

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DAVID NATAREN PERDOMO

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA INDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DE MILHO A *Spodoptera frugiperda* (SMITH)
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

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

- N273d
2017 Nataren Perdomo, David, 1990
Doses de silício na produtividade e na indução de resistência de plantas de milho a *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) / David Nataren Perdomo. - 2017.
50 f. : il.
- Orientador: Marcus Vinicius Sampaio.
Coorientador: Fernando Juari Celoto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.745>
Inclui bibliografia.
1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Resistência a doenças e pragas - Teses. 3. Silício na agricultura - Teses. 4. *Spodoptera frugiperda* - Teses. I. Sampaio, Marcus Vinicius. II. Celoto, Fernando Juari. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

DAVID NATAREN PERDOMO

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA Indução DE RESISTÊNCIA
DE PLANTAS DE MILHO A *Spodoptera frugiperda* (SMITH) (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE)**

Dissertação 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 Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Juari Celoto

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

DAVID NATAREN PERDOMO

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E NA INDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DE MILHO A *Spodoptera frugiperda* (SMITH)
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de Dezembro de 2017.

Dr^a. Simone Martins Mendes

EMBRAPA - MILHO E SORGO

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

UFU

Prof. Dr. Fernando Juari Celoto
(co-orientador)

UFU

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio
ICIAG/UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

AGRADECIMENTOS

A Deus por eu existir, por permitir que tudo isto acontecesse e por colocar em meu caminho pessoas maravilhosas que me ajudaram nas horas que mais precisei.

Aos meus pais que sem dúvida nenhuma são a minha fortaleza e inspiração, aos meus maravilhosos irmãos por estarem sempre ao meu lado quando precisei. A toda minha família, meus tios, primos e primas, pelo apoio e incentivos nas horas de fraqueza e desânimo. Com toda certeza posso dizer que vocês são meus heróis.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio pelos inúmeros ensinamentos, pelas orientações no desenvolvimento e finalização deste projeto e pela paciência e mãos estendidas nos momentos de maiores dificuldades. Agradeço pela sua amizade.

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

Aos parceiros do LACOB-UFU, principalmente Anakely, Gabriel e Diego primeiramente pela amizade, paciência e brincadeiras. Também pelas inúmeras ajudas no desenvolvimento deste trabalho, com sol ou com chuva. Obrigado por estarem presentes quando mais precisei, vocês estão no meu coração.

A todos meus amigos, principalmente a Oscar Chávez, Rousbell Flores, Leevan Leite, Fernando Matias, Marlize Pinheiro, Raphael Passaglia, Bruna Cesario, Isabelita e Marcelita Violatti, Rebeca Silva, Rafael Finzi, Lucas Estorino, Thiago Landim, Jorge da Silva, Daniel Magalhães e Thulio Pereira. Irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

A Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade concedida para realizar este curso, ao corpo docente pela manifestação de caráter e qualidade, direção e administração, especialmente ao pessoal do ICIAG pela atenção e profissionalismo.

A todos os alunos do programa de pós-graduação pela amizade e a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e da realização do meu sonho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Caracterização da cultura do milho (<i>Zea mays</i>).....	4
3.2. Importância e biologia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith).....	5
3.4 Uso do silício na agricultura.....	8
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1 Local do experimento.....	12
4.2 Características, preparo e adubação do solo.....	12
4.3 Semeadura e condução do experimento.....	13
4.4 Infestação manual com lagartas.....	14
4.5 Características avaliadas.....	14
4.5.1 Avaliação da desfolha.....	14
4.5.2 Teor de silício foliar.....	15
4.5.3 Altura das plantas e inserção das espigas.....	15
4.5.4 Acamamento e quebramento.....	15
4.5.5 Grãos por espiga.....	16
4.5.6 Peso de mil grãos.....	16
4.5.7 Produtividade.....	16
4.6 Temperatura e precipitação durante o experimento.....	16
4.7 Análises dos dados.....	17
5. RESULTADOS.....	18
5.1 Desfolha.....	18
5.2 Silício foliar.....	21
5.3 Características agronômicas.....	24
6. DISCUSSÃO.....	25
7. CONCLUSÕES.....	28
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
9. ANEXOS.....	41

RESUMO

PERDOMO, David Nataren. **Doses de silício na produtividade e na indução de resistência de plantas de milho a *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2017. 39 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia Minas Gerais Brasil.

Distintos autores têm demonstrado que o silício (Si) confere resistência às plantas contra pragas e doenças de forma mecânica, indução de produção de compostos químicos ou pela atração do terceiro nível trófico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência induzida pelo Si em plantas de milho contra *Spodoptera frugiperda* (Smith) e a influência deste elemento na produtividade de grãos da cultura. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2016-2017, na fazenda Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia e repetido duas vezes (1ª e 2ª safras). O delineamento foi em blocos ao acaso com esquema fatorial 5x2 (0, 150, 300, 450, 600 Kg de Si ha⁻¹ x com e sem infestação manual de aproximadamente 500 ovos de *S. frugiperda* por planta) e quatro repetições. O Si foi aplicado no solo (silicato de cálcio e de magnésio) um mês antes da semeadura do híbrido DEKALB 390RR2. Para avaliar a desfolha, foi utilizada uma escala de notas de danos visuais aos 29, 35, 40 e 45 dias após germinação (respectivamente, avaliação um dia antes da infestação manual e aos 5, 10 e 15 dias após a infestação manual de *S. frugiperda*). As notas de desfolha foram maiores nas plantas infestadas manualmente com *S. frugiperda* para as duas safras. Na 1ª safra foi observado redução da desfolha com o aumento da dose de silício aplicada no solo, ajustando-se ao modelo quadrático. A tendência de redução da desfolha se iniciou na dose de 450 kg. ha⁻¹ de silício, com menor desfolha na dose de 600 kg. ha⁻¹ de silício. Já o teor de silício foliar teve aumento linear com o aumento da dose de silício no solo na 1ª safra. Na 2ª safra não houve efeito do silício na desfolha e nem diferença no teor de silício foliar com o aumento da dose de silício aplicada no solo. Houve maior produtividade de grãos na 1ª safra (9.262,87 kg. ha⁻¹) do que na 2ª safra (6.060,24 kg. ha⁻¹), porém não houve efeito do silício. O aumento de teor foliar de silício induziu resistência em plantas de milho a *S. frugiperda*, no entanto, não afetou a produtividade de grãos.

Palavras-chaves: Adubação silicatada, Lagarta-do-cartucho, Resistência induzida.

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio - UFU

ABSTRACT

PERDOMO, David Nataren. **Silicon doses on corn yield and resistance induction against *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 2017. 39 p. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Plant Sciences) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia Minas Gerais Brasil.

Several authors have demonstrated that silicon (Si) confers resistance to plants against pests and diseases mechanically, by induction of production of chemical compounds or by attraction of third trophic level. This study evaluated Si induced resistance in maize plants against *Spodoptera frugiperda* (Smith) and the effect of this element on crop yield. The experiment was done in the agricultural year 2016-2017, in the Farm Capim Branco of Universidade Federal de Uberlândia and repeated twice (1st and 2nd harvests). The experimental randomized blocks as a 5x2 (0, 150, 300, 450, 600 kg Si ha⁻¹ and with or without manual infestation with approximately 500 eggs of *S. frugiperda* per plant) factorial with four replications. Silicon was applied to the soil (calcium and magnesium silicate) one month before sowing the hybrid DEKALB 390RR2. Plant defoliation was evaluated with a visual scale at 29, 35, 40 and 45 days after emergence (pre-infestation evaluation, and evaluations 5, 10 and 15 days after manual infestation with *S. frugiperda*, respectively). Defoliation ratings were greater in plants manually infested with *S. frugiperda* for both growing seasons. Defoliation reduction with increasing soil Si dose was observed in the 1st harvest, adjusting a quadratic model. The trend of defoliation reduction started at Si dose of 450 kg ha⁻¹, with minimum defoliation at 600 kg ha⁻¹. In contrast, leaf silicon content increased linearly with increasing soil silicon doses in that same harvest. No effect of silicon on defoliation and no differences in silicon leaf content with increasing soil silicon doses were observed in the 2nd harvest. Greater corn kernel yield was observed in the 1st harvest (9,262.87 kg ha⁻¹) than in the 2nd one (6,060.24 kg ha⁻¹); however, no silicon effect was observed. Increased leaf Si content induced maize resistance against *S. frugiperda*; however, it did not affect corn yield.

Keywords: Fall armyworm, induced resistance, silicate fertilization.

Supervisor: Marcus Vinicius Sampaio - UFU

1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (27,7%) (BAKHAT et al., 2018) e embora possa representar até 45% da composição do solo (CURRIE; PERRY, 2007), seu teor disponível para as plantas é baixo (LIANG et al., 2007). O Si é considerado um elemento benéfico para as plantas (EPSTEIN, 1994; LUYCKX et al., 2017), é absorvido pelas mesmas como ácido monossilícico (H_4SiO_2) por difusão ou fluxo de massa (IMTIAZ et al., 2016) e é translocado via xilema (MITANI; MA, 2005). O Si é polimerizado nos tecidos das plantas em forma de sílica amorfa (BAKHAT et al., 2018), forma uma dupla camada-Si de 2,5 μm abaixo da cutícula fina (SANGSTER E HODSON, 1992) e a indução de resistência de plantas a patógenos e a insetos se encontra entre os principais benefícios do silício (REYNOLDS et al., 2016).

O Si possui a capacidade de aumentar a resistência das plantas aos insetos pela deposição de fitólitos de óxido amorfo inorgânico (SiO_2) nos tecidos (LUYCKX et al., 2017), mediante a produção de compostos químicos (HARTLEY et al., 2015) e pela atração do terceiro nível trófico (REYNOLDS et al., 2016). Desta forma, o Si é uma alternativa para contribuir na diminuição das populações de insetos a números abaixo do nível de dano econômico e é compatível com outras práticas de manejo de pragas em várias culturas, principalmente da família Poaceae (LIANG et al., 2015). Tem sido demonstrado que o Si induz resistência às pragas em trigo (GOMES et al., 2005), arroz (NASCIMENTO et al., 2014), cana-de açúcar (CAMARGO et al., 2010) e milho (ALVARENGA et al., 2017; GONZALEZ et al., 2015; GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2005).

O milho é considerado uma cultura acumuladora de Si apresentando concentrações em torno de 2,5 a 11 gramas de silício por quilograma de matéria seca (KORNDÖFER, 1999). Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor deste cereal na safra 2016-2017, com uma área cultivada de 17,40 milhões de hectares e produção de 96 milhões de toneladas, além de ser o segundo maior exportador mundial deste grão. No entanto, esse cereal pode ser atacado por diferentes pragas como a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), considerada por

vários autores a principal praga da cultura por ser responsável por perdas de 34-40% da produção (BARROS, 2012; CRUZ, 2008).

Em estudos de laboratório, com condições controladas, foi demonstrado aumento do canibalismo (GOUSSAIN et al., 2002), redução da população (ALVARENGA et al., 2017) e do consumo de *S. frugiperda* em folhas de milho tratadas com Si (GONZALES et al., 2015; GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2005). Porém, em condições de campo são escassos os trabalhos testando Si no controle da *S. frugiperda* e não foram encontradas evidências de que a indução de resistência ocorre em plantas cultivadas no campo de maneira análoga ao que ocorre em condições de laboratório (ANTUNES et al., 2010; NERI et al., 2009). Ainda, tem sido demonstrado que o Si aumenta a produtividade em cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al., 2002) e batata (PULZ et al., 2008). O efeito do Si no aumento da produtividade de grãos cultivado em campo foi observado para a cultura do milho (SOUSA et al., 2010), porém, mais estudos são necessários, já que alguns autores nas mesmas condições de cultivo não observaram influência do Si nas características agrônômicas dessa cultura (FREITAS et al., 2011; TEODORO et al., 2014).

O controle de *S. frugiperda* no campo tem sido realizado principalmente com métodos químicos (WANGEN et al., 2015) ou mediante a semeadura de híbridos transgênicos com toxinas de *Bacillus thuringiensis* (MENDES et al., 2008). No entanto, o uso amplo e indiscriminado de um mesmo genótipo contendo a tecnologia Bt pode gerar uniformização genética, da mesma forma pode acontecer para o controle químico usado continuamente, distintas espécies de pragas são capazes de desenvolver certa resistência (LOGUERCIO et al., 2002) causada por mecanismos múltiplos, incluindo aumento da taxa de desintoxicação desses inseticidas por enzimas diversas e por insensibilidade da acetilcolinesterase (YU; NGUYEN, 1994).

Desta maneira, este estudo visou avaliar o efeito de diferentes doses de Si na produtividade e na indução de resistência à *S. frugiperda* em plantas de milho em condições de campo.

2. OBJETIVOS

Verificar o efeito de doses de silício na indução de resistência em plantas de milho à *S. frugiperda* em condições de campo.

- Hipótese nula (H_0): a aplicação de silício não reduz a desfolha de *S. frugiperda* em plantas de milho.

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício reduz a desfolha de *S. frugiperda* em plantas de milho.

Verificar o efeito de doses de silício na produtividade do milho.

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

- Hipótese alternativa (H_1): a aplicação de silício interfere na produtividade da cultura do milho.

Hipótese alternativa (H_{11}): a aplicação de silício reduz a produtividade da cultura do milho.

Hipótese alternativa (H_{12}): a aplicação de silício aumenta a produtividade da cultura do milho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Caracterização da cultura do milho (*Zea mays*)

O milho pertence à família Poaceae, ao gênero *Zea*, o qual é monoespecífico, com sua espécie única e *Zea mays* L.. Acredita-se que sua origem tenha sido no México e América Central. O milho é uma espécie anual, estival, cespitosa, ereta, com baixo perfilhamento, classificada no grupo das plantas C-4 e com ampla adaptação a diferentes condições de ambiente. É considerada uma cultura de ciclo variável, o seu período compreendido entre a sementeira e colheita pode variar entre 110 e 180 dias dentro do mesmo cultivar, o qual vai estar relacionado diretamente com as mudanças climáticas da região de cultivo. Fatores como época de sementeira, deficiência de nutrientes e estresses hídricos afetam negativamente os estádios vegetativos da cultura (COSTA et al., 2008; GADIOLI et al., 2000).

O milho, de maneira geral, apresenta os seguintes estádios de desenvolvimento: emergência (VE), 1 folha desenvolvida (V1), 3 folhas desenvolvidas (V3), 7 folhas desenvolvidas (V7), rápido crescimento (V10), pendoamento (VT), florescimento e polinização (R1), bolha de água (R2), grãos leitosos (R3), grãos pastosos (R4), formação de dentes (R5) e maturação fisiológica (R6) (EMBRAPA, 2006; RITCHIE, 2003; WEISMANN, 2008).

Trata-se do cereal de maior volume de produção no mundo, com aproximadamente 960 milhões de toneladas. Os Estados Unidos, China, Brasil e Argentina são os maiores produtores, representando 70% da produção mundial (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - OECD/FAO, 2015). Dentro deste cenário, segundo a FAO, o Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor deste cereal na safra 2016-2017, com uma área cultivada de 17,40 milhões de hectares e produção de 96 milhões de toneladas, além de ser o segundo maior exportador mundial de milho. O estado de Minas Gerais possui uma área plantada de 1,288 milhões de hectares as quais fornecem 7,743 milhões de toneladas do cereal (CONAB 2017).

O milho é o cereal dos povos e culturas do continente americano. As mais antigas civilizações de América, desde os Olmecas e Teotihuacanos na Mesoamérica até os Incas e Quéchuas na região andina de América do Sul, estiveram acompanhadas por

essa planta em sua história. O milho é uma planta completamente domesticada, o homem e o milho têm vivido e evoluído juntos desde tempos remotos. Logo depois do descobrimento da América o milho foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Passou então a ser plantado em escala comercial e espalhou-se desde a latitude de 58° Norte (União Soviética) até 40° Sul (Argentina) (DUARTE et al., 2017, HERNANDEZ, 2012).

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a agricultura de subsistência, alimentação animal, produção de etanol, até indústria de alta tecnologia (FERRARI FILHO, 2011). O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo, ou seja, cerca de 70% no mundo (DIAS PAES, 2006), 50% nos Estados Unidos e de 60 a 80% no Brasil (AGROLINK 2017; DUARTE 2004).

Os derivados do milho constituem um fator importante na alimentação, principalmente na camada mais pobre da população. Por exemplo, no Nordeste do Brasil o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem nas regiões áridas; da mesma forma para as populações mexicana e da América Central, que têm o milho como ingrediente básico para sua culinária (AGROLINK 2017; DUARTE, 2004). Na maioria das regiões do Brasil o sistema de cultivo é realizado em duas safras, sendo a segunda safra (safrinha) a mais importante, representando quase 60% da produção total (CONAB 2017).

Fatores bióticos aliados às mudanças do clima e ao sistema de cultivo intensivo têm sido capazes de proporcionar redução no rendimento de grãos na cultura do milho. Dentre esses fatores vale a pena mencionar as pragas. Na cultura do milho existe uma grande incidência de pragas principalmente da ordem dos Lepidópteros, *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) (Pyralidae), *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766) (Noctuidae), *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Pyralidae), *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Noctuidae), *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Noctuidae), *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782) (Noctuidae), *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858) (Noctuidae) e lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Noctuidae) (ÁVILA, 2015; BARROS, 2012).

3.2. Importância e biologia de *Spodoptera frugiperda* (Smith)

O milho pode ser atacado por diferentes pragas desde a etapa da sementeira até a fase da maturação dos grãos. Dentre as mais prejudiciais, a lagarta-do-cartucho *S. frugiperda* apresenta grande importância econômica, responsável por perdas ao redor de 34-55,6% da produção que vai depender das condições nutricionais, do desenvolvimento da planta e do nível populacional da praga (BARROS, 2012.; CARVALHO, 1970.; CRUZ, 2008.; CRUZ et al., 1996, 1999). A lagarta-do-cartucho é considerada a principal praga da cultura do milho pelos seus danos e dificuldade de controle (AFONSO-ROSA e BARCELOS, 2012). No Brasil pode ser encontrada no país inteiro, seja na primeira ou na segunda safra (FIGUEREDO et al., 2006). Essa praga possui uma alta variedade de hospedeiros e uma grande capacidade de dispersão e rápida disseminação (BOREGAS et al., 2013). Nas Américas foram relatadas 186 espécies de plantas hospedeiras dessa praga, sendo 35,5% pertencentes à família Poaceae (CASMUZ et al., 2010).

Cada fêmea de *S. frugiperda* pode colocar de 1.500 a 2.000 ovos no seu ciclo de vida. A postura ocorre no limbo foliar, na forma de massas de ovos, com incubação de três dias. O período larval dura aproximadamente 25 dias dividido em 6 estágios. A larva no segundo instar migra para o cartucho onde começa a raspar o limbo das folhas mais novas, provocando o sintoma conhecido como “folhas raspadas”. Em seguida, atacam as folhas centrais do cartucho, onde ficam até completar a fase larval (MURÚA et al., 2008). A lagarta de *S. frugiperda* consome em torno de 179,7 cm² de área foliar durante seu ciclo (REZENDE et al., 1994) e quando o dano é severo, o cartucho pode ficar completamente destruído (MURÚA et al., 2008). A lagarta totalmente desenvolvida mede aproximadamente 35 mm de comprimento, coloração variável de pardo escura até verde, com quatro linhas longitudinais no corpo e com um sulco em forma de Y invertida na cabeça (BARROS 2012). No fim de seu desenvolvimento, a larva geralmente vai para o solo, onde se torna pupa. O período pupal varia de 10 a 12 dias nas épocas mais quentes do ano (VALICENTE, 2009). O ciclo completo de *S. frugiperda* dura aproximadamente 35-40 dias, dependendo, principalmente, da temperatura e umidade (MURÚA; VIRLA, 2004).

Segundo Barros (2012), vem se tornando comum o ataque da lagarta-do-cartucho nas espigas em lavouras de milho com ciclo curto e destruindo a sua palha. Ávila (2015) relata que os períodos relativamente prolongados de estiagem favorecem o estabelecimento e o ressurgimento de altos níveis populacionais da lagarta-do-cartucho no milho.

O controle de *S. frugiperda* no campo tem sido realizado com métodos químicos (WANGEN et al., 2015) que aumentam os custos de produção, poluem o ambiente e podem deixar resíduos nos alimentos (LIMA et al., 2008). Em média, no Brasil são realizadas de 10 a 14 aplicações de inseticidas por época para o controle dessa praga (VALICENTE; TUELHER, 2009). O Brasil gasta cerca de 2,5 bilhões de dólares na compra de agroquímicos anualmente, sendo responsável por 50% do consumo desses produtos em toda América Latina (MAPA 2014). Além dos impactos na saúde humana e ao meio ambiente, a ressurgência da praga alvo, ocorrência de populações de pragas resistentes a produtos químicos, surtos de pragas secundárias e diminuição de inimigos naturais com o uso inadequado dos inseticidas são as principais preocupações (BAKHAT et al., 2018; CRUZ et al., 2002; WANGEN et al., 2015).

Outros métodos de controle, além do químico, devem ser estimulados no manejo de *S. frugiperda*, como o controle biológico e o uso de híbridos transgênicos com toxinas de *Bacillus thuringiensis* (MENDES et al., 2008). Os transgênicos ajudam as plantas a expressar seu potencial produtivo, conferem maior resistência a pragas e doenças, melhoram o conteúdo nutricional dos alimentos e redução no uso dos defensivos agrícolas (PIMENTEL, 2010). Tem sido demonstrado que os transgênicos afetam a biologia e reduzem os danos causados pela *S. frugiperda* (MENDES et al., 2008, MENDES et al., 2011). Segundo dados da FAO (2017), estima-se que no mundo são plantados aproximadamente 150 milhões de hectares com cultivares geneticamente modificados. O Brasil encontra-se hoje em segundo lugar na produção mundial de transgênicos, no qual 92% da soja, 47% do algodão e 90% do milho são materiais cultivados geneticamente modificados (EMBRAPA 2017). No entanto, o uso amplo e indiscriminado de um mesmo genótipo contendo esta tecnologia pode gerar uniformização genética, da mesma forma pode acontecer para o controle químico usado continuamente, distintas espécies de pragas são capazes de desenvolver certa resistência a estas técnicas (LOGUERCIO et al., 2002). Em 2007 foi reportado pela primeira vez evolução da resistência de *S. frugiperda* à plantas de milho contendo a proteína Cry1F (STORER et al., 2010). Embora podemos manejar a resistência com o uso de hospedeiros alternativos que servem como áreas de refugio da *S. frugiperda* e que afetam negativamente a biomassa larval e pupal e duração do período larval (VEENSTRA et al. 1995). Loguercio et al., (2002) também sugerem o uso de híbridos de milho com alta expressão das toxinas (alta dose), de modo que produza toxina suficiente para eliminar insetos parcialmente resistentes.

Ainda na cultura do milho, uma das principais causas para a ocorrência de pragas é a carência ou excesso de nutrientes, fazendo com que o conhecimento da nutrição das plantas se torne um fator imprescindível (MALATOLVA, et al., 1997). É preciso fornecer os nutrientes que a planta precisa em quantidades suficientes para manter o equilíbrio nutricional, já que tanto o excesso como a carência de um ou de vários nutrientes rompem o equilíbrio normal dos processos fisiológicos, tendo como resultado a diminuição da sua resistência natural (LARA 1991). De forma geral, quando a nutrição é desequilibrada, o nitrogênio pode aumentar e o potássio diminuir a incidência e danos causados pelas pragas nas culturas (MARSCHNER, 1995). Foi demonstrado que plantas com baixos ou altos níveis de nitrogênio apresentaram maiores danos causados pela *S. frugiperda* e que, com o aumento das doses de potássio, foram encontrados os menores danos causados pelas lagartas (SAMPAIO et al., 2007).

A água, a luz, os nutrientes, as pragas e doenças, são fatores responsáveis pela determinação da produção vegetal (BAKHAT et al., 2018). Em situações como as expostas anteriormente, o uso racional dos agrotóxicos em conjunto com outras medidas de controle pode favorecer a sustentabilidade do sistema de produção do milho no Brasil (BARROS, 2011). Neste sentido, o uso de fontes de silício são medidas promissoras para a indução de resistência em plantas (HARTLEY et al., 2015, LIU et al., 2017; SCHUMAN et al., 2012; YE et al., 2013), por ser uma tecnologia que não deixa resíduos nos alimentos ou no ambiente e pela possibilidade de ser integrada a outras práticas de controle de pragas (LAING et al., 2006).

3.4 Uso do silício na agricultura

O silício (Si) é considerado o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (27,7%), ficando atrás somente do oxigênio (BAKHAT et al., 2018; KORNDÖFER, 1999). O Si é um elemento químico pertencente ao grupo 14 (IV-A) da classificação Periódica dos elementos, de número atômico 14 (14 prótons e 14 elétrons) e com massa atômica igual a 28,0855 u (unidade de massa atômica). À temperatura ambiente, o Si encontra-se no estado sólido e não é reconhecido como elemento essencial para as plantas e sim como um elemento benéfico (EPSTEIN, 1994; LUYCKX et al., 2017).

É possível encontrar o Si em minerais primários e secundários que possuem resistência ao intemperismo como feldspatos, augita, quartzo, mica, montmorilonita, caulinita, illita e clorita (EPSTEIN, 1994). O teor de Si no solo pode ser até 45% (CURRIE e PERRY 2007) porém, o Si disponível é encontrado em pequenas quantidades no solo (LIANG et al., 2007). Muad et al., (2013) demonstraram que conforme aumenta a fertilização nitrogenada reduz o conteúdo de Si nas plantas de arroz.

O efeito do Si no solo está associado ao aumento de Si solúvel, redução de Fe e Na tóxico para as plantas, melhoramento do pH do solo mediante a diminuição de Al^{+3} e saturação de bases (AHMAD et al., 1992; KORNDÖRFER et al., 1999; MA; YAMAJI, 2006; RAMOS et al., 2006; RAMOS et al., 2004; WANG et al., 2004; WU et al., 2013), além da redução de Fe, Mn, Na, Cu (EPSTEIN, 1994; FRANTZ et al., 2011; KORNDÖRFER, 1999; MARSCHNER, 1995; PAIM et al., 2006), fornecimento de Ca (PAIM et al., 2006; RAMOS et al., 2006) e aumento da disponibilidade do P (PULZ et al., 2008).

As plantas absorvem o Si em forma de ácido monossilícico (H_4SiO_2) por difusão ou pelo fluxo de massa (IMTIAZ et al., 2016; JONES; HANDRECK, 1967; MA; YAMAJI, 2006). É translocado via xilema desde as raízes até as folhas e acredita-se que o silício siga o movimento da água (MITANI e MA 2005; JONES; HANDRECK, 1965). O Si polimeriza-se nos espaços intercelulares e acumula-se em forma de sílica amorfa nos hastes, raízes, tecidos, vasos do xilema e nas paredes das células epidérmicas das folhas (BAKHAT et al., 2018; FAWE et al., 2001). O Si é depositado como uma camada de 2,5 μm no espaço imediatamente abaixo da camada de cutícula fina (1,0 μm), formando uma camada dupla cutícula-Si (SANGSTER E HODSON, 1992). As plantas, segundo sua capacidade de absorção de Si, são classificadas como acumuladoras (10 a 15% de Si da massa seca da planta), como *Oriza sativa* L.; Intermediárias (1 a 3% da massa seca), como *Saccharum officinarum* e *Zea mays*; e não acumuladoras (<1% da massa seca), como as dicotiledôneas (JONES; HANDRECK, 1967). Em algumas ocasiões as plantas contem quantidades de Si similares aos macronutrientes (BAKHAT et al., 2018; EPSTEIN, 1995, 1999).

O Si oferece às culturas aumento na indução de defesas diretas (LIU et al., 2017; YE et al., 2013) pela formação de uma barreira mecânica, mediante a deposição de fitólitos de óxido amorfo inorgânico (SiO_2) nos tricomas, espinhos e epiderme das folhas (GOUSSAIN et al., 2002; HARTLEY et al., 2015; LUYCKX et al., 2017). Este

modo de indução de resistência observa-se quando as plantas apesentam rigidez estrutural e resistência física, o que vai diminuir sua digestibilidade e enfraquecer as peças bucais dos insetos (EPSTEIN, 1999; REYNOLDS et al., 2016; WANG et al., 2017; YE et al., 2013). Além disso, pode promover a restrição no acesso ao nitrogênio e aos carboidratos durante a digestão (DOS SANTOS et al., 2015).

Outra forma de indução de resistência de plantas pelo silício seria mediante a produção de compostos químicos (HARTLEY et al., 2015), mediados pela via de sinalização do jasmonato (YE et al., 2013). O Si muda a concentração de ácido jasmônico JA (KIM et al., 2014) o qual, por sua vez, melhora a resistência das plantas a mastigação dos herbívoros e ativa as respostas sistêmicas à herbivoria nas folhas (ANKALA et al., 2009).

Desta forma, o uso do Si induz a produção de enzimas relacionadas a mecanismos de defesa contra insetos, polifenol oxidase e tripsina proptease (BAKHAT et al., 2018; WU e BALDWIN 2010), compostos tóxicos como os flavonoides (MANIVANNAN e AHN 2017) e substâncias de baixa digestibilidade na seiva das plantas (KORNDÖRFER et al., 2011), que vão interferir na biologia das pragas.

No entanto, o Si também pode aumentar as defesas das plantas de forma indireta, por meio da atração dos inimigos naturais dos herbívoros (ANTUNES et al., 2010; BARROS, 2011; MORAES et al., 2004; MUMM; DICKE, 2010; REYNOLDS et al., 2016; SCHUMAN et al., 2012). Neste mecanismo, a planta produz diferentes voláteis quando é atacada por um herbívoro (HIPVs), como o n-heptadecano. Tais voláteis atraem os inimigos naturais como predadores ou parasitoides, levando-os a encontrar o inseto praga (CONNICK, 2011; KVEDARAS et al., 2010; LIU et al., 2017; LUYCKX et al., 2017; MUMM; DICKE, 2010; SCHUMAN et al., 2012). Ainda, nas plantas tratadas com Si, também é observado mudanças no ciclo de vida dos insetos tornando-os mais susceptíveis a serem predados (CONNICK, 2011).

O efeito do Si na indução de resistência em plantas de milho foi observada na indução de não preferência (MORAES et al., 2005; MORAES, et al. 2004) e antibiose a *Rhopalosiphum maidis* (MORAES, et al. 2005; PELIZARO et al., 2014) e na atração do predador *Doru spp.* e joaninhas da família Coccinellidae (ANTUNES et al., 2010). Já para *S. frugiperda* os resultados encontrados até o momento se reduzem aos estudos em condições controladas no laboratório. Neste ambiente, foi verificado aumento dos índices de canibalismo (GOUSSAIN et al., 2002), diminuição da fecundidade (ALVARENGA et al., 2017; GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2009; SOUZA et al.,

2010) e diminuição da desfolha em *S. frugiperda* alimentada com plantas de milho com adição de Si (GONZALEZ et al., 2015; GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2005).

O Si ainda está relacionado ao aumento do crescimento e produção vegetal por meio de diferentes ações como o aumento da absorção de água (LIU et al., 2015) e aumento na rigidez estrutural dos tecidos, o que leva a reduzir o acamamento e quebramento das plantas, além da formação de folhas mais eretas, diminuindo o autossombreamento e aumentando a eficiência fotossintética (DATNOF et al., 2001, 1991; EPSTEIN, 1994; MANIVANNAN; AHN 2017; MARSCHNER, 1995; TRIPATHI et al., 2015) e a redução da evapotranspiração (COOKE E LEISHMAN, 2016; DATNOF et al., 2001, 1991; KORNDÖRFER et al., 1999; NERI et al., 2005; PULZ et al., 2008). Esses fatores, associados à indução de resistência contra insetos herbívoros, fazem com que ocorra aumento da produtividade das culturas com o uso do silício (CAMARGO, 2010; EPSTEIN, 1999; LIANG et al., 2007; PULZ, 2008; SOUSA et al., 2010; WANG et al., 2017).

Já para a cultura do milho, o Si fortalece a estrutura da planta ao aumentar o diâmetro do caule (NERI et al., 2009), aumenta o peso de mil grãos (SOUSA et al., 2010) e a eficiência fotossintética (SOUSA et al., 2010), minimiza os efeitos do estresse hídrico (DE SOUZA et al., 2014) e promove o aumento da produtividade de grãos (SOUSA et al., 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento para avaliar o efeito do silício na desfolha por *S. frugiperda* e na produtividade do milho foi conduzido na Fazenda Experimental Capim Branco pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A fazenda se localiza no município de Uberlândia, Minas Gerais, nas coordenadas 18°52'55',66' S e 48°20'28,21' O e a 805 metros de altitude. O experimento foi repetido por duas vezes (1ª e 2ª safras) em áreas adjacentes, distantes de aproximadamente 15m uma área da outra, durante o período de dezembro de 2016 a maio de 2017.

O clima da região é classificado pelo método de Köppen, como Aw, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco, sendo a temperatura média anual de 21,5°C com 1479 mm de pluviosidade média anual (ROLIM et al., 2007).

4.2 Características, preparo e adubação do solo

A área onde foi instalado o experimento possui tipo de solo caracterizado como Latossolo Vermelho Escuro Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA-SOLOS, 2013) e com baixo teor de silício (5.5 mg Kg⁻¹ de solo). Antes da instalação dos experimentos realizou-se a coleta de solo e a análise química, para fins de averiguar a fertilidade do solo (Tabela 1). A área em estudo foi escolhida por apresentar baixo teor de silício no solo (Tabela 1), o que favorece a resposta a adubação silicatada (KORNDÖRFER et al., 1999).

TABELA 1. Análise química do solo do experimento na 1ª safra (03 de Dezembro 2016 - 15 de Abril de 2017) e 2ª safra (15 de Janeiro - 27 de Maio de 2017). UFU, Uberlândia, 2017.

pH em H ₂ O	M.O (dag kg ⁻¹)	P Meh ⁻¹ (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺ Mg ²⁺ Al ³⁺ H ⁺ e Al ⁺				Si (mg kg ⁻¹)	V (%)
				cmol _c dm ⁻³					
5,3	2,2	3,5	104	1,2	0,5	0,1	3,4	5,5	37

Fonte: Laboratórios de Análise de Solos e Calcários do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens. A adubação com silício para os dois experimentos foi realizada 30 dias antes da semeadura utilizando-se o produto comercial Agrosilício Plus® (Silício 10,5%; Cálcio 25%; e Magnésio 6%). A quantidade de calcário dolomítico Ercal aplicada foi definida de acordo as doses de silício utilizadas, de modo que em todos os tratamentos recebessem a mesma quantidade de cálcio e magnésio (Tabela 2).

TABELA 2. Quantidade de silício e calcário utilizado em safra e safrinha.

Dose de Silício Kg ha ⁻¹	Dose de calcário Kg ha ⁻¹
0	600
150	450
300	300
450	150
600	0

4.3 Semeadura e condução do experimento

Foi utilizado o híbrido de milho DEKALB 390RR2, resistente ao glifosato. O experimento correspondente a 1ª safra foi semeado em 03/12/2016 e o da 2ª safra em 15/01/2017. A semeadura foi realizada de forma manual na profundidade de 3-4 centímetros, sendo distribuídas uniformemente 17 sementes em cada linha de 5,0 metros, totalizando assim 68 mil plantas por hectare. Sete dias após a germinação, para homogeneizar 60.000 plantas ha⁻¹, foi realizado o desbaste deixando aquelas plantas mais vigorosas. Cada parcela foi constituída de seis linhas de cinco metros cada, espaçadas de 0,50 metros entre linhas, totalizando 15 m². A parcela útil foi formada pelas duas linhas centrais, eliminando-se as duas linhas laterais e 1,0 metro de cada extremidade, perfazendo 3,0 m² para cada parcela útil. Junto à semeadura realizou-se a primeira adubação de fertilizante com 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 6-28-16.

No decorrer do experimento realizou-se o controle de plantas daninhas, aplicando-se 15 dias antes da semeadura e 21 dias após a germinação das sementes o herbicida não seletivo com ação sistêmica à base de glifosato com nome comercial Roundup® WG a razão de 2,5 kg/ha. Para o controle das doenças da parte aérea foi efetuada após o pendoamento uma pulverização com o fungicida sistêmico do grupo

químico estrobilurina (Azoxistrobina) e triazol (Flutriafol) de nome comercial Authority®SC com 0,50 L/ha.

Dezoito dias após a semeadura (DAS) realizou-se a segunda adubação de fertilizante com 150 kg ha⁻¹ de Uréia + 72 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCL) e uma terceira aplicação de 100 kg ha⁻¹ de Uréia ocorreu 13 dias após a segunda.

A partir da semana 15 após o plantio do milho, foi utilizada irrigação por aspersão para proporcionar as condições ótimas que requer a cultura durante a segunda safra, já que na primeira safra não foi necessário realizar irrigação.

4.4 Infestação manual com lagartas

Metade das parcelas foi infestada manualmente com *S. frugiperda*, enquanto que, na outra metade das parcelas, foi realizado controle químico para reduzir a infestação natural da lagarta-do-cartucho. Para a infestação manual das plantas, 30 dias após a germinação, todas as plantas das duas linhas centrais das parcelas foram infestadas com massas de aproximadamente 500 ovos de *S. frugiperda* fornecidas pela EMBRAPA Milho e Sorgo. Para evitar a infestação natural de lagartas nas parcelas que não receberam infestação manual de *S. frugiperda*, foi realizada pulverização em duas ocasiões com o inseticida de nome comercial Engeo Pleno® (Neonicotinóide) na dose de 250 mL ha⁻¹ quando as plantas se encontravam no estágio de V6.

4.5 Características avaliadas

4.5.1 Avaliação da desfolha

Para a avaliação da desfolha causada por *S. frugiperda*, foi utilizada a escala visual de danos proposta por Carvalho (1970), atribuindo notas de 0-5 (Tabela 3). A avaliação foi realizada em folhas-do-cartucho e, quando uma planta apresentou danos correspondentes a mais de uma nota, prevaleceu a mais alta (PALMA, 2012). As avaliações da desfolha foram efetuadas em 19 plantas por parcela útil. Antes da infestação (aos 29 dias após a germinação) foi realizada uma avaliação prévia para verificar a desfolha em função da infestação natural de lagartas. Após a infestação foram realizadas três avaliações de desfolha, aos 5, 10 e 15 dias após a infestação (DAI) com *S. frugiperda*, aos 35, 40 e 45 DAS, respectivamente.

TABELA 3. Escala de desfolha causada por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797), proposta por CARVALHO (1970).

NOTA	DESCRIÇÃO DO DANO
0	Planta sem desfolha
1	Plantas com folhas raspadas
2	Plantas com folhas furadas
3	Plantas com lesões nas folhas e cartucho
4	Plantas com o cartucho destruído
5	Plantas com muitas folhas e cartucho totalmente destruído.

4.5.2 Teor de silício foliar

Oito dias após o pendoamento foi coletada a primeira folha abaixo e oposta à primeira espiga de 10 plantas na parcela útil. As folhas foram divididas em terços superior, mediano e inferior, usando apenas o mediano e excluindo dele as nervuras centrais e algumas lesões. Após disso, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa a 60 - 65 °C até massa constante, logo foram trituradas e em seguida foi realizado o análise de silício foliar no laboratório de fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia de acordo com o método azul descrito por KORNDÖRFER et al. (2004).

4.5.3 Altura das plantas e inserção das espigas

Foi avaliada a altura das plantas e inserção da espiga (cm) com auxílio de uma trena no mesmo dia da colheita das espigas (140 dias após semeadura). Para altura da planta foi considerada a distância entre a base do colmo até a ponta da panícula e para inserção da espiga a distância entre a base do colmo da planta até a primeira espiga.

4.5.4 Acamamento e quebramento

O número de plantas acamadas e quebradas por parcela útil foi avaliada no dia da colheita das espigas, em seguida esses dados foram convertidos à porcentagem por hectare.

4.5.5 Grãos por espiga

Após a colheita, quatro espigas ao acaso por parcela útil foram debulhadas manualmente, depois foi contado o número de grãos total das quatro espigas e calculada a média.

4.5.6 Peso de mil grãos

Durante a debulha manual das espigas foram coletadas oito amostras de 100 grãos cada, de acordo com a metodologia indicada para análise de sementes segundo BRASIL (2009). Após pesagem das amostras, foi calculada a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos valores obtidos nas pesagens, após esses cálculos, o peso médio das oito sub amostras foi multiplicado por 10. Os dados obtidos foram transformados a 13% de umidade com apoio da mesma fórmula usada para produtividade.

4.5.7 Produtividade

A produtividade de grãos (Kg ha^{-1}) foi obtida mediante a colheita das espigas da área útil de cada parcela nos dois ensaios (140 DAS). Posteriormente essas espigas passaram pelo processo de debulha manual e limpeza, depois os grãos foram pesados. Os dados obtidos em gramas por parcela útil foram transformados em quilogramas por hectare e corrigidos para 13% de umidade mediante a seguinte fórmula.

$$\text{Peso final} = \text{Peso inicial da amostra} X \frac{100 - \text{Umidade inicial da amostra}}{100 - 13\% (\text{Umidade final da amostra})}$$

4.6 Temperatura e precipitação durante o experimento

Durante o período de condução do experimento os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica instalada na Fazenda Capim Branco e a aproximadamente 300 metros da área experimental (Figura 1).

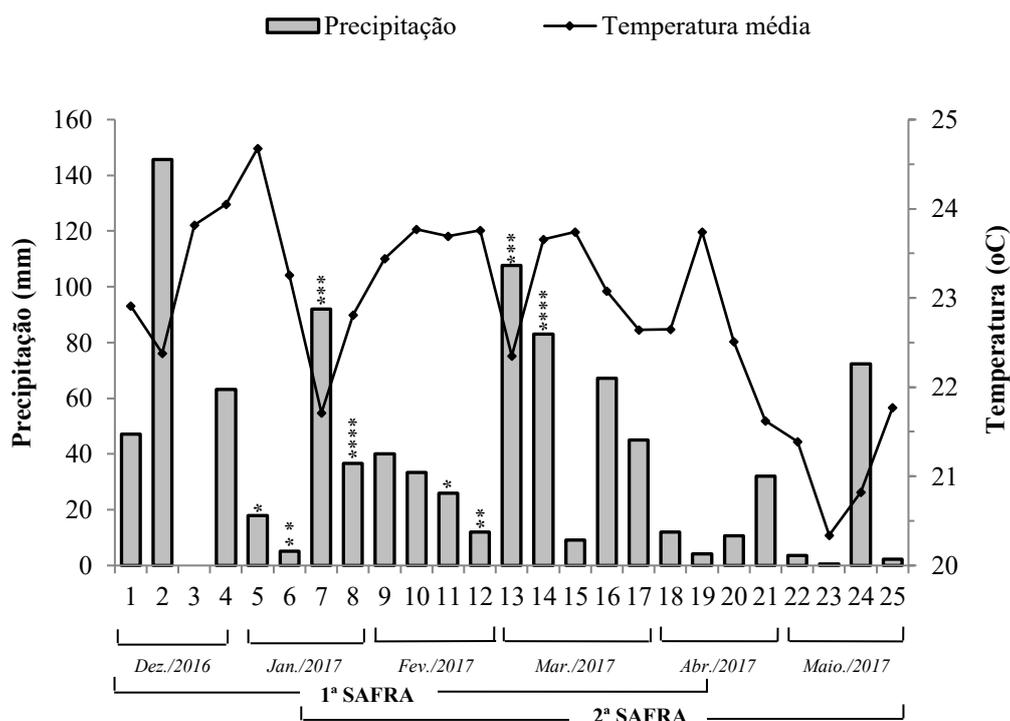


FIGURA 1. Variação de temperatura média (°C) e precipitação acumulada (mm) por semana, durante o experimento na 1ª safra (03 de Dezembro 2016 - 15 de Abril de 2017) e 2ª safra (15 de Janeiro - 27 de Maio de 2017). Fonte: Estação meteorologia da Fazenda Capim Branco UFU, Uberlândia-MG. Avaliações de desfolha em dias após a infestação (DAI) manual de *Spodoptera frugiperda* e estágio vegetativo das plantas de milho: *Prévia (V8); **5DAI (V10); ***10DAI (V12); e ****15DAI (V14).

4.7 Análises dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso para cada safra, com esquema fatorial de 5 x 2 (5 níveis de silício x com e sem infestação manual de lagarta) com 4 repetições, totalizando 40 parcelas. Os resultados dos dois ensaios foram primeiramente submetidos aos testes de pressuposições com o auxílio do programa SPSS 20.0 (NORUSIS, 2008) a fim de avaliar a normalidade dos resíduos avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene a 5% de probabilidade. Foi utilizada ANOVA conjunta para comparar os dados analisados nas duas épocas (1ª e 2ª safras). Para cada safra foi realizada ANOVA two-way para os dados de desfolha por planta em cada avaliação (prévia, 5, 10 e 15 DAI) do teor de silício nas plantas e das características agrônômicas do milho. Os dados de desfolha foram transformados para a sua raiz para atender as pressuposições de normalidade. Foi realizada análise de regressão para avaliar o efeito das doses de silício, já o efeito da infestação de *S. frugiperda* (manual ou natural) foi comparado pelo teste F. Foi utilizado o nível de 5% de probabilidade para todas as análises.

5. RESULTADOS

5.1 Desfolha

Não houve interação significativa entre épocas de semeadura (1ª e 2ª safras), infestação (manual e natural) e doses de silício para as notas de desfolha de *S. frugiperda* nas avaliações prévia (F = 0,671; P = 0,6149) e aos 5 DAI (F = 1,000; P = 0,4155) e 10 DAI (F = 1,759; P = 0,1506) e 15 DAI (F = 2,103; P = 0,0930). De maneira análoga, não houve interação dos fatores época de semeadura e infestação para a desfolha na avaliação prévia (F = 1,431; P = 0,2368) e aos 5 DAI (F = 1,620; P = 0,2086), 10 DAI (F = 0,118; P = 0,7328) e 15 DAI (F = 0,487; P = 0,4882). Para a desfolha na avaliação prévia também não houve interação dos fatores época e dose (F = 1,652; P = 0,1746). A desfolha na avaliação prévia foi maior (F = 136,669; P < 0,0001) na primeira safra (nota de desfolha 2,01±0,09) do que na segunda (nota de desfolha 0,88±0,06). No entanto, houve interação para os fatores época de semeadura e dose de silício para a desfolha aos 5 DAI (F = 5,861; P = 0,0005), 10 DAI (F = 5,379; P = 0,0010) e 15 DAI (F = 4,601; P = 0,0029).

Na primeira safra não foi verificada interação significativa entre os fatores doses e infestação nas avaliações prévia (F = 0,746; P = 0,5689) e 5 DAI (F = 1,477; P = 0,2368). Na avaliação prévia, a desfolha não foi afetada nem pela dose de silício (F = 1,286; P = 0,3003) e nem pelo tipo de infestação (F = 3,322; P = 0,0795), uma vez que essa avaliação foi realizada antes das plantas serem infestadas com *S. frugiperda*. Esse resultado indica que a infestação natural de *S. frugiperda* foi homogênea entre os tratamentos. Porém, aos 5 DAI foi possível observar maior desfolha nas plantas infestadas manualmente com *S. frugiperda* (F = 7,636; P = 0,0102) (Tabela 4). Também aos 5 DAI, foi observado efeito do silício na redução da desfolha causada tanto pela infestação manual quanto pela natural de *S. frugiperda* (F = 3,891; P = 0,0127), ajustando-se ao modelo quadrático e com tendência de redução da desfolha a partir da dose de 450 Kg ha⁻¹ de silício (Figura 2).

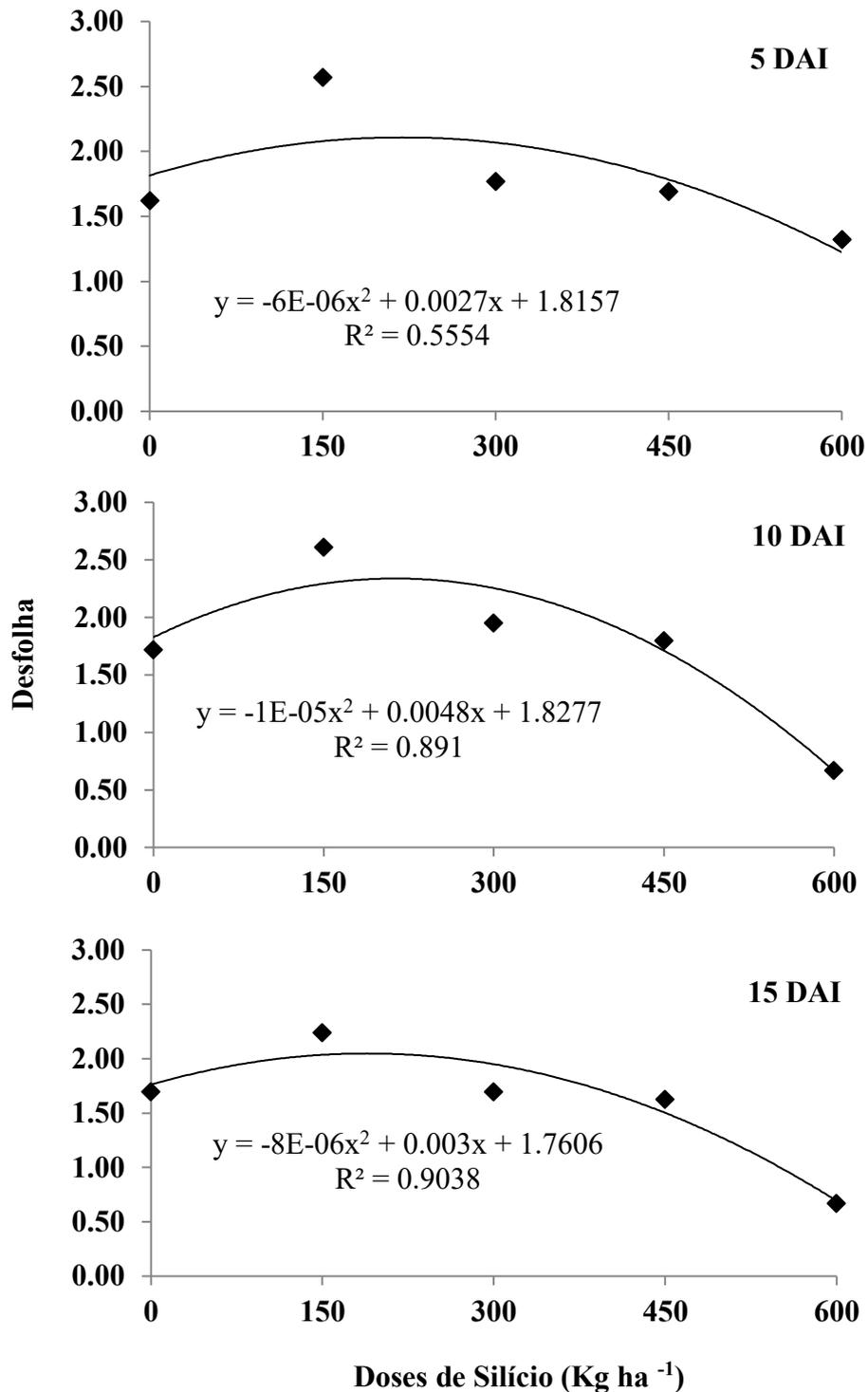
A interação foi significativa para os fatores doses de silício e tipo de infestação para a desfolha de *S. frugiperda* nas avaliações aos 10 DAI (F = 3,404; P = 0,0223) e 15 DAI (F = 3,427; P = 0,0217). Observa-se que na ausência de adubação silicatada e na dose 300 Kg ha⁻¹ de silício houve maior nota de desfolha nas plantas infestadas

manualmente com *S. frugiperda* tanto aos 10 DAI (F = 6,678; P = 0,0007) quanto aos 15 DAI (F = 5,120; P = 0,0033), nas demais doses de silício não houve diferença na desfolha em função do tipo de infestação da praga (Tabela 4). Com isso, observa-se que, mesmo adicionando os ovos de *S. frugiperda*, o silício reduziu a desfolha aos níveis da infestação natural da praga nas doses de 150, 450 e 600 Kg ha⁻¹ de silício (Tabela 4).

Tabela 4. Notas de desfolha (média ± erro padrão), segundo escala (0 a 5) de CARVALHO (1970), em milho com diferentes doses de silício (kg ha⁻¹) aplicado via solo com infestação natural e antes e após infestação manual de *Spodoptera frugiperda*. Primeira safra, Uberlândia-MG, Dezembro 2016 a abril 2017.

Avaliação	Doses silício	Infestação		Média±erro
		Manual	Natural	
Prévia	0	2,28±0,33	2,11±0,10	2,19±1,16 A
	150	2,53±0,31	1,91±0,22	2,22±0,21 A
	300	2,26±0,27	1,76±0,41	2,01±0,24 A
	450	2,00±0,25	1,71±0,35	1,86±0,21 A
	600	1,68±0,17	1,83±0,17	1,77±0,11 A
	Média±erro	2,15±0,13 a	1,86±0,11 a	CV(%) = 2,74
5 daí	0	1,95±0,37	1,29±0,34	--
	150	2,92±0,34	2,21±0,49	--
	300	2,22±0,34	1,32±0,49	--
	450	2,01±0,25	1,37±0,47	--
	600	1,17±0,27	1,46±0,17	--
	Média±erro	2,06±0,17 a	1,53±0,18 b	CV(%) = 18,32
10 DAI	0	1,72±0,25 a	0,86±0,24 b	--
	150	2,61±0,18 a	1,92±0,41 a	--
	300	1,95±0,36 a	1,05±0,37 b	--
	450	1,80±1,17 a	1,24±0,29 a	--
	600	0,67±0,14 a	1,20±0,18 a	--
				CV(%) = 18,25
15 DAI	0	1,70±0,25 a	0,89±0,30 b	--
	150	2,24±0,17 a	1,62±0,38 a	--
	300	1,70±0,24 a	0,71±0,32 b	--
	450	1,63±0,24 a	1,07±0,21 a	--
	600	0,67±0,12 a	1,05±0,14 a	--
				CV(%) = 18,72

Medias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade. DAI= Dias após a infestação manual.



Figuras 2. Notas de desfolha (média \pm erro padrão), segundo escala de (0 a 5) de CARVALHO (1970), aos 5, 10 e 15 dias após a infestação (DAI) manual de *Spodoptera frugiperda* em milho com diferentes doses de silício (kg ha⁻¹) aplicado via solo. 5 DAI: média das infestações natural e manual; 10 e 15 DAI: média da infestação manual de *S. frugiperda*. Primeira safra, Uberlândia-MG, Dezembro 2016 - Abril 2017.

Não houve efeito do silício na desfolha natural aos 10 DAI ($F = 2,557$; $P = 0,0611$) ou aos 15 DAI ($F = 2,642$; $P = 0,0550$). Porém, na infestação manual, houve efeito do silício nas notas de desfolha aos 10 DAI ($F = 6,678$; $P = 0,0007$) e aos 15 DAI ($F = 5,120$; $P = 0,0033$). Em ambas as avaliações houve ajuste ao modelo quadrático e com redução da desfolha a partir da aplicação de 450 Kg ha^{-1} de silício (Figura 2). Em função do aumento da desfolha nas plantas infestadas manualmente com ovos de *S. frugiperda* (Tabela 4) e os melhores ajustes das curvas de segundo grau para a desfolha em diferentes doses de silício (Figura 2), a avaliação das injúrias causadas pela lagarta-do-cartucho deve ser realizada a partir dos 10 DAI.

Já para a segunda safra não houve interação significativa entre o tipo de infestação e as doses de silício na avaliação prévia ($F = 0,389$; $P = 0,8147$) e aos 5 DAI ($F = 1,432$; $P = 0,2504$), 10 DAI ($F = 0,708$; $P = 0,5937$) e 15 DAI ($F = 0,434$; $P = 0,7831$). Na avaliação prévia e aos 5 DAI a desfolha não foi afetada nem pela dose de silício (prévia: $F = 1,035$; $P = 0,4072$; 5 DAI: $F = 2,603$; $P = 0,0582$) e nem pelo tipo de infestação (prévia: $F = 0,126$; $P = 0,7255$; 5 DAI: $F = 2,808$; $P = 0,1053$) (Tabela 5). Esse resultado indica que a infestação natural de *S. frugiperda* também foi homogênea entre os tratamentos na segunda safra, assim como na primeira safra. Houve maior desfolha nas plantas com infestação manual do que nas com infestação natural de *S. frugiperda* aos 10 DAI ($F = 16,191$; $P = 0,0004$) e 15 DAI ($F = 8,354$; $P = 0,0075$), no entanto, não houve efeito do silício na desfolha por *S. frugiperda* nem aos 10 DAI ($F = 1,418$; $P = 0,2548$) e nem aos 15 DAI ($F = 0,861$; $P = 0,5000$) (Tabela 5).

5.2 Teor de silício foliar

Não foi verificada interação significativa para épocas de semeadura (1ª e 2ª safras), doses de silício e tipos de infestação de *S. frugiperda* para os teores de silício foliar ($F = 1,302$; $P = 0,2811$). Porém, houve interação significativa entre os fatores época de semeadura e doses de silício ($F = 2,986$; $P = 0,0267$) e o teor de silício foliar foi maior na primeira safra ($1,37 \pm 0,037$) do que na segunda ($0,68 \pm 0,017$) (DMS 0,0604) (Tabela 6).

Tabela 5. Notas de desfolha (média \pm erro padrão), segundo escala (0 a 5) de CARVALHO (1970), em milho com diferentes doses de silício (kg.ha⁻¹) aplicado via solo com infestação natural e antes e após infestação manual de *Spodoptera frugiperda*. Segunda safra, Uberlândia-MG, Janeiro a abril de 2017.

Avaliação	Doses silício	Infestação		
		Manual	Natural	Média \pm erro
Prévia	0	0,91	0,64	0,78 \pm 0,18 A
	150	0,91	0,71	0,81 \pm 0,06 A
	300	0,91	0,95	0,93 \pm 0,11 A
	450	0,97	1,18	1,08 \pm 0,15 A
	600	0,82	0,75	0,78 \pm 0,08 A
	Média\pmerro	0,90 \pm 0,08 a	0,85 \pm 0,08 a	CV(%) = 22,10
5 DAI	0	1,76	1,18	1,47 \pm 0,26 A
	150	1,38	0,93	1,16 \pm 0,14 A
	300	1,71	1,46	1,59 \pm 0,18 A
	450	1,74	2,07	1,90 \pm 0,19 A
	600	1,53	1,38	1,45 \pm 0,19 A
	Média\pmerro	1,62 \pm 0,12 a	1,41 \pm 0,14 a	CV(%) = 16
10 DAI	0	1,82	1,16	1,49 \pm 0,30 A
	150	1,92	1,18	1,55 \pm 0,28 A
	300	2,04	1,37	1,70 \pm 0,22 A
	450	1,97	1,80	1,89 \pm 0,15 A
	600	1,99	1,38	1,68 \pm 0,20 A
	Média\pmerro	1,95 \pm 0,13 a	1,38 \pm 0,13 b	CV(%) = 14,62
15 DAI	0	1,41	0,95	1,18 \pm 0,20 A
	150	1,11	0,79	0,95 \pm 0,13 A
	300	1,36	0,91	1,13 \pm 0,18 A
	450	1,33	1,35	1,29 \pm 0,03 A
	600	1,45	0,84	1,14 \pm 0,20 A
	Média\pmerro	1,33 \pm 0,11 a	0,95 \pm 0,07 b	CV(%) = 18,39

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade. DAI= Dias após a infestação manual.

Na primeira safra não foi verificada interação dos fatores doses e tipos de infestação de *S. frugiperda* para o teor de silício foliar (F= 1,396 P= 0,2618). No entanto, houve diferença significativa nos teores de Si foliar em função da dose de silicato aplicada no solo (F = 3,811; P = 0,0139). Os teores de silício nas folhas apresentaram aumento linear com as doses utilizadas, para cada quilograma de silício

aplicado ao solo houve incremento de 0,05% de silício foliar, partindo de 1,22% de silício nas folhas na dose zero de silicato no solo (Figura 3). Já para a segunda safra não houve interação dos fatores doses de silício e infestação de lagartas ($F= 1,935$ $p= 0,1335$), nem efeito do tipo de infestação ($F = 0,012$; $P = 0,9133$) e nem das doses de silício ($F = 1,545$; $P = 0,2176$) no teor de silício foliar nas plantas de milho.

Tabela 6. Teores de silício presente nas folhas de plantas de milho semeadas em duas épocas e adubadas com diferentes doses ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de silício aplicadas via solo. Uberlândia-MG, Dezembro 2016 a Maio 2017.

Doses de Silício	Silício foliar	
	1ª Safra	2ª Safra
0	$1,20 \pm 0,10$ a	$0,66 \pm 0,03$ b
150	$1,37 \pm 0,09$ a	$0,64 \pm 0,05$ b
300	$1,32 \pm 0,06$ a	$0,72 \pm 0,03$ b
450	$1,41 \pm 0,06$ a	$0,66 \pm 0,04$ b
600	$1,54 \pm 0,08$ a	$0,71 \pm 0,04$ b

CV(%) = 13,22

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha, diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

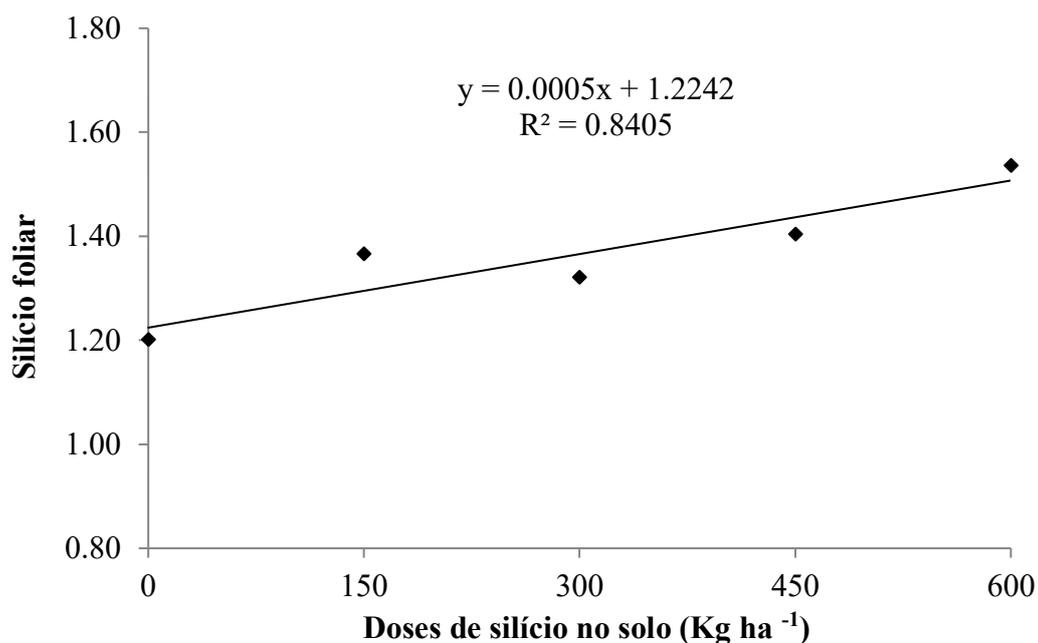


Figura 3. Teor de silício foliar em plantas de milho semeado na primeira safra em função de diferentes doses aplicadas via solo. Uberlândia-MG, Dezembro 2016 - Abril 2017.

5.3 Características agronômicas

Não houve interação significativa para época de semeadura (1ª e 2ª safras), tipos de infestação de lagartas e doses de silício para a produtividade de grãos, altura da inserção da espiga, número de grãos por espiga, peso de mil grãos e para altura e quebramento de plantas (Tabela A). Houve diferença significativa entre as épocas para produtividade de grãos, altura da inserção da espiga, número de grãos por espiga e peso de mil grãos (Tabela A), observando-se valores maiores na primeira safra do que na segunda (Tabela 7; Tabela A). Não houve diferença entre épocas para a altura e o quebramento de plantas e nenhuma das características agronômicas avaliadas do milho sofreu influência da adubação silicatada ou do tipo de infestação por *S. frugiperda* (Tabela A; Tabela B; Tabela C).

Tabela 7. Produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de plantas de milho semeado em duas épocas e sob diferentes doses de silício ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Uberlândia-MG, Dezembro 2016 a Maio 2017.

Doses	Época		Média±erro
	1ª Safra	2ª Safra	
0	8.837,83	6.629,03	7.733,43±461,64
150	8.889,27	6.285,45	7.587,36±413,81
300	9.634,18	5.764,22	7.699,20±562,52
450	8.788,73	5.282,71	7.035,72±517,15
600	10.164,34	6.339,76	8.252,05±606,02
Média±erro	9.262,87±206,57 a	6.060,24±197,48 b	CV(%) = 16,41

Médias seguida por letras distintas, minúsculas na linha diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

6. DISCUSSÃO

A adição de Si no solo resultou em aumento no teor foliar desse elemento, o que induziu resistência nas plantas de milho e reduziu a desfolha por *S. frugiperda* na primeira safra. Já a não indução de resistência na segunda safra está relacionada, provavelmente, a menor absorção e acúmulo desse elemento pelas plantas de milho. Os fatores que explicam essa menor absorção e acúmulo de Si na segunda safra, no entanto, são desconhecidos. Contudo, segundo Sahebi et al. (2015), o transporte do Si na planta é limitado pelas mudanças na temperatura e alguns processos metabólicos, portanto, influenciado por fatores ambientais. Em estudos futuros recomenda-se avaliar esses fatores.

A aplicação de Si no solo induz resistência nas plantas devido ao seu acúmulo como sílica amorfa nas células epidérmicas, vasos do xilema ou espaços intracelulares, formando uma barreira mecânica. Com isso, ocorre o aumento da rigidez dos tecidos vegetais, o que torna as plantas mais difíceis de serem mastigadas e digeridas pelos insetos herbívoros (GOUSSAIN et al., 2002; LIU et al., 2017; MARSCHNER, 1995; REYNOLDS et al., 2016; WANG et al., 2017). Essa barreira de sílica amorfa impede o acesso ao nitrogênio e outros nutrientes, além de causar danos no trato digestivo das lagartas, reduzindo a sua capacidade de alimentação (BAKHAT et al., 2018).

O Si Também induz a ativação de enzimas de defesas tais como a peroxidases, polifenoloxidase, quitinases, fenilalanina amonialiase (BAKHAT et al., 2018; GOMES et al., 2005; HARTLEY et al., 2015) e flavonoides (MANIVANNAN e AHN, 2017), que vão afetar a interação entre hospedeiro e praga. A enzima peroxidase está relacionada à síntese das substâncias de lignina e suberina, que são responsáveis pela dureza dos tecidos (STOUT et al., 1994). A polifenoloxidase está envolvida na lignificação e atua na catálise oxidativa de fenóis e quinonas, as quais se conjugam com as proteínas que vão reduzir a qualidade do alimento para as pragas e a digestão das proteínas (MOHAMMADI; KAZEMI, 2002). A fenilalanina amonialiase se relaciona a síntese dos fenóis (deterrentes) que tornam os alimentos menos preferidos pelos herbívoros (APPEL, 1993). Ainda, a aplicação de silício atua na produção de substâncias de baixa digestibilidade na seiva das plantas, o que afeta negativamente a biologia dos insetos (KORNDÖRFER et al., 2011).

A indução da resistência a insetos em plantas da família Poaceae adubadas com silício foi observada por diversos autores (ANTUNES et al., 2010; DIAS et al., 2014; GOMES et al., 2005; MORAES et al., 2004; MORAES et al., 2005). Jeer et al. (2017) observaram menor dano causado por *Scirpophaga incertulas* (Walker) nas fases vegetativa e reprodutiva nas plantas de arroz adubadas com Si. Além disso, as mandíbulas das larvas que foram coletadas nas plantas com Si estavam desgastadas e o mesêntero desses insetos apresentava ruptura da membrana peritrófica. Nascimento et al. (2014) concluíram que as lagartas se alimentam menos das plantas de arroz adubadas com Si e apresentam menores taxas de sobrevivência. Estudos com *S. frugiperda* em condições controladas no laboratório observaram que quando as lagartas foram alimentadas com folhas de milho com Si ocorreu aumento do canibalismo em larvas de segundo instar, aumento do desgaste das mandíbulas em todos os ínstaros (GOUSSAIN et al., 2002) e redução da área foliar consumida (GONZALES, et al., 2015; GOUSSAIN et al., 2002; NERI et al., 2005). A redução da desfolha desde a nota 2 para a nota 1 nas plantas de milho adubadas com Si a partir da dose 450 kg. ha⁻¹ no campo, no presente trabalho, pode ter sido em função do somatório desses efeitos observados no laboratório. Essa redução na desfolha (dois para um) permitiria a ausência de controle químico desta praga. Porém, poucos estudos foram conduzidos em condições de campo envolvendo silício no controle de *S. frugiperda* e os autores não encontraram evidências da indução de resistência em plantas de milho a essa praga (ANTUNES et al., 2010; NERI et al., 2009). Segundo Mendes et al. (2009), a eficácia e a expressão da resistência na planta são complexas e podem ser influenciadas tanto por fatores bióticos como abióticos.

O Si proporciona maior peso seco por unidade de área foliar e desempenha um importante papel no crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994). Porém, o efeito benéfico do silício no crescimento das plantas é mais evidente em situações de estresse hídrico e nutricional (LUYCKX et al., 2017; MEHARG; MEHARG, 2015; PULZ, et al., 2008; SILVA; BOHNEN, 2003). Desta forma, as ótimas condições hídricas e nutricionais as quais as plantas do presente estudo foram submetidas podem explicar a falta de efeito do Si nas características agrônômicas avaliadas. Sousa et al. (2010) encontraram aumento da produtividade de grãos em plantas de milho com a aplicação de silício via foliar, porém, outros autores (FREITAS et al., 2011; TEODORO et al., 2014) observaram resultados similares aos do presente

trabalho, não encontrando alterações na produtividade desta cultura com a aplicação de silício.

7. CONCLUSÕES

Quando o silício foi aplicado no solo com doses a partir de 450 kg.ha⁻¹ e o seu teor foliar aumentou, este elemento induziu resistência ao ataque da *S. frugiperda* nas plantas de milho cultivadas em condições de campo. No entanto, não foi verificada influência do Si sobre a produtividade e nem sobre outras características agronômicas do milho.

8. REFERÊNCIAS

Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB)**. Brasília DF, v. 4, n.10, p.1–153, 2017.

AFONSO-ROSA, A. P. S.; BARCELOS, H. T. Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (**Embrapa Clima Temperado. Documentos 344**), 2012.

AGR, OCDE-FAO Perspectivas. **OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015–2024**. n.21, p.1–54, 2015.

AGROLINK. Importância Econômica do milho. 27 de ago. 2017. **Disponível em:** <https://www.agrolink.com.br/culturas/milho/informacoes/importancia_361402.html> Acesso em: 17 nov. 2017.

AHMAD, R.; ZAHEER, S.; ISMAIL, S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Science**, [S.l.], v.85, n.01, p.43–50, 1992.

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**, Cambridge University, v.107, n.4, p.527-533, 2017. <https://doi.org/10.1017/S0007485316001176>

ANTUNES, C.S; MORAES, J.C; ANTÔNIO, A; SILVA, V.F. Influência da aplicação de silício na ocorrência de lagartas (lepidóptera) e de seus inimigos naturais chaves em milho (*Zea mays* l.) e em girassol (*Helianthus annuus* l.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 619-625, 2010.

ANKALA, A.; LUTHE,D.S.; WILLIANS,W.P.; WILKNSON,J.R. Integration of ethylene and jasmonic acid signaling pathways in the expression of maize defense protein Mir1-CP. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 22, n.12, p.1555-1564, 2009. <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-12-1555>

APPEL, H. M. Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. **Journal of Chemical Ecology**, Nova Iorque, v. 19, p. 1521-1552. 1993.

ÁVILA, Crébio José. Manejo integrado das principais pragas que atacam a cultura do milho no país. **Visão agrícola, USP ESALQ**. n.13, p.102-106, 2015.

BAKHAT, H.S.F.G.; 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**, vol.104, p.21-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>

BARROS, R. **14 Pragas do Milho**. Tecnologia e Produção: Soja e Milho 2011/2012, FUNDAÇÃO MS. [S.l.], p.275–296, 2012.

BARROS, R. Estudo sobre a aplicação foliar de acibenzolar-S-metil para a indução de resistência à ferrugem asiática em soja e cercosporiose em milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.78, n.4, p.519-528, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília DF, **Mapa/ACS**, 399p, 2009.

BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, G. W. Estágio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, Campinas, v.72, n.1, p.61-70, 2013.
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052013000100009>

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**. v.69, n.4, p.937-944, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400020>

CARVALHO, R. L. P. Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) e susceptibilidade de diferentes cultivares de milho, em condições de campo. 1970. 170f. **Tese (Doutorado em Agronomia)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

CASMUZ, A.; JUÁREZ, M.; SOCÍAS, L.; Guillermina, M.; MURÚA, M. G.; PRIETO, S.; MEDINA, S.; WILLINK, E.; GASTAMINZA, G. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista da Sociedade Entomológica Argentina**, v.69, n.3, p.209–231, 2010.

CONNICK V, J (2011). The Impact of Silicon Fertilization on the Chemical Ecology of Grapevine, *Vitis vinifera* Constitutive and Induced Chemical Defenses Against Atrthropod Pest and Their Natutral Enemies. Ph.D. **thesis**, Charles Sturt University, Albury-Wodonga.

COOKE, J., AND LEISHMAN, M. R. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. **Functional Ecology**, V.30, p.1340–1357, 2016.
<https://doi.org/10.1111/1365-2435.12713>

COSTA, J, R Da.; PINHO, J. L. N. De.; PARRY, M.M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. v.12, n.5. Campina Grande, PB, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p - 443-450. 2008.

CRUZ, Ivan. Manejo de pragas da cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Eds.) A cultura do milho, Sete Lagoas, **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 303-362, 2008.

CRUZ, I.; GONÇALVES, E. P.; FIGUEIREDO, M. L. C. Effect of a nuclear polyhedrosis virus on *Spodoptera frugiperda* (Smith) larvae, its damage and yield of maize crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, p.20-27, 2002.
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v1n2p20-27>

CRUZ, Ivan. A lagarta do cartucho: Enfrente o principal inimigo do milho. **Revista Cultivar, Pelotas**, n.21, 68p, 1999.

CRUZ, Ivan.; OLIVEIRA, L. J.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELLOS, C. A. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (Smith) em milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, p. 293-297, 1996.

CURRIE, H.A; PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v.100, p.1383-1389, 2007.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcm247>

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

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**, v.75: p.729-732, 1991.
<https://doi.org/10.1094/PD-75-0729>

DE SOUZA, L.C; SIQUEIRA, J.A.M.; SILVA, J.L.S.; DA SILVA, J.N.; COELHO, C.C.R; NEVES, M.; NETO, C.F.O.N.; LOBATO, A.K. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p.117-128, 2014.
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n2p117-128>

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). *Entomological Society of America*. v.43, n.4, p.949-956, 2014.

DIAS PAES, M. C. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, 2006.

DOS SANTOS, M.C.; JUNQUEIRA, A.M.R.; MENDES DE SÁ, W.G.; 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. **Research report**, v.12, p.158-165, 2015.

DUARTE, J. De O. Importância econômica. **Embrapa milho e sorgo**. Sistema de produção, n.1. 2004.

DUARTE, J.O.; MATOSSO, M.J.; GARCIA, J.C. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Brasília, DF, jul. 2017. Disponível em:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 25 jul. 2017.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Estádios fonológicos de milho, Passo fundo RS, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Transgenia: quebrando barreiras em prol da agropecuária brasileira. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/tema-transgenicos/sobre-o-tema>>. Acesso em 07 dezembro 2017.

EMBRAPA-SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. **Ampl-revista editora dos tribunais**, Brasília, DF: Embrapa, p.353, 2013.

EPSTEIN, E. Silício. **Revisão Anual de Fisiologia de Plantas e Biologia Molecular de Plantas**. v.50, n.1 p 641 – 664, 1999.

<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, v.46, p.37-39, 1995.

<https://doi.org/10.1007/BF00020413>

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

<https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>

FAO- Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Perspectivas de Produção Agrícola. Disponível em:<<http://www.fao.org.br/producaoagricola.asp>>. Acesso em 07 dezembro 2017.

FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHERIF, M.; BÉLANGER, R.R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF LE, SNYDER GH, KORNDORFER GH (eds) Silicon in agriculture. Studies in plant science, 8. **Elsevier, Amsterdam**, p.159–169, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80013-6](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80013-6)

FRANTZ, J.M.S.; KHANDAHAR AND S. LEISNER. Silicon differentially influences copper toxicity response in silicon-accumulator and non-accumulator species. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.136, p.329-338, 2011.

FERRARI FILHO, E. Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FREITAS, L.B.; COELHO, E.M.; MAIA, S.C.M.; SILVA, T.R.B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa Brasil. v.58, n.2, p.262-267, 2011.

FIGUEREDO, M. de L.C.; DIAS-MARTINS, A.M.P.; CRUZ, I. Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.12, p.1693-1698, 2006.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001200002>

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; BASANTA, M. del Valle. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. Piracicaba, SP, **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000300001>

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; DOS SANTOS, C.D.; GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola**, v.62, n.6, p.547-551, 2005.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>

GONZALEZ, L.C, PRADO, R.M.; DA SILVA JÚNIOR, B.; CAMPOS, C.N.S, FERNÁNDEZ, O.; DA SILVA, R.P.; MODA, L.R.; PUENTE, R.A. Daños por *Spodoptera frugiperda* Smith en maíz en función de nitrógeno, potasio y silicio. **Revista de protección vegetal, I Centro de Estudios para la Transformación Agraria Sostenible (CETAS)**, Universidad de Cienfuegos Cuba. v.30, n.3, p. 176-184, 2015.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, n.2, p.305-310, 2002.

<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000200019>

HARTLEY, S. E.; FITT, R.N.; MCLARNON, 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**, v.6, n.35, p.1-8, 2015.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00035>

HERNANDEZ, A. J. S. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. **Greenpeace México**, México, D.F, n. 2, p.1-40, 2012.

IMTIAZ, M.; RIZWAN, M.S.; MUSHTAQ, M.A.; ASHRAF, M.; SHAHZAD, S.M.; YOUSAF, B.; SAEED, D.A.; RIZWAN, M.; NAWAZ, M.A.; MEHMOOD, S.; TU, S.; Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. **Journal of Environmental Management**, v.183, p.521-529, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009>

JEER, M.; TELUGU, U.M.; VOLETI, S.R.; PADMAKUMARI, A.P. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) damage in rice. **Journal of Applied Entomology**, Telangana, India, v.141, n.3, p.189-201, 2017.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soil, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, London, v.19, p.107-149, 1967.

[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60734-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60734-8)

JONES, L. H. P. & HANDRECK, K. A. **Plant Soil**, v. 23, p.79-96, 1965.

<https://doi.org/10.1007/BF01349120>

KIM, Y.H.; KHAN, A.L.; KIM, D.; LEE, S.Y.; KIM, K.M.; WAQAS, M.; JUNG, H.; SHIN, H.; KIM, J.; LEE, I. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. **BMC Plant Biology**, v.14, n.9, jan.2014.

<https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-13>

KÖRNDORFER, 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.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. (**Boletim técnico, 02**), Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 34-37, nov./dez, 2002.

KORNDÖRFER, G. Existe alguma relação entre Si e Plantio direto? Direto no Cerrado, APDC – **Associação de Plantio Direto no Cerrado**, v.4, n.12, p.1-3 abr/1999.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F & SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. v. 23, p.623- 629, 1999.

KVEDARAS, O.L., AND, M., CHOI, Y.S. & GURR, G.M. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. **Bulletin of Entomological Research**, v. 100, p. 367–371, 2010.

<https://doi.org/10.1017/S0007485309990265>

LAING, M.D.; GATARAHIYA, M.C.; ADANDONON, A. Silicon use for pest control in agriculture: a review. **South African Sugarcane Research Institute**, v.80, p.278–286, 2006.

LARA, Fernando. M. Princípios de resistência de plantas a insetos. 2. ed. São Paulo: **Ícone**, 336p, 1991.

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; HAIJUN, G.; SONG, A; **Silicon in Agriculture**. From Theory to Practice., Springer , p.1-235, 2015.

LIANG, Y. C.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, Londres, v. 147, p. 422-428. 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008>

LIMA, J.F.M.; GRÜTZMACHER, A.D.; DA CUNHA, U.S.; PORTO, M.P; MARTINS, J.F.; GALMAZO, G.O. Ação de inseticidas naturais no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho cultivado em agro ecossistema de várzea. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.607- 613, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300003>

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. **Front Plant Science**, v.8, p.1-8, 2017.

LIU, P.; YIN, L.; WANG, S.; ZHANG, M.; DENG, X.; ZHANG, S.; TANAKA, K. Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Environmental and Experimental Botany**, v.111, p. 42–51, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.10.006>

LOGUERCIO, L. L.; CARNEIRO, N. P.; CARNEIRO, A. A. Milho Bt - Alternativa biotecnológica para controle biológico de insetos-praga. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento** - Embrapa Milho-Sorgo, Sete Lagoas Minas Gerais, n.24, p.47-52 2002.

LUYCKX, M., HAUSMAN, J. F., LUTTS, S., and GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Plant Science**. v. 8, n. 411, p. 1-8, March 2017.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants Trends. **Plant Science**, v.11, p.392-397, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2 ed. Piracicaba: **POTAFOS**, p.319, 1997.

MANIVANNAN, A.; AHN, Y.K. Silicon Regulates Potential Genes Involved in Major Physiological Processes in Plants to Combat Stress. **Frontiers in Plant Science**, n.8, v.1346, p.1-13, 2017.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. San Diego: **Academic**, 889p. 1995.

MEHARG, C.; MEHARG, A.A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? **Environmental and Experimental Botany**, v.120, p.8–17, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.07.001>

MENDES, S. M.; BOREGAS, K. G. B.; LOPES, M. E.; WAQUIL, M. S.; WAQUIL, J. M. Respostas da lagarta do cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b). Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.46, n.3, p.239-244, 2011.

MENDES, S. M.; BOREGAS, K. G. B.; FERMINO, T. C.; LOPES, M. E.; WAQUIL, M.; COSTA, M. C. A.; MARUCCI, R. C.; WAQUIL, J. M. Efeito da interação entre

genótipo de milho e evento geneticamente modificado contendo a toxina Cry 1 A(B) nas variáveis biológicas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., 2009, Rio Verde. **Anais**. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2009. p. 368-374.

MENDES, S, M.; MARUCCI, R. C.; MOREIRA, S. G.; WAQUIL, J. M. Milho Bt: avaliação preliminar da resistência de híbridos comerciais à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797). **Embrapa milho e sorgo**, Sete Lagoas, MG, n.157, p.1-8, 2008.

MITANI, N.; MA, J.F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, vol. n.56, v.414, p.1255-1261, 2005.

MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. **Plant Science**, Limerick, v. 162, p. 491-498. 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00538-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00538-6)

MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M.M.; CARVALHO, G.A.; COSTA, R.R. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n.4, p. 761-766, 2005.

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000400007>

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: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2004000500012>

MUAD, M.; COSTA, C.A.; GRASSI FILHO, H.; MACHADO, S.R. Deposição de sílica e teor de nitrogênio e silício em arroz. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina. v.34, n. 4, 1653-1661, 2013.

MUMM, R., & DICKE, M. Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. **Canadian Journal of Zoology**, n.88, p.628–667, 2010.

<https://doi.org/10.1139/Z10-032>

MURÚA, M. G.; VERA, M.T.; ABRAHAM, S.; JUARÉZ, M.L.; PRIETO, S.; HEAD, G.P.; WILLINK, E. Fitness and mating compatibility of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) populations from different host plant species and regions in Argentina. **Annals of the Entomological Society of America**, v.101, n.3, p.639 - 649, 2008.

[https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2008\)101\[639:FAMCOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2008)101[639:FAMCOS]2.0.CO;2)

MURÚA, M. G. & E. VIRLA. Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) fed on corn and two predominant grasses in Tucumán (Argentina). A laboratory study. **Acta Zoologica Mexicana**. Mexico. v.1, n.20, p.199-210, 2004.

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**. Pernambuco, v.9, n.2, p.215-218, 2014.

NERI, D. K. P.; GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; DE GÓES, G.C.; DE TARCIO, T.; MARROCOS, P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. Santa Maria, **Ciencia Rural**, v.39, n.6, p.1-6, 2009.
<https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000111>

NERI, D.K.P.; MORAES, J.C.; GAVINO, M.A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.1-8, 2005.

NORUSIS, M. **SPSS 16.0 statistical procedures companion**. Prentice Hall Press, 2008.

PAIM, L. A.; CARVALHO, R.; ABREU, C.M.P.; GUERREIRO, M.C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 28-33, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000100007>

PALMA, N.L.; IVAN, E.A.F.; OLIVA, M.V.; DAMASCENO, R.T.; DOS SANTOS, F.G.; SANITÁ, D.A.; DA SILVA, T.L.; PINTO, A.de. Confiabilidade de Escalas de Notas de Danos em Folhas Causados por *Spodoptera frugiperda* na Cultura do Milho de Segunda Safra. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 29, 2014, Águas de Lindóia, resumo, Águas de Lindóia, p. 1-7.

PELIZARO, H. R.; TOSCANO, L.C.; MARUYAMA, W.I.; VENDRAME, A.B. Comportamento do pulgão do milho *Rhopalosiphum maidis* e lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* frente à aplicação de silício na cultura do milho e impacto sobre inimigos naturais. **ANAIS DO ENIC**, v. 1, n. 5, 2014.

PIMENTEL, C. A. Alimentos Transgênicos: mitos e verdades. **UNEB**, 2010.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B. & SORATTO, R.P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, n.32, p.1651-1659, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400030>

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; DE CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira da Ciencia do Solo**, v. 30, p.849-857, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500011>

RAMOS, L.A. VIDAL, A. A, QUEIROZ, A. A., KORNDORFER, G. H, NOLLA, A. BITTENCOURT, M, F, ARAÚJO, L. S & FERREIRA, D. A. A. Reatividade de fontes de silício em neossolo quartzarênico. CD-rom, FERTBIO 2004-**Anais Lages** – SC. Julho de 2004.

REZENDE, A. M. M., I. CRUZ & T. M. C. DELLA LUCIA. Consumo foliar de milho e desenvolvimento de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) parasitadas por *Chelonus insularis* (Cresson) (Hym.: Braconidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**. v.23, n.3, p.473-478, 1994.

REYNOLDS, O. L., PADULA, M. P., ZENG, R., AND GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. *Front. Plant Science*. v.7, n.744, 2016.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>

RITCHIE, S.W.; HANWAYS, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. **Encarte de informações agronômicas**, n. 103, p.1-20, Potafos, 2003.

ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. D. Classificação climática de Köppen e de Thorn thwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>

SAHEBI, M.; HANAFI, M. M.; SITI NOR AKMAR, A.; RAFII, M. Y.; AZIZI, P.; IDRIS, A. S. Serine-rich protein is a novel positive regulator for silicon accumulation in mangrove. **Gene**, v. 556, n.2, p.170–181, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.gene.2014.11.055>

SAMPAIO, H.N.; BARROS, M. de F.C.; OLIVEIRA, J. V. de; LIMA, F. de S.; PEDROSA, E.M.R. Efeito de doses de nitrogênio e potássio nas injúrias provocadas por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n.3, p.219 - 222, 2007.
<https://doi.org/10.5039/agraria.v2i3a403>

SANGSTER, A.G., HODSON, M.J. Silica Deposition in Subterranean Organs. **Phytolith Systematics**, New York, p. 239-251, 1992.
https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1155-1_12

SCHUMAN, M. C.; BARTHEL, K.; BALDWIN, I. T. Herbivory-induced voláteis function as defenses increasing fitness of the native plant *Nicotiana attenuate* in nature. **eLife Sciences**, v.1, 2012.

SILVA, L. S. da; BOHNEN, H. Produtividade e absorção de nutrientes pelo arroz cultivado em solução nutritiva com diferentes níveis de silício e cálcio. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 49-52, jan./mar. 2003.

SOUSA, J.V De.; RODRIGUES, C.R.; LUZ, J.M.Q.; SOUSA, V.B.F.; DE CARVALHO, P.C.; RODRIGUES, T.M.; DE BRITO, C.H. Silicato de potássio via

foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

SOUZA, M.M.; SILVA, A.R.S.; SILVA, L.R.T.; de MEDEIROS, C.C.D.; MACEDO, L.P.M. Efeito do silício na mortalidade de lagartas de *spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepdoptera: Noctuidae), ao final do segundo instar. **Ipanguaçu-RN**, 2010.

STORER, N. P.; BABCOCK J. M.; SCHLENZ M.; MEADE T.; THOMPSON G. D.; BING, J. W.; HUCKABA R. M. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, n. 4, p. 1031-1038, 2010.
<https://doi.org/10.1603/EC10040>

STOUT, M. J.; WORKMAN, J.; DUFFEY, S. S. Differential induction of tomato foliar proteins by arthropod herbivores. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 20, p. 2575-2594, 1994.
<https://doi.org/10.1007/BF02036193>

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L.P.; CORRÊA, C.C.G.; TORRES, F.E. Desempenho de híbridos de milho sob aplicação foliar de silício no cerrado sul-mato-grossense. **Biosciencie Journal**, Uberlandia, v. 30, supplement 1, p. 224-231, 2014.

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 florescence, laser induced breakdown spectroscopy and anatomical changes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.113, p.133-144, march 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.029>

VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. S. Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com Baculovírus. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 14 p, 2009. (Circular Técnica, 114).

VEENSTRA, K.H.; PASHLEY, D.P.; OTTEA, J.A. Host-plant adaptation in fall armyworm host strains: comparison of food consumption, utilization, and detoxication enzyme activities. **Annals of Entomological Society of America.**, v. 88, n.1, p. 80-91, 1995.
<https://doi.org/10.1093/aesa/88.1.80>

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Role of silicone on plant-pathogen interactions. **Frontiers in plant science.** v.8, n.701, p.1-14, 2017.

WANG, Y.; STASS, A. & HORS, T. W. Apoplastic Binding of Aluminum Is Involved in Silicon-Induced Amelioration of Aluminum Toxicity in Maize. **Plant Physiology Preview**, v.136, p.3762-3770, 2004.
<https://doi.org/10.1104/pp.104.045005>

WANGEN, D.R.B.; JÚNIOR, P.H.S.; SANTANA, W.S. Controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. smith, 1797) na cultura do milho com inseticidas de diferentes grupos

químicos. **ENCICLOPEDIA Biosfera**, centro científico conhecer, Goiânia, v. 11, n.22, p.1-8, 2015.

WEISMANN, M. Fases de desenvolvimento da cultura do milho. 4.ed. Tecnologia e Produção: **Milho Safrinha e Culturas de Inverno**, p. 31-38, 2008.

WU, JW.; SHI, Y.; ZHU, Y.; WANG, Y.; GONG, H. Mechanisms of Enhanced Heavy Metal Tolerance in Plants by Silicon: A Review. **Pedosphere**. v. 23, p.815-825, 2013.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60073-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60073-9)

WU, J.; BALDWIN, I. T. New insights into plant responses to the attack from insect herbivores. **Annual Review of Genetics**, n.44, p.1–24, 2010.
<https://doi.org/10.1146/annurev-genet-102209-163500>

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 anti herbivore defense responses in rice by silicon. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, n.110, p.3631–3639, 2013.

YU, S. J.; NGUYEN, S. N. Inheritance of carbaryl resistance and microsomal oxidases in the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.87, p.301-304, 1994.
<https://doi.org/10.1093/jee/87.2.301>

9. ANEXOS

Resultados das análises conjuntas para as características agronômicas e teor de silício foliar em plantas de milho.

Tabela A. Resumo do quadro da ANOVA da análise conjunta para altura das plantas (Alt), Quebramento de plantas (Queb), altura da inserção das espigas (Inser), Número de grãos por espiga (Grãos), Peso de 1000 grãos (P1000), Produtividade (Prod) e Silício Foliar (SiFol) em função de duas épocas de semeadura. Uberlândia-MG, Dezembro 2016 - Maio 2017.

Fonte de variação	GL	Variáveis						
		Alt	Queb	Inser	Grãos	P1000	Prod	SiFol
Infestação (I)	1	0,31	0,52	0,20	1,77	0,32	1,31	2,27
Dose silício (D)	4	2,39	0,76	0,86	0,80	0,40	1,90	4,0 *
I x D	4	0,63	0,44	1,43	0,54	0,21	0,53	1,64
Época (E)	1	2,90	0,13	77,59*	4,73*	397,62*	129,74*	522,88 *
E x I	1	0,02	2,08	0,52	2,53	0,95	0,01	2,53
E x D	4	0,29	0,37	0,15	0,73	0,63	1,44	2,99 *
E x I x D	4	0,40	1,67	0,92	1,31	0,28	0,34	1,3
Bloco x E	6	1,10	2,90*	0,61	0,60	1,09	1,40	7,48 *
Resíduo	54	--	--	--	--	--	--	--
Total	79	--	--	--	--	--	--	--
CV(%)		5,87	190,96	6,95	11,64	9,45	16,41	13,22

* Significativo a 5% de significância.

Características agronômicas do milho em duas safras.

Tabela B. Características agronômicas (Média ± Erro padrão) do milho cultivado durante a primeira safra, sob diferentes doses de silício (kg ha⁻¹) e tipos de infestação de *Spodoptera frugiperda*. Uberlândia-MG, Dezembro 2016-Abril, 2017.

	Infestação			
	Doses silício	Manual	Natural	Média±erro
Altura das plantas (cm)	0	209,19	212,50	210,84 ± 3,61
	150	219,00	213,75	216,38 ± 3,76
	300	219,75	210,69	215,22 ± 4,20
	450	207,58	207,88	207,72 ± 2,70
	600	215,94	220,69	218,31 ± 1,59
	Média±erro	214,30 ± 2,04 a	213,10 ± 2,32 a	--
Altura da inserção das espigas (cm)	0	120,00	120,50	120,25 ± 3,13
	150	123,84	119,44	121,64 ± 2,71
	300	126,25	118,56	122,41 ± 3,52
	450	115,92	123,00	119,46 ± 2,70
	600	123,25	125,31	124,28 ± 1,73
	Média±erro	121,85 ± 1,78 a	121,36 ± 1,72 a	--
Número de grãos por espiga	0	460,5	408,94	434,72 ± 22,44
	150	441,33	385,38	413,35 ± 24,24
	300	453,88	411,69	432,78 ± 22,56
	450	428,75	424,06	426,41 ± 14,45
	600	455,06	449,75	452,41 ± 14,95
	Média±erro	447,90 ± 9,73 a	415,96 ± 13,96 a	--
Peso de 1000 grãos (gramas)	0	328,88	328,37	328,62 ± 14,38
	150	318,39	327,67	323,03 ± 8,53
	300	30,46	322,96	314,21 ± 7,75
	450	314,44	319,94	317,19 ± 2,15
	600	325,26	336,79	331,02 ± 6,99
	Média±erro	318,49 ± 5,57 a	327,14 ± 5,42 a	--
Produtividade (Kg ha ⁻¹)	0	8.661,81	9.013,86	8.837,83 ± 654,52
	150	8.955,05	8.823,49	8.889,27 ± 254,91
	300	9.503,97	9.764,40	9.634,18 ± 390,55
	450	8.864,62	8.712,84	8.788,73 ± 850,37
	600	9.598,86	10.729,84	10.164,34 ± 526,44
	Média±erro	9116,86 ± 258,48 a	9408,89 ± 325,77 a	
CV (%) =	Altura: 4,55 Inserção: 6,91 Numero de grãos: 13,55 Peso de 1000 grãos: 8,53 Produtividade: 13,84			

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha, se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Escala de notas segundo CARVALHO (1970), notas de 0-5.

Tabela C. Características agronômicas (Média ± Erro padrão) do milho cultivado durante a segunda safra, sob diferentes doses de silício (kg ha⁻¹) e tipos de infestação de *Spodoptera frugiperda*. Uberlândia-MG, Janeiro-Maio, 2017.

	Doses silício	Infestação		Média±erro
		Manual	Natural	
Altura das plantas (cm)	0	217,19	218,94	218,06 ± 4,54
	150	221,25	228,75	225,00 ± 3,13
	300	220,63	209,88	215,25 ± 6,17
	450	213,50	207,75	210,63 ± 5,37
	600	225,00	222,38	223,69 ± 5,95
	Média±erro	219,51 ± 2,71 a	217,54 ± 3,88 a	--
Altura da inserção das espigas (cm)	0	104,50	105,19	104,84 ± 2,86
	150	103,50	114,00	108,50 ± 3,04
	300	108,50	101,69	105,010 ± 2,50
	450	102,63	104,88	103,75 ± 1,68
	600	106,38	109,63	108,00 ± 3,08
	Média±erro	105,00 ± 1,56 a	107,08 ± 1,76 a	--
Acamamento (%)	0	0,00	1,32	0,66 ± 0,66
	150	0,00	2,63	1,32 ± 1,32
	300	1,32	0,00	0,66 ± 0,66
	450	1,32	2,63	1,97 ± 1,97
	600	1,32	0,00	0,66 ± 0,66
	Média±erro	0,79 ± 0,43 a	1,32 ± 0,65 a	--
Quebramento (%)	0	0,00	2,63	1,32 ± 0,86
	150	0,00	2,63	1,32 ± 1,32
	300	1,32	3,95	2,63 ± 1,41
	450	1,32	1,32	1,32 ± 0,86
	600	2,63	2,63	2,63 ± 1,41
	Média±erro	1,05 ± 0,62 a	2,63 ± 0,81 a	--
Número de grãos por espiga	0	387,57	459,13	423,34 ± 21,13
	150	428,06	404,63	416,34 ± 11,64
	300	381,75	384,00	382,88 ± 11,27
	450	410,13	395,81	402,97 ± 11,83
	600	426,19	404,25	415,22 ± 8,88
	Média±erro	406,74 ± 8,81 a	409,56 ± 8,95 a	--
Peso de 1000 grãos (gramas)	0	213,17	207,16	210,17 ± 5,59
	150	209,81	208,17	209,24 ± 7,95
	300	219,43	218,01	218,72 ± 4,59
	450	197,13	210,18	203,66 ± 7,89
	600	218,28	202,33	210,30 ± 12,34
	Média±erro	211,56 ± 4,98 a	209,27 ± 5,11 a	--
Produtividade (Kg ha ⁻¹)	0	5.917,77	7.340,31	6.629,03 ± 418,17
	150	6.261,73	6.309,18	6.285,45 ± 429,66
	300	5.909,41	5.619,02	5.764,22 ± 365,80
	450	5.183,22	5.382,20	5.282,71 ± 421,52
	600	6.152,60	6.526,93	6.339,76 ± 501,87
	Média±erro	5884,94±302,85a	6235,53±255,22a	--
CV (%) =	Altura: 6,91 Inserção: 6,96 Acamamento: 250,92 Quebramento: 160,31 Grãos por espiga: 9,03 peso de 1000 grãos: 10,76 Produtividade: 20,34			

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha, se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Escala de notas segundo CARVALHO (1970), notas de 0-5.