,71	0,4772
	400	LE268	0,458	0,373	1,23	0,2190
		LE276	-1,168	0,514	-2,27	0,0231*
		LE270	-0,354	0,509	-0,70	0,4859
		LE299	-1,815	0,562	-3,23	0,0012**

Significativo a *5% e **1% de probabilidade.

TABELA 8 - Número de *Schizaphis graminum* por planta (média±erro) nos quatro genótipos de sorgo estudados em função da dose de silício no campo.

Genótipo	Dose de Si (kg ha ⁻¹)	Pulgões por planta (média±erro)
LE268	0	12,44±6,01
	400	12,39±3,62
LE276*	0	10,32±3,11
	400	5,09±1,66
LE270	0	10,44±2,81
	400	12,54±4,09
LE299**	0	5,70±1,94
	400	2,30±0,97

Médias significativamente diferentes a *5% e **1% de probabilidade pelo teste Z.

Muitos estudos [revisados por Reynolds, Keeping e Meyer (2009) e Reynolds et al. (2016)] têm mostrado maior resistência das plantas aos insetos e outros artrópodes herbívoros quando há adubação com Si, incluindo desfolhadores, brocas, sugadores de floema e xilema, e ácaros. No presente trabalho, foi observado que houve redução significativa no número de *S. graminum* em plantas de sorgo em dois dos quatro genótipos estudados, quando foram adubados com Si.

Este é o primeiro trabalho em campo que constata a indução de resistência de genótipos de sorgo ao pulgão *S. graminum*. Como foi avaliada a infestação natural desse

inseto, onde os alados têm a livre chance de escolha das plantas no campo é provável que a redução do número de *S. graminum*, por Si, não tenha sido somente por antibiose, mas também do efeito aditivo da não-preferência. Já foi observado na interação trigo e o pulgão *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) a indução de resistência por Si pelos dois mecanismos (DIAS et al., 2014). Onde a adubação com Si reduziu a fecundidade, período reprodutivo, longevidade, taxa de aumento populacional e taxa de reprodução em ápteros de *S. avenae*, confirmando antibiose e pulgões alados preferiram plantas de trigo não adubadas com Si em condições de laboratório, confirmando a não-preferência dos indivíduos que colonizam as plantas adubadas com Si.

Há estudos envolvendo a relação da adubação com Si em plantas de sorgo com resultados positivos na resistência ao pulgão *S. graminum* (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES; CARVALHO, 2002). Entretanto são encontrados mais trabalhos com plantas de trigo relacionando a adubação com Si na resistência a esse inseto (BASAGLI et al., 2003; COSTA; MORAES; ANTUNES, 2007; COSTA; MORAES; COSTA, 2011; COSTA; MORAES, 2006; GOMES et al., 2005; GOUSSAIN; PRADO; MORAES, 2005; MORAES et al., 2004)

Carvalho, Moraes e Carvalho (1999), ao estudarem o efeito do Si na resistência do sorgo a *S. graminum*, verificaram que esse elemento reduz o período reprodutivo e longevidade de adultos, além de reduzir a preferência no teste de livre escolha. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes e Carvalho (2002) ao avaliarem o efeito do Si como agente indutor de resistência do sorgo ao mesmo pulgão, concluindo que a adição de Si reduz a reprodução e o desenvolvimento do inseto. Também Basagli et al. (2003) que realizaram aplicações sequenciais de solução de silicato de sódio em trigo, constatando que o Si reduziu a preferência, a longevidade e a produção de ninfas de *S. graminum*, conferindo às plantas, portanto resistência a este inseto-praga.

Outro estudo da influência do Si sobre a herbivoria do pulgão *S. graminum* na cultura do trigo demonstrou que esse pulgão, em testes de preferência com chance de escolha em laboratório, apresentou preferência pela testemunha em oposição às plantas que receberam aplicação de Si via foliar, ou solo. Os autores associaram esse resultado à deposição de sílica na parede celular, o que teria dificultado a penetração do estilete no tecido da planta cujo grau de resistência foi aumentado em função da aplicação de Si (MORAES et al., 2004).

Costa e Moraes (2006) mostraram que a aplicação de Si reduziu significativamente o número de ninfas, a taxa de crescimento da população, o período pós-reprodutivo e a

longevidade de *S. graminum* em plantas de trigo. Em um estudo posterior com as mesmas espécies, Costa, Moraes e Antunes (2007) revelaram que o número de pulgões na testemunha foi nove vezes maior que nas plantas que receberam aplicação de ácido silícico.

O Si também tem sido considerado um importante indutor ao ativar enzimas de defesa, na resposta das plantas em defesa contra a herbivoria (GOMES et al., 2005; HAN et al., 2016; YE et al., 2013). Por exemplo, Goussain, Prado e Moraes (2005) mostraram que Si em plantas de trigo não impediu a penetração do estilete *S. graminum*; no entanto, o estilete foi retirado com mais frequência, resultando em uma redução de tempo de prova, levando os autores a concluir que mudanças químicas por causa da absorção de Si pela planta seria a provável resposta em oposição a um impedimento físico com o estilete.

Gomes et al. (2005) também sugerem que o Si solúvel é importante na indução de resistência a insetos herbívoros. Tanto somente a adubação com Si, quanto a pré-infestação por *S. graminum*, ativam o sistema de defesa da planta, afetando negativamente a preferência desse pulgão e sua taxa intrínseca de aumento populacional, desencadeando aumento significativo das enzimas de defesa da planta, peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amonialiase (GOMES et al., 2005).

Aplicando o equivalente a uma dose de 1000 kg de Si.ha⁻¹ em plantas de trigo, Costa, Moraes e Costa (2011) mostraram por ensaios com “Electrical Penetration Graphs” (EPG) aos 15, 30 e 45 dias após a emergência das plantas, que tanto o tempo de alimentação de *S. graminum*, quanto a porcentagem de insetos que se alimentaram de seiva do floema foram reduzidos pelo tratamento com Si. Proporcionando suporte adicional as pesquisas que relacionam o Si não somente a resistência física (constitutiva ou induzida), mas podem também envolvimento nas defesas químicas induzidas na planta.

5.2.3 Avaliações na colheita

Não houve interação significativa entre genótipo Si e época para plantas acamadas (%), altura da planta, notas de severidade para antracnose, produção de massa fresca e seca, plantas com broca no colmo (%) e produtividade de grãos (Tabela 9). Observou-se o efeito significativo da aplicação de Si no solo para o número de plantas acamadas (F=4,69; P=0,0361), notas de antracnose (F=5,03; P=0,0303) e altura da planta, sendo que para esta variável em interação com genótipo (F=4,44; P=0,0085) (Tabela 9).

TABELA 9 - Resumo da ANAVA conjunta para acamamento (Ac), altura da planta (Alt), antracnose (Ant), massa fresca (Mf), massa seca (Ms), plantas com broca (Br) e produtividade de grãos (Pd), para primeira e segunda época, no campo.

FV	GL	Variáveis						
		Ac	Alt	Ant	Mf	Ms	Br	Pd
		F	F	F	F	F	F	F
Genótipo (G)	3	0,59	234,74*	23,97*	171,42*	135,93*	4,70*	22,64*
Silício (Si)	1	4,69*	7,40*	5,03*	2,60	1,97	0,02	0,01
G x Si	3	0,59	4,44*	0,94	0,99	1,59	0,61	0,62
Época (E)	1	14,40*	753,96*	53,76*	616,83*	523,52*	71,73*	1332,72*
E x G	3	3,48*	30,26*	1,01	96,95*	74,17*	2,75	26,70*
E x Si	1	1,41	0,88	0,51	2,10	0,27	0,11	0,03
E x G x Si	3	0,75	1,34	1,34	0,14	0,55	0,47	0,86
Bloco x E	6	1,58	0,37	1,48	2,14	1,34	0,34	2,98
Resíduo	42	--	--	--	--	--	--	--
Total	63	--	--	--	--	--	--	--
CV(%)		131,69	5,83	15,32	12,28	12,90	80,14	18,55

* Significativo a 5% de probabilidade. FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; F = F calculado.

Com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de Si no solo a porcentagem de plantas acamadas foi menor em relação à dose 0 kg ha⁻¹ de Si. O mesmo foi observado para a severidade da doença antracnose, onde a média de notas atribuída quando houve aplicação de Si foi menor do que sem aplicação de Si. Para a altura das plantas somente no genótipo LE299, a aplicação de Si no solo aumentou a média em relação à dose 0 kg ha⁻¹ de Si. Tanto na dose 0 quanto na 400 kg ha⁻¹ de Si, o genótipo com maior altura foi o LE276 e o menor o genótipo LE268 (Tabela 10).

Para as demais variáveis não houve efeito da aplicação de Si (Tabela 9). Sendo a média para produção de massa fresca 84,75 e 89,05 Mg ha⁻¹ (sem e com Si, respectivamente), produção de massa seca 27,68 e 28,96 Mg ha⁻¹ (sem e com Si, respectivamente), porcentagem de plantas com broca *D. saccharalis* no colmo 13,00 e 13,38% (sem e com Si, respectivamente) e produtividade de grãos 2,54 e 2,55 Mg ha⁻¹ (sem e com Si, respectivamente).

TABELA 10 - Médias (\pm erro) entre primeira e segunda épocas de semeadura para acamamento (Ac), altura da planta (Alt), antracnose (Ant) para quatro genótipos de sorgo com e sem aplicação de Silício no campo.

Variável	Dose de Si (kg ha ⁻¹)	Genótipo				Média \pm erro
		LE268	LE276	LE270	LE299	
Ac (%)	0	4,00 \pm 1,69	3,14 \pm 1,03	4,00 \pm 2,00	1,5 \pm 1,05	3,16 \pm 0,74 A
	400	1,50 \pm 0,73	1,50 \pm 1,50	1,5 \pm 0,73	1,5 \pm 1,05	1,50 \pm 0,50 B
	Média\pmerro	2,75 \pm 0,95 a	2,32 \pm 0,90 a	2,75 \pm 1,08 a	1,5 \pm 0,72 a	
Alt (cm)	0	105,63 \pm 5,63 cA	182,05 \pm 16,96 aA	130,00 \pm 10,98 bA	129,38 \pm 11,24 bB	
	400	109,38 \pm 6,37 dA	181,88 \pm 15,00 aA	130,38 \pm 12,20 cA	147,50 \pm 8,66 bA	
Ant (nota)	0	3,50 \pm 0,19	2,10 \pm 0,34	2,88 \pm 0,23	3,25 \pm 0,25	2,93 \pm 0,16 A
	400	3,38 \pm 0,18	1,88 \pm 0,30	2,75 \pm 0,25	2,63 \pm 0,18	2,66 \pm 0,15 B
	Média\pmerro	3,44 \pm 0,13 a	1,99 \pm 0,22 c	2,81 \pm 0,16 b	2,94 \pm 0,17 b	

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na coluna e minúsculas na linha se diferem pelo teste F ($p = 0,05$) e Tukey ($p = 0,05$), respectivamente.

Foi observada diferença entre épocas de semeadura sem interação com genótipo para as notas de antracnose ($F=53,76$; $P=0,0000$) e porcentagem de plantas com brocas no colmo ($F=71,73$; $P=0,0000$) (Tabela 9). Sendo que, na primeira época a incidência de antracnose foi menor do que na segunda época (Tabela 11). O genótipo LE276 apresentou menor incidência de antracnose que os demais seguido pelos genótipos LE299 e LE270 como intermediários e o genótipo LE268 com a maior incidência da doença, independente da dose de Si (Tabela 10) e da época (Tabela 11). Assim o genótipo LE276 foi considerado resistente, o LE268 susceptível, LE299 e LE270 moderadamente resistentes à antracnose. Já a porcentagem de plantas com o colmo broqueado foi maior na primeira época do que na segunda e o genótipo LE299 apresentou maior porcentagem de plantas com o colmo broqueado do que o LE276, sendo que o LE268 e o LE270 não se diferiram dos demais (Tabela 11).

Interação para época de semeadura e genótipo foi verificada para acamamento ($F=3,48$; $P=0,0240$), altura da planta ($F=30,26$; $P=0,0000$), massa fresca ($F=96,95$; $P=0,0000$), massa seca ($F=74,17$; $P=0,0000$) e produtividade ($F=26,70$; $P=0,0000$) (Tabela 9).

A porcentagem de acamamento foi maior na segunda época para os genótipos LE268, LE276 e LE270, porém não se diferiu entre épocas para o genótipo LE299. Já na primeira época a porcentagem de acamamento foi igual para todos os genótipos e na segunda o genótipo LE268 apresentou maior acamamento que o genótipo LE299, porém LE270 e LE276 não diferiram dos demais (Tabela 11).

TABELA 11 - Médias (\pm erro) de acamamento (Ac), altura da planta (Alt), antracnose (Ant), massa fresca (Mf), massa seca (Ms), plantas com broca (Br) e produtividade (Pd), para genótipos e primeira e segunda época, no campo.

Variável	Época de semeadura	Genótipo				Média \pm erro
		LE268	LE276	LE270	LE299	
Ac (%)	1	0,00 \pm 0,00 aB	1,00 \pm 0,65 aB	0,50 \pm 0,50 aB	2,00 \pm 1,31 aA	
	2	5,50 \pm 1,30 aA	3,64 \pm 1,61 abA	5,00 \pm 1,81 abA	1,00 \pm 0,65 bA	
Alt (cm)	1	122,50 \pm 2,11 cA	223,75 \pm 3,24 aA	160,38 \pm 1,68 bA	163,13 \pm 3,53 bA	
	2	92,50 \pm 2,11 cB	140,18 \pm 1,83 aB	100,00 \pm 2,50 cB	113,75 \pm 6,18 bB	
Ant (nota)	1	3,13 \pm 0,13	1,38 \pm 0,26	2,38 \pm 0,18	2,50 \pm 0,19	2,35 \pm 0,15 B
	2	3,75 \pm 0,16	2,60 \pm 0,18	3,25 \pm 0,16	3,38 \pm 0,18	3,25 \pm 0,11 A
	Média\pmerro	3,44 \pm 0,13 a	1,99 \pm 0,22 c	2,81 \pm 0,16 b	2,94 \pm 0,17 b	
Mf (Mg ha ⁻¹)	1	58,64 \pm 3,49 dA	185,84 \pm 5,42 aA	157,25 \pm 3,51 bA	78,34 \pm 2,88 cA	
	2	43,95 \pm 1,51 bB	62,38 \pm 5,41 aB	59,75 \pm 3,35 aB	49,05 \pm 4,78 abB	
Ms (Mg ha ⁻¹)	1	18,73 \pm 1,03 cA	54,80 \pm 2,09 aA	54,21 \pm 1,03 aA	27,33 \pm 0,99 bA	
	2	14,77 \pm 0,47 bB	20,78 \pm 1,78 aB	19,65 \pm 1,13 abB	16,27 \pm 1,37 abB	
Br (%)	1	24,50 \pm 3,50	10,50 \pm 3,11	28,50 \pm 5,47	34,00 \pm 6,23	24,38 \pm A
	2	2,00 \pm 1,07	0,50 \pm 0,50	1,00 \pm 0,65	4,50 \pm 1,40	2,00 \pm B
	Média\pmerro	13,25 \pm 3,40 ab	5,50 \pm 2,00 b	14,75 \pm 4,44 ab	19,25 \pm 4,90 a	
Pd (Mg ha ⁻¹)	1	4,43 \pm 0,20 bA	6,21 \pm 0,12 aA	3,38 \pm 0,36 cA	4,75 \pm 0,25 bA	
	2	0,29 \pm 0,03 aB	0,34 \pm 0,03 aB	0,48 \pm 0,05 aB	0,45 \pm 0,10 aB	

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na coluna se diferem pelo teste F ($p = 0,05$), e minúsculas na linha, se diferem pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

Para todos os genótipos, a altura média das plantas, massa fresca, massa seca e produtividade foram maiores na primeira época do que na segunda época (Tabela 11). Independente da época, a altura da planta, massa fresca e seca foram maiores no genótipo LE276 em relação ao LE268, sendo que LE299 e LE270 geralmente apresentaram valores intermediários. Entretanto para produtividade de grãos somente na primeira época foi possível verificar diferenças entre os genótipos, sendo o LE276 com maior produtividade e o LE270 com a menor, LE268 e LE299 entre os outros dois. Já na segunda época a produtividade foi tão reduzida que todos os genótipos se igualaram (Tabela 11).

O Si é conhecido por induzir resistência em plantas aos estresses abióticos e bióticos, como também as doenças de plantas (EPSTEIN, 1999). Isso inclui algumas doenças economicamente importantes em arroz, trigo, cevada, centeio, milho, pepino, uva e morango que podem ser efetivamente controladas pela adubação da planta com Si (DATNOFF; RODRIGUES; SEEBOLD, 2007). Nossos resultados também apontam a indução de

resistência por Si em plantas de sorgo a uma doença foliar importante na cultura a antracnose. Independente do genótipo estudado houve redução na nota de severidade da doença quando as plantas foram adubadas com Si.

A absorção de Si por cultivares susceptíveis pode elevar o nível de resistência ao de uma cultivar resistente desenvolvida sem tratamento com Si com controle semelhante de lesões foliares (KIM et al., 2002; RESENDE et al., 2009). Isso não foi observado no presente trabalho, todos os genótipos acumularam mais Si quando adubados e apresentaram menores notas da doença quando adubados. Entretanto não houve interação entre dose de Si e genótipo para as notas de severidade de antracnose, indicando que independente da aplicação, ou não de Si os genótipos mantiveram o mesmo grau distinção de resistência entre eles.

Doses crescentes de Si em um genótipo de sorgo resistente e outro suscetível a antracnose quando avaliados por notas de severidade da doença demonstraram efeito do Si na redução na severidade para ambos os genótipos avaliados (SANTOS et al., 2014b), assim como observado no presente trabalho. Além disso, no presente trabalho foi observado que o genótipo LE276, resistente a antracnose acumulou mais Si que o LE268 que foi suscetível, diferente dos resultados de Santos et al. (2014b), onde curiosamente o genótipo resistente acumulou menos Si nas folhas. Já no trabalho de Resende et al. (2009), apenas no genótipo suscetível foi observado efeito do Si, reduzindo a severidade de antracnose a níveis semelhantes ao genótipo de sorgo resistente, porém o acúmulo de Si foliar foi semelhante e crescente em ambos os genótipos em função do aumento das doses de Si.

No presente trabalho não foi observado efeito do Si na indução de resistência no sorgo à broca *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). Existem alguns trabalhos visando demonstrar a importância e os benefícios do Si como promotor de resistência a *D. saccharalis* em cana-de-açúcar, associando a assimilação de silício com a resistência da planta hospedeira a esse lepidóptero (CAMARGO et al., 2010; CAMARGO; KORNDÖRFER; FOLTRAN, 2014; VILELA et al. 2014a, 2014b). No entanto as conclusões desses trabalhos não são tão claras quanto os estudos na África do Sul com *Eldana saccharina* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), chamada de broca africana da cana-de-açúcar. Os trabalhos demonstram a associação entre a assimilação de silício e resistência da planta hospedeira a *E. Saccharina*, resultando em redução nos danos em colmos, redução de ganho de peso das lagartas e atraso da penetração do inseto no colmo (KEEPING; KVEDARAS; BRUTON, 2009; KEEPING; MEYER, 2002; 2003; KVEDARAS; KEEPING, 2007; MEYER; KEEPING, 2005).

O acúmulo de Si também influencia a estrutura das plantas, aumentando a rigidez estrutural dos tecidos, o que leva a reduzir o acamamento e quebramento das plantas, além da formação de folhas mais eretas, que diminui o auto-sombreamento, aumenta a área foliar e por consequência, aumenta a eficiência fotossintética, o crescimento da planta que, por fim, contribuem para maior produtividade da cultura (AHMED; HASSEN; KHURSHID, 2011; DATNOFF et al., 1991; DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001; EPSTEIN, 1994; HATTORI et al., 2005; MANIVANNAN; AHN, 2017; TRIPATHI et al., 2015). No presente trabalho foi observada a redução da porcentagem de plantas de sorgo acamadas em todos os genótipos, quando aplicado Si no solo, não havendo distinção entre os genótipos para a quantidade de acamamento. Para o crescimento da planta em altura apenas um dos genótipos estudados respondeu a aplicação de Si, apresentando menor altura quando não adubado com o elemento. Entretanto, neste trabalho, a adubação com Si não contribuiu para o aumento de massa fresca, massa seca e nem produtividade de grãos.

O estresse hídrico severo sofrido pelos quatro genótipos de sorgo no presente trabalho, na segunda época, foi claramente observado pela redução na altura da planta na massa fresca e seca, em relação à primeira época. Além disso, houve maior acamamento e a incidência de antracnose na segunda época, que por fim refletiu em uma reduzida produtividade de grãos, em comparação a primeira época. Esperava-se efeito do Si amenizando os danos pelo estresse hídrico no sorgo, uma vez que o efeito positivo do Si sobre o desenvolvimento dessa cultura foi mais notado sob condições estresse hídrico em estudos anteriores (HATTORI et al., 2005; HATTORI et al., 2008; SONOBE et al., 2009). No entanto na situação da segunda época, o estresse hídrico foi tão contundente, observado pelas plantas murchas durante semanas, que provavelmente o potencial hídrico ficou tão negativo ao ponto da planta não conseguir manter a turgescência, permanecendo murcha, interrompendo assim o suprimento de água via xilema, que por sua vez causa fechamento estomático, interrompendo assimilação de CO₂ pelas folhas, acompanhado por danos da membrana e a perturbação na atividade de várias enzimas, especialmente as da fixação de CO₂ e síntese de adenosina trifosfato (TAIZ et al., 2017). Ou seja, os efeitos positivos do Si sobre o sorgo em estresse hídrico podem ser verificados até certo limite, em que as plantas ainda consigam desempenhar suas atividades metabólicas.

No estudo com duas cultivares de sorgo em vasos, uma suscetível e outra tolerante a seca, observou-se o aumento no potencial hídrico foliar, no índice de área foliar e teor de clorofila com o aumento da concentração de Si nas folhas e raízes do genótipo tolerante à seca, em comparação ao suscetível (AHMED; ASIF; HASSAN, 2014). No campo, outro

estudo revelou que a silicificação, tanto na endoderme quanto na epiderme foliar, foi maior em uma cultivar tolerante à seca, em comparação com a cultivar sensível e os valores da concentração de Si foliar também foram maiores na cultivar tolerante (LUX et al., 2002). No presente trabalho foi observado que o genótipo LE276 apresentou maior concentração de Si foliar do que o genótipo LE268 em campo, além disso maior altura da planta, massa fresca e seca nas duas épocas avaliadas e produtividade na primeira época. Isso pode fornecer indícios que o genótipo LE276 é mais tolerante a seca que o LE268.

5.3 ATRATIVIDADE DE PARASITOIDES NO CAMPO

O número médio de pulgões parasitados por planta oito dias após a exposição dos pulgões ao parasitismo no campo foi 2,97 vezes maior no tratamento com aplicação de Si no solo do que no tratamento sem aplicação de Si (Tabela 12). De maneira análoga, aos 12 dias após a exposição dos pulgões, houve aumento no número de múmias em plantas com Si e o número de pulgões parasitados por planta 1,4 vezes maior no tratamento com aplicação de Si do que sem aplicação desse elemento (Tabela 12). *Lysiphlebus testaceipes* foi a única espécie encontrada parasitando os pulgões *S. graminum* neste experimento.

TABELA 12 - Teste Qui-quadrado para o número de pulgões *Schizaphis graminum* parasitados (média±erro) em plantas adubadas ou não com silício.

Avaliação	Dose de Si (kg ha ⁻¹)	Pulgões parasitados (média±erro)	χ^2
08 dias	0	14,25±4,78	12,89**
	400	40,92±16,22	
12 dias	0	85,75±23,19	5,98*
	400	120,92±46,68	

Significativo a *5% e a **1% de probabilidade pelo teste Qui-quadrado.

O número médio por planta de pulgões *S. graminum* parasitados por *L. testaceipes*, após a exposição das plantas no campo, superior no tratamento com aplicação de Si no solo demonstrou que as plantas adubadas com esse elemento foram mais atrativas do que o tratamento sem aplicação de Si. Estudo com plantas de trigo mostrou que o parasitoide *L. testaceipes* foi atraído por plantas adubadas com Si, mesmo que a planta não tenha sido submetida à herbivoria causada por *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae),

sugerindo que os voláteis, ou HIPVs (Herbivore-induced plant volatiles) emitidos por plantas adubadas com Si são similares aos das plantas atacadas pelos pulgões (OLIVEIRA, 2012).

Os HIPVs emitidos por plantas de arroz foram influenciados pela herbivoria de *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae), uma vez que três compostos foram produzidos apenas por plantas infestadas e vários outros foram produzidos em maiores quantidades por plantas infestadas do que nas não infestadas, independentemente da adubação com Si. Sendo as fêmeas adultas dos parasitoides *Trathala flavo-orbitalis* (Cameron) (Hymenoptera: Ichneumonidae) e *Microplitis mediator* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae) mais atraídas por plantas infestadas com *C. medinalis*, dentro de cada tipo de adubação com ou sem Si (LIU et al., 2017). Entretanto quatro compostos foram emitidos em menor quantidade das plantas infestadas com *C. medinalis* adubadas com Si, em comparação com infestadas sem Si. Essas mudanças de HIPVs pelo Si foram significativas ao ponto de alterar a atração de parasitoides. Fêmeas adultas de *T. flavo-orbitalis* e *M. mediator* foram mais atraídas pela mistura de HIPVs de plantas infestadas com *C. medinalis* adubadas com Si em comparação com infestadas sem Si. Isso demonstra que plantas adubadas com Si apresentam um perfil de HIPVs diferente de não adubadas (LIU et al., 2017). No mesmo trabalho os autores usaram plantas de arroz com genes da sinalização de jasmonato silenciados e não observaram alteração na mistura de HIPVs associada ao tratamento com Si, indicando que os efeitos de Si nos HIPVs são modulados pela via de sinalização do jasmonato.

Kvedaras et al. (2010) também observaram que outro tipo de inimigo natural, o predador *Dicranolaius bellulus* (Boisduval) (Coleoptera: Melyridae) foi mais atraído por plantas de pepino adubadas com Si e infestadas com *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) em laboratório. No campo ovos de *H. armigera* foram mais predados nas plantas adubadas com Si e infestadas com *H. armigera*. As plantas que foram infestadas, mas não adubadas com Si, ou que não foram infestadas (independentemente da adubação silicatada), não apresentaram uma predação de ovos relevante.

Nossos resultados indicam que a aplicação de Si no sorgo, aumenta a atratividade do parasitoide *L. testaceipes*, mesmo em plantas submetidas à herbivoria, provavelmente por alterações nos HIPVs. Isso contribui para o sucesso do controle biológico mediado por esse inimigo natural, aumentando as taxas de parasitismo de *S. graminum*.

5.4 EFEITO DO SILÍCIO NA QUALIDADE DE *S. graminum* PARA *L. testaceipes*

A aplicação de Si no solo teve efeito na concentração desse elemento acumulado na massa das plantas de sorgo ($F=1040,70$; $P=0,0000$). A aplicação de 600 kg ha^{-1} de Si resultou numa concentração de Si na planta 4,3 vezes maior do que a dose 0 kg ha^{-1} (Tabela 13).

Não houve efeito do Si no peso médio de *S. graminum* criados em plantas adubadas com esse elemento ($F=3,557$; $P=0,0623$). A média do peso dos pulgões criados em plantas não adubadas com Si foi de $0,135 \text{ mg}$ e dos criados em plantas adubadas com esse elemento na dose de 600 kg ha^{-1} foi de $0,121 \text{ mg}$ (Tabela 13). De forma semelhante, não houve efeito do Si na quantificação de proteína em *S. graminum* criados em plantas adubadas com esse elemento ($F=2,594$; $P=0,1247$). A leitura média de proteína dos pulgões criados em plantas não adubadas com Si foi de $1,416 \mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$ e dos criados em plantas adubadas com esse elemento, na dose de 600 kg ha^{-1} foi de $1,310 \mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$ (Tabela 13).

TABELA 13. Peso médio (\pm erro) e quantificação de proteína (média \pm erro) em *Schizaphis graminum* e *Lysiphlebus testaceipes* em sorgo adubado ou não com silício e concentração de silício acumulada nas respectivas plantas.

Indivíduo	Variável	Dose de Si (kg ha^{-1})	Média \pm erro	CV (%)
<i>S. graminum</i>	Peso médio (mg)	0	$0,135 \pm 0,006 \text{ A}$	28,42
		600	$0,121 \pm 0,004 \text{ A}$	
	Proteína ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$)	0	$1,416 \pm 0,048 \text{ A}$	10,80
		600	$1,310 \pm 0,044 \text{ A}$	
<i>L. testaceipes</i> (pulgão parasitado)	Peso médio (mg)	0	$0,135 \pm 0,006 \text{ B}$	28,84
		600	$0,160 \pm 0,006 \text{ A}$	
	Proteína ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$)	0	$1,441 \pm 0,052 \text{ A}$	9,58
		600	$1,397 \pm 0,032 \text{ A}$	
Plantas de sorgo	Silício (%)	0	$0,338 \pm 0,013 \text{ B}$	7,76
		600	$1,463 \pm 0,040 \text{ A}$	

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na coluna, para cada variável separadamente, se diferem pelo teste F ($p = 0,05$).

Para *L. testaceipes* houve efeito do Si no peso médio dos indivíduos desenvolvidos em *S. graminum* criados em plantas adubadas com esse elemento ($F=8,511$; $P=0,0044$). A média

do peso das múmias criadas em plantas não adubadas com Si (0,135 mg) foi menor que o das criadas em plantas adubadas com esse elemento, na dose de 600 kg ha⁻¹ (0,160 mg) (Tabela 13).

Apesar do parasitoide *L. testaceipes* ter maior peso no tratamento adubado com Si, o mesmo não foi observado para a quantifica o de proteína, onde não houve efeito do Si (F=0,524; P=0,4783). A leitura média de proteína dos pulgões parasitados por *L. testaceipes* em plantas não adubadas com Si foi de 1,441 µg µL⁻¹ e em plantas adubadas com esse elemento, na dose de 600 kg ha⁻¹ foi de 1,397 µg µL⁻¹ (Tabela 13).

A cultivar BRS 332, utilizada neste ensaio foi pouco eficiente e altamente responsiva a aduba o com Si para o acúmulo desse elemento em sua massa seca. Na dose de 0 kg ha⁻¹ de Si o acúmulo na planta inteira foi baixo ao ponto de se encaixar na classifica o de Ma e Takahashi (2002), como planta não acumuladora. Entretanto na dose de 600 kg ha⁻¹ de Si o acúmulo na planta foi 4,3 vezes maior do que a dose 0 kg ha⁻¹, se enquadrando como acumuladora.

O Si na planta é considerado um importante indutor/ativador de enzimas de defesa da planta aumentando a resistência aos insetos herbívoros (REYNOLDS et al., 2016; YE et al., 2013). Dessa forma aduba o com Si pode afetar negativamente o desenvolvimento do inseto herbívoro que se alimenta dessa planta, reduzindo seu ganho de peso (YE et al., 2013), entretanto isso não foi observado no presente trabalho, pois os pulgões *S. graminum* desenvolvidos tanto em plantas com Si, como em plantas sem Si apresentaram o mesmo peso. De forma semelhante, o Si também não afetou a quantidade de proteína dos pulgões *S. graminum* desenvolvidos em plantas com ou sem Si.

No desenvolvimento larval dos parasitoides o hospedeiro é a única fonte de nutrientes e sua qualidade pode influenciar o indivíduo na fase adulta. Por exemplo, para *L. testaceipes* o tamanho do adulto, preferência pelo hospedeiro e qualidade do hospedeiro refletida no período de desenvolvimento e na longevidade do adulto do parasitoide, são influenciados pela espécie do hospedeiro com diferentes qualidades (SILVA; BUENO; SAMPAIO, 2008)

O parasitoide de ovos de Lepidoptera, *Trichogramma brassicae* (Bezdenko) (Hymenoptera: Trichogrammatidae), quando desenvolvido em hospedeiros de alta qualidade os adultos apresentaram maiores valores de proteína e triglicerídeos do que aqueles que emergiram de hospedeiros de baixa qualidade (FARAHANI et al., 2017). Em outro trabalho, *T. brassicae* desenvolvidos em hospedeiros com um dia de idade (maior qualidade) apresentaram maior tamanho com maior fecundidade e longevidade e produziram uma maior

proporção de fêmeas quando comparados aos criados em hospedeiros de 25 e 45 dias (menor qualidade). Além disso, os adultos desenvolvidos em hospedeiros de um dia de idade apresentaram maiores quantidade de triglicerídeos, glicogênio e proteína, que são essenciais para a produção da próxima geração (FARAHANI et al., 2016).

No presente trabalho, apesar do peso e da quantificação de proteína em *S. graminum* não serem afetados pelo Si, ainda assim o efeito negativo do Si poderia ser observado na qualidade desse pulgão como hospedeiro para *L. testaceipes*. Já que estudos realizados por Jandricic et al. (2014) mostram que fatores que promovem a redução da fecundidade do pulgão levam a um pior desenvolvimento do parasitoide; e já foi demonstrado que o Si pode reduzir o período reprodutivo e/ou a fecundidade dos pulgões (dentre eles *S. graminum*) (BASAGLI et al., 2003; CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; DIAS et al., 2014; MORAES; CARVALHO, 2002; RANGER et al.; 2009).

Entretanto foi observado que o Si não teve efeito negativo no peso e na quantidade de proteína no parasitoide *L. testaceipes* desenvolvido em criados em plantas adubadas com esse elemento. É conhecido que *S. graminum* é hospedeiro de boa qualidade para *L. testaceipes* (SILVA; BUENO; SAMPAIO, 2008), sendo até indicado para criações do parasitoide em laboratório (RODRIGUES; BUENO, 2001). Além disso, *L. testaceipes* apresentou níveis semelhantes de controle do pulgão *S. graminum* em híbridos de sorgo suscetível, resistente por tolerância e resistente por antibiose a esse pulgão (DOGRAMACI et al., 2005), demonstrando que nesse caso as defesas da planta não interferiram negativamente na aptidão do parasitoide. De forma semelhante, Moraes et al. (2004) observaram que a aplicação de Si aumentou o grau de resistência das plantas de trigo diminuindo a preferência de *S. graminum*, mas não observaram nenhum efeito indireto nas características biológicas do parasitoide *L. testaceipes*.

Os pulgões durante a alimentação injetam diversas toxinas que alteram a fisiologia da planta, estas alterações podem modificar a interação entre a planta e as diversas espécies de pulgões que se alimentam desta (MICHAUD; ZHANG; BAIN, 2017). Dados não publicados do LACOB-UFU (Laboratório de Controle Biológico da Universidade Federal de Uberlândia), em casa de vegetação, mostram que quando colocado apenas um adulto de *S. graminum* por planta e suas ninfas retiradas diariamente, o Si reduz a fecundidade da fêmea. No entanto, quando são colocados mais adultos de *S. graminum* por planta e as ninfas não são retiradas diariamente, o Si não interfere na fecundidade do pulgão. Desta forma, acredita-se que com maior injeção de toxinas promovida pelo aumento populacional pode levar à quebra

da resistência induzida causada pelo Si. Mantendo-se um número elevado de *S. graminum* por planta (22 indivíduos em média) adubada e não adubada com Si, não foi observado efeito do tratamento na fecundidade e tamanho (mensurado pela tíbia posterior) do pulgão e nem no período de desenvolvimento, fecundidade potencial, tamanho (mensurado pela tíbia posterior) e longevidade do parasitoide *L. testaceipes* (danos não publicados do LACOB-UFU).

Pelos resultados do presente trabalho, em conjunto com dados não publicados pelo LACOB-UFU, não foram observadas reduções na qualidade do hospedeiro *S. graminum* para o parasitoide *L. testaceipes* com a aplicação de Si no solo. Isso indica uma compatibilidade entre a indução de resistência por Si e o controle biológico, como ferramentas dentro do MIP.

6 CONCLUSÕES

A maior parte dos genótipos de sorgo, em casa de vegetação, acumula mais silício quando há adubação com esse elemento. Genótipos responsivos em casa de vegetação foram também no campo.

No campo, a adubação silicatada, via solo, promoveu a indução de resistência direta em dois genótipos de sorgo, reduzindo no número de pulgões *Schizaphis graminum*. A indução de resistência indireta foi observada em campo, com maior parasitismo pelo inimigo natural *Lysiphlebus testaceipes* em plantas adubadas com silício.

A indução de resistência por silício à broca *Diatraea saccharalis*, não foi verificada, nas condições de campo, não interferindo na porcentagem de plantas broqueadas.

A resistência induzida por silício à antracnose em sorgo foi verificada no campo, reduzindo as notas de avaliação da severidade da doença.

A adubação com silício não interferiu na produção de grãos nem massa fresca e seca no sorgo, apesar de reduzir o acamamento.

O acúmulo de Si pela planta não reduz a qualidade do pulgão hospedeiro *Schizaphis graminum* para o parasitoide *Lysiphlebus testaceipes*.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; ASIF, M.; HASSAN, F. Augmenting drought tolerance in sorghum by silicon nutrition. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 36, n. 2, p. 473-483, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1427-2>
- AHMED, M.; HASSEN, F. U.; KHURSHID, Y. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? **Agricultural Water Management**, New York, v. 98, n. 12, p.1808-1812, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.003>
- ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; COELHO, M.; NASCIMENTO, A. M. Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 107, n. 4, p. 527-533, 2017. <https://doi.org/10.1017/S0007485316001176>
- ARIMURA, G.; KOST, C.; BOLAND, W. Herbivore-induced, indirect plant defences. **Biochimica et Biophysica Acta: Molecular and Cell Biology of Lipids**, Amsterdam, v. 1734, n. 2, p. 91-111, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.bbali.2005.03.001>
- BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H.M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M.R.; SHAH, G.M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, Guildford, v. 104, p. 21-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>
- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 659-663, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000400017>
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Orlando, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; FOLTRAN, D. E. Absorção de silício e incidência de broca-do-colmo em duas soqueiras de variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1304-1313, 2014.
- CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; FOLTRAN, D. E.; HENRIQUE, C. M.; ROSSETTO, R. Absorção de silício, produtividade e incidência de *Diatraea saccharalis* em cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.4, p.937-944, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400020>
- CARDOSO, W. S.; TARDIN, F. D.; TAVARES, G. P.; QUEIROZ, P. V.; MOTA, S. S.; KASUYA, M. C. M.; QUEIROZ, J. H. Use of sorghum straw (*Sorghum bicolor*) for second generation ethanol production: pretreatment and enzymatic hydrolysis. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5, 623-627, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500002>

CARLIN, S. D.; ROSSETTO, R. Biomassa para produção de energia. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 1-6, 2014.

CARNEVALE, A. B.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V. Parasitismo e desenvolvimento de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Aphidiidae) em *Aphis gossypii* Glover e *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 293-297, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000200015>

CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão verde *Shizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 505-510, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0301-80591999000300017>

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; FERNANDES, F. T.; PINTO, N. F. J. **Doenças Foliaves de Sorgo**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 5 p. (Comunicado Técnico, 72).

CASELA, C. R.; PINTO, M. F. J. A.; OLIVEIRA, E.; FERREIRA, A. S. Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 1997. p. 102-106.

CHONG, J. H.; OETTING, R. D. Host stage selection of the mealy bug parasitoid *Anagyrus* spec. nov near *sinope*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam, v. 121, p.39-50, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1570-8703.2006.00460.x>

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 24 p. (Arquivo do Agrônomo – nº 14).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB 2016. **Conjunturas mensais**. Sorgo - Período: junho de 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_07_08_17_38_24_sorgojunho2016.pdf> Acesso em: 21 nov. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB 2017. **Conjunturas mensais**. Sorgo - Período: março de 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_10_08_21_40_conjuntura_marco2017.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CONNICK, V. J. **The impact of silicon fertilisation on the chemical ecology of grapevine, *Vitis vinifera* constitutive and induced chemical defences against arthropod pests and their natural enemies**. 2011. 219 f. Ph. D. Thesis (Doutorado) - Charles Sturt University, Faculty of Science School of Agriculture and Wine Sciences, Wodonga, 2011.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 834-839, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000600018>

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-S-

methyl. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 393-397, 2007.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200019>

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; COSTA, R. R. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 135, n. 1-2, p. 115-120, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01526.x>

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; ZAMBOLIM, L.; FERREIRA, A. S. A antracnose do sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 345-354, 2003.
<https://doi.org/10.1590/S0100-41582003000400001>

CRUZ, I. **Resistência de genótipos de sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera:Aphididae)**. 1986. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CRUZ, I.; VENDRAMIM, J. D. Biologia do pulgão-verde em sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 283-289, 1989.

DADD, R. H. Nutrition: organisms. In: KERKURT, G. A.; GILBERT, L. I. (Ed.). **Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology**. 4th ed. Oxford: Pergamon Press, 1985. p. 313-390. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-030805-0.50014-6>

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, n. 6, p. 525-31, 1997.
[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00033-1)

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v.75, n. 7, p.729-732, 1991. <https://doi.org/10.1094/PD-75-0729>

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

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon on Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 424p.

DEREN, C. W. Plant genotype, silicon concentration, and silicon-related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 149-158. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80012-4](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80012-4)

DESHMUKH, R. K.; VIVANCOS, J.; GUÉRIN, V.; SONAH, H.; LABBÉ, C.; BELZILE, F.; BÉLANGER, R. R. Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant molecular biology**, Boston, v. 83, n. 4-5, p. 303-315, 2013.

DIAS, P. A. S.; SAMPAIO, M. V.; RODRIGUES, M. P.; KORNDÖRFER, A. P.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, S. E.; KORNDÖRFER, G. H. Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 949-956, 2014. <https://doi.org/10.1603/EN13234>

DIXON, R. A.; HARRISON, M. J.; LAMB, C. J. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 32, n.1, p. 479-501. 1994. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.32.090194.002403>

DOGGETT, H. **Sorghum**. 2nd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1988. 512 p.

DOGRAMACI, M.; MAYO, Z. B.; WRIGHT, R. J.; REESE, J. C. Tritrophic interaction of parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae), greenbug, *Schizaphis graminum* (Homoptera: Aphididae), and greenbug-resistant sorghum hybrids. **Journal of economic entomology**, College Park, v. 98, n. 1, p. 202-209, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 155, n. 2, p. 155-60, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2005. 380p.

FARAHANI, H. K.; ASHOURI, A.; ZIBAE, A.; ABROON, P.; ALFORD, L. The effect of host nutritional quality on multiple components of *Trichogramma brassicae* fitness. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 106, n. 5, p. 633-641, 2016. <https://doi.org/10.1017/S000748531600033X>

FARAHANI, H. K.; ASHOURI, A.; ZIBAE, A.; ABROON, P.; ALFORD, L.; PIERRE, J.; BAAREN, J. V. Early life nutritional quality effects on adult memory retention in a parasitic wasp. **Behavioral Ecology**, Cary, v. 28, n. 3, p. 818-826, 2017. <https://doi.org/10.1093/beheco/axx042>

GASSEN, D. N. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 134 p.

GODFRAY, H. C. J. **Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology**. Princeton: Princeton University Press, 1994. 473p.

- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>
- GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; CARVALHO, V. L.; KATO, C. M.; FOUREAUX L. V.; CAMPELO, M. G. Efeito da idade da fêmea de *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) no parasitismo de *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 276, p. 277-283, 2001.
- GONG, H.; CHEN, K.; CHEN, G.; WANG, S.; ZHANG, C. Effects of silicon on the growth of wheat and its antioxidative enzymatic system. **Chinese Journal of Soil Science**, [S.l.], v.34, n. 1, p.55-57, 2003.
- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-813, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000500013>
- GRÉGOIRE, C.; RÉMUS-BOREL, W.; VIVANCOS, J.; LABBÉ, C.; BELZILE, F.; BÉLANGER, R. R. Discovery of a multigene family of aquaporin silicon transporters in the primitive plant *Equisetum arvense*. **The Plant Journal**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 320-330, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.05082.x>
- GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. 3. ed. São Paulo: Roca, 2007. 456 p.
- HAN, Y.; LI, P.; GONG, S.; YANG, L.; WEN, L.; HOU, M. Defense Responses in Rice Induced by Silicon Amendment against Infestation by the Leaf Folder *Cnaphalocrocis medinalis*. **PloS One**, San Francisco, v. 11, n. 4, p. 1-14 (e0153918), 2016.
- HARTLEY, H. O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**, London, v. 37, n. 3-4, p. 271-280, 1950. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.3-4.271>
- HARTLEY, S. E.; DeGABRIEL, J. L. The ecology of herbivore-induced silicon defences in grasses. **Functional Ecology**, Oxford, v. 30, n. 8, p. 1311-1322, 2016. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12706>
- HARTLEY, S. E.; FITT, R. N.; MCLAMON, E. L.; WADE, R. N. Defending the leaf surface: intra- and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-8 (art. 35), 2015.
- HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>
- HATTORI, T.; SONOBE, K.; ARAKI, H.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Silicon application by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, n. 8, p. 1482-1495, 2008. <https://doi.org/10.1080/01904160802208477>

HENRIET, C.; DRAYE, X.; OPPITZ, I.; SWENNEN, R.; DELVAUX, B. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa spp.*) under controlled conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 287, n. 1-2, p. 359-374, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9085-4>

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of botany**, Oxford, v. 96, n. 6, p. 1027-1046, 2005.

HORSFALL, J. G.; BARRATT, R. W. An improved grading system for measuring plant diseases. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 35, n. 8, p. 655, 1945. (Abstract).

HUNT, J. W.; DEAN, A. P.; WEBSTER, R. E.; JOHNSON, G. N.; ENNOS, A. R. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. **Annals of Botany**, Oxford, v.102, n. 4, p. 653-656, 2008. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn130>

IBGE 2017. **Produção agrícola**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Fascículo Indicadores IBGE. Estimativa produção agrícola - Outubro de 2017. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/> Acesso em: 21 nov. 2017.

JANDRICIC, S. E.; DALE, A. G.; BADER, A.; FRANK, S. D. The effect of banker plant species on the fitness of *Aphidius colemani* Viereck and its aphid host (*Rhopalosiphum padi* L.). **Biological Control**, Orlando, v. 76, p. 28-35, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.007>

JEER, M.; TELUGU, U. M. VOLETI, S. R.; PAD, A. P. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v.141, n. 3, p. 189-201, 2017. <https://doi.org/10.1111/jen.12324>

KANT, M. R.; JONCKHEERE, W.; KNEGT, B.; LEMOS, F.; LIU, J.; SCHIMMEL, B. C. J.; VILLARROEL, C. A.; ATAIDE, L. M. S.; DERMAUW, W.; GLAS, J. J.; EGAS, M.; JANSSEN, A.; VAN LEEUWEN, T.; SCHUURINK, R. C.; SABELIS, M. W.; ALBA, J. M. Mechanisms and ecological consequences of plant defence induction and suppression in herbivore communities. **Annals of Botany**, Oxford, v. 115, n. 7, p. 1015-1051, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv054>

KAYE, N. M.; MASON, S. C.; JACKSON, D. S.; GALUSHA, T. D. Crop rotation and soil amendment alters sorghum grain quality. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 722-729, 2007. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0346>

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon in sugarcane: cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 1, p. 54-60, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.012>

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalkborer, *E. saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Agriculture and Forestry Entomology**, Oxford, v.4, p.265-274, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2002.00150.x>

- KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Effect of four sources of silicon on resistance of sugarcane varieties to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Proceedings of South African Sugar Technology Association**, [s.l.], v.77, p.99-103, 2003.
- KIM, S. G.; KIM, K. W.; PARK, E. W.; CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 92, n. 10, p. 1045-1103, 2002.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.10.1095>
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 3, 387-392. 2011.
- KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.133-147. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80011-2](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80011-2)
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34p.
- KVEDARAS, O. L.; AN, M.; CHOI, Y. S.; GURR, G. M. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 100, n.3, p. 367-371, 2010.
<https://doi.org/10.1017/S0007485309990265>
- KVEDARAS, O. L.; BYRNE, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, Oxford, v.11, n. 3, p. 301-306, 2009.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00430.x>
- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Amsterdam, v.125, n. 1, p. 103-110, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00604.x>
- LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. São Paulo: Icone, 1991. 336p.
- LIU, J.; ZHU, J.; ZHANG, P.; HAN, L.; REYNOLDS, O. L.; ZENG, R.; WU, J.; SHAO, Y.; YOU, M.; GURR, G. M. Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1-8 (art. 1265), 2017.
- LIU, Y. H.; LI, B.; XU, Z. Effect of host instar and temperature on fitness-related traits in the solitary endoparasitoid, *Meteorus pulchricornis*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 41, n. 1, p. 1-7, 2013.
- LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T.; INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y., Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologia**

Plantarum, Lund, v. 115, n. 1, p. 87-92, 2002. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150110.x>

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1-8 (art. 411), 2017.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNEDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9)

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 294 p.

MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, London, v. 440, p. 688-691, 2006. <https://doi.org/10.1038/nature04590>

MACKAUER, M.; MICHAUD, J. P.; VÖLKL, W. Host choice by aphidiid parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae): host recognition, host quality, and host value. **The Canadian entomologist**, Ottawa, v.128, n. 6, p. 959-980, 1996.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica N^o. 3).

MAIA, W. J. M.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. A. F. Influência da temperatura no desenvolvimento de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) em condições de laboratório. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 1470-1478, 2003.

MANIVANNAN, A.; AHN, Y. K. Silicon regulates potential genes involved in major physiological processes in plants to combat stress. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.8, p. 1-13 (art.1346), 2017.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 78, n. 1, p. 281-291, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01472.x>

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; PARIZ, C. M.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. Nitrogen fertilization on sorghum intercropped with grass in a no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1161-1169, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000007>

MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SAMPAIO, M. V.; VIANA, P. A. Manejo de pragas na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 89-99, 2014.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in South Africa. **Sugarcane International**, [s.l.], v.23, p.14-18, 2005.

MICHAUD, J. P.; ZHANG, Y.; BAIN, C. Feeding by *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae) facilitates use of sorghum by *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae), but reciprocal effects are negative. **Environmental Entomology**, College Park, v. 46, n. 2, p. 268-273, 2007.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eri121>

MORAES, J. C.; CARVALHO, S. P. Indução de resistência em plantas de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench. ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae) com a aplicação de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1185-1189, 2002.

MORAES, J. C.; GOUSSAIN M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; SAMPAIO, M. V. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 5, n. 33, p. 619-624, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000500012>

MOREIRA, H. J. C.; ARAGÃO, F. D. **Manual de pragas do milho**, Campinas: FMC, 2009. 132 p.

NASCIMENTO, A. M.; FRANSCINELY, A.; MORAES, J. C.; SAKOMURA, R. Não preferência a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) induzida em arroz pela aplicação de silício. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n.2, p. 215-218, 2014. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a3930>

OLIVEIRA, R. S. **Atratividade do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) por plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas à adubação com silício e herbivoria por *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 49f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

OLIVEIRA, R. S.; CANUTO, D. M. F. Absorção de silício pelo sorgo em neossolo quartzarênico adubado com sílica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.13, n. 23, p. 40-49, 2016. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a3930>

PANDA, N.; KHUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. Wallingford: CAB, 1995. 448 p.

PEDIGO, L. P.; RICE, M. E. **Entomology and Pest Management**. New York: Prentice Hall, 2006. 742 p.

PEÑA-MARTINEZ, R. Identificación de afidos de importância agrícola. In: URIAS-M, C.; RODRÍGUEZ-M, R.; ALEJANDRE-A, T. **Afidos como vectores de virus en México**. Montecillo: Centro de Fitopatología, 1992. p.1-135.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2015. 327 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham: AltaMira, 2006. 304 p.

RAHMAN, A.; WALLIS, C.; UDDIN, W. Silicon induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, Saint Paul, v.105, n. 6, p. 748-757, 2015. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0378-R>

RAMATOULAYE, F.; MADY, C.; FALLOU, S.; AMADOU, K.; CYRIL, D.; MASSAMBA, D. Production and use of sorghum: a literature review. **Journal of Nutritional Health & Food Science**, Normal, v. 4, n. 1, p. 1-4, 2016. <https://doi.org/10.15226/jnhfs.2016.00157>

RANGER, C. M.; SINGH, A. P.; FRANTZ, J. M.; CANÃS, L.; LOCKE, J. C.; REDING, M. E.; VORSA, N. Influence of Silicon on Resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, College Park, v. 38, n. 1, p. 129-136, 2009. <https://doi.org/10.1603/022.038.0116>

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. Á.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D., Silicon and fungicide effects on anthracnose in moderately resistant and susceptible sorghum lines. **Journal of phytopathology**, Berlin, v. 161, n. 1, p. 11-17, 2013.

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 124, n. 3, p. 533-541, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9430-6>

REYNOLDS, J. J. H.; LAMBIN, X.; MASSEY, F. P.; REIDINGER, S.; SHERRATT, J. A.; SMITH, M. J.; WHITE, S.; HARTLEY, S. E. Delayed induced silica defences in grasses and their potential for destabilising herbivore population dynamics. **Oecologia**, Berlin, v. 170, n. 2, p. 445-456, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2326-8>

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 155, n. 2, p. 171-186, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x>

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 1-13 (art. 744), 2016.

RIBAS, P. M. **Sorgo**: introdução e importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16217/1/Doc_26.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

RICHMOND, K. E., SUSSMAN, M. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current opinion in plant biology**, London, v. 6, n. 3, p. 268-272, 2003.

RODRIGUES, J. A. C. **Sistemas de Produção**: cultivo do sorgo. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

RODRIGUES, S. M. M.; BUENO, V. H. P. Parasitism rates of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hym.: Aphidiidae) on *Schizaphis graminum* (Rond.) and *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 4, p.625-629, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000400017>

RODRIGUES, S. M. M.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V.; SOGLIA, M. C. M. Influência da temperatura no desenvolvimento e parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 342-346, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000300011>

SABALLOS, A. Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. New York: Springer Science + Business Media, 2008. p. 211-248. https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_8

SALVADORI, J. R.; TONET, G. E. L. **Manejo integrado dos pulgões do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 52 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 34).

SAMPAIO, M. V.; BUENO, V. H. P.; CONTI, B. F. The effect of the quality and size of host aphid species on the biological characteristics of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). **European Journal of Entomology**, České Budějovice, v. 105, n. 3, p. 489-494, 2008. <https://doi.org/10.14411/eje.2008.063>

SANGSTER, A. G. Silicon in roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Baltimore, v. 65, n. 9, p. 929-935, 1978. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1978.tb06157.x>

SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; TUBB, H. J. Silicon deposition in higher plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 85-113. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80009-4)

SANI, B. M.; DANMOWA, N. M.; SANI, Y. A.; JALIYA, M. M. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria Niger. **Journal of Basic and Applied Science**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 253-259, 2011.

SANTOS, C. S; COELHO, A. M; RESENDE, A. V; MIRANDA, R. A. Correção do solo e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 76-88, 2014a.

- SANTOS, G. R.; RODRIGUES, A. C.; BONIFACIO, A.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; TSCHOEKE, P. H. Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 403-408, 2014b. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200023>
- SANTOS, M. C.; JUNQUEIRA, A. M. R.; SÁ, V. G. M.; ZANÚNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae. **Information Systems Journal**, Medford, v. 12, p. 158-165, 2015.
- SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 12, p. 1853-1903, 1999. <https://doi.org/10.1080/01904169909365761>
- SILVA, D. D.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; PARREIRA, D. F. Principais doenças do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 102-111, 2014.
- SILVA, R. J.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V. Qualidade de diferentes espécies de pulgões como hospedeiros do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 173-179, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000200011>
- SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 2005. 423 p. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3702-3>
- SMITH, M. T.; KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. A novel method to determine larval mandibular wear of the African stalk borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **African Entomology**, Lone Hill, v.15, n. 1, p.204-208, 2007. <https://doi.org/10.4001/1021-3589-15.1.204>
- SONOBE, K.; HATTORI, T.; AN, P.; TSUJI, W.; ENEJI, E.; TANAKA, K.; INANAGA, S. Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in sorghum grown with or without silicon under water stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 32, n. 3, p. 433-442, 2009. <https://doi.org/10.1080/01904160802660743>
- SOUZA, M. F.; VELOSO, L. F. A.; SAMPAIO, M. V.; DAVIS J. A. Influence of Host Quality and Temperature on the Biology of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). **Environmental Entomology**, College Park, v. 46, n. 4, p. 995-1004, 2017. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx108>
- STARKS, K. J.; MAYO Jr., Z. B. Biology and control of the greenbug attacking sorghum. In: INTERNATIONAL SORGHUM ENTOMOLOGY WORKSHOP, 1984, College Station. **Anais...** College Station: Texas AM University, 1985. p. 149-158.
- STARÝ, P.; SAMPAIO, M. V.; BUENO, V. H. P. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) and their associations related to biological control in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 107-118, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262007000100018>

STOETZEL, M. A.; MILLER, G. L. Aerial feeding aphids of corn in the United States with reference of the root-feeding *Aphis maidiradicis* (Homoptera: Aphididae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 84, n. 1, p. 83-98, 2001. <https://doi.org/10.2307/3496667>

SURVE, V. H.; ARVADIA, M. K. Performance of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L.), maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) under sole and intercropping systems. **International Journal of Agriculture Research and Review**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 28-31, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEETES, G. L.; JOHNSON, J. W. Damage assessment of the greenbug on grain sorghum. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 66, n. 5, p. 1181-1186, 1973. <https://doi.org/10.1093/jee/66.5.1181>

TRIPATHI, D. K.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M.; CHAUHAN, D. K.; KISHORE DUBEY, N.; RAI, A. K. Silicon-mediated alleviation of Cr(VI) toxicity in wheat seedlings as evidenced by chlorophyll fluorescence, laser induced breakdown spectroscopy and anatomical changes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 113, p. 133-144, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.029>

VET, L. E. M.; DICKE, M. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 37, p. 141- 172. 1992. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.37.010192.001041>

VILELA, M.; MORAES, J. C.; ALVES, E.; SANTOS-CIVIDANES, T.M.; SANTOS, F. A. Induced resistance to *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) via silicon application in sugarcane. **Revista Colombiana de Entomologia**, Santafe de Bogota, v. 40, p. 44-48, 2014a.

VILELA, M.; MORAES, J. C.; COELHO, M.; FRANÇOSO, J.; SANTOS-CIVIDANES, T.M.; SAKOMURA, R. Response of Moderate Pest Resistant and Susceptible Cultivar of Sugarcane to Silicon Application. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 05, p. 3823-3828, 2014b. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.526400>

VIVANCOS, J.; LABBE, C.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Silicon-mediated resistance of Arabidopsis against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway. **Molecular plant pathology**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 572-582, 2015.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S.R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 38, p. E3631-E3639, 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305848110>

ZANINI, A.; PRESTES, T. M. V.; DALMOLIN M. F.; ALVES, L. F. A.; MENEZES JR., A. O. Ocorrência de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Aphidiidae) parasitando pulgões (Hemiptera: Aphididae), em trigo em Medianeira, PR. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 275-276. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000200020>