

SAMANTA SOUZA RESTELATTO

MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) A INSETICIDAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Franco

**LAGES
2018**

Ficha catalográfica elaborada pela autora, com auxílio do programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC.

Restelatto, Samanta Souza
Monitoramento da resistência de *Chrysodeixis
includens* (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas /
Samanta Souza Restelatto. - Lages , 2018.
57 p.

Orientador: Cláudio Roberto Franco
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, Lages, 2018.

1. Glycine max. 2. Falsa-medideira. 3. Controle
químico. 4. Resistência de Insetos a Inseticidas. 5.
Linha-básica de suscetibilidade. I. Roberto Franco
, Cláudio . II. Universidade do Estado de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação. III. Título.

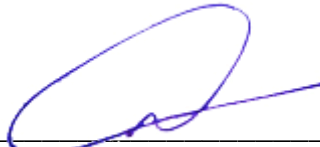
SAMANTA SOUZA RESTELATTO

MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA DE *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) A INSETICIDAS

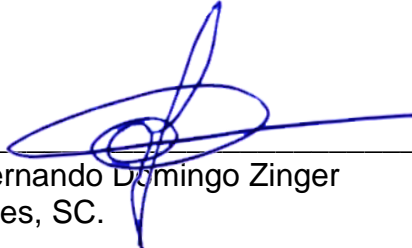
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Banca Examinadora


Orientador: _____


Prof. Dr. Cláudio Roberto Franco
UDESC/CAV – Lages, SC

Membro: _____


Prof. Dr. Fernando Domingo Zinger
IFSC – Lages, SC.

Membro: _____


Prof. Dr. Fernando Joly Campos
IFC – Rio do Sul, SC.

Lages, 31/07/2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar comigo em todos os momentos, por me dar o dom da vida, por sempre manter a minha fé, minha coragem, minha saúde e por todas as bênçãos que já recebi e que irei receber durante toda minha vida.

A minha mãe, Silvana Aparecida de Souza, a minha gratidão eterna por ter me ensinado valores e princípios valiosos, por nunca me deixar desistir, por nunca deixar faltar amor e respeito, por ser o maior exemplo da minha vida. Acredito que os filhos são reflexos dos pais.

Aos meus avós, Sebastião José de Souza e Eva Ribeiro de Souza, exemplos de pessoas que lutaram para proporcionar uma vida digna aos seus filhos e repassarem aos seus netos os valores da educação, respeito, honestidade e amor, se dedicando de forma incansável à minha educação.

Ao meu noivo, Dilmon João Nunes Filho, pela compreensão, amor, amizade, paciência e companheirismo, por me incentivar a não desistir e sempre procurar enxergar as possibilidades que a vida nos dá para vencer.

Agradeço aos meus tios e tias pelos conselhos, amizade e companheirismo. Obrigada pelo incentivo, e por sempre estarem dispostos a ajudar da melhor forma possível.

Agradeço a minha amiga Nayara Buss, que foi um dos grandes presentes que a agronomia me deu, pelo companheirismo, paciência e entusiasmo em todas as horas.

Agradeço a todos os amigos do Laboratório de Entomologia CAV-UDESC, em especial a Deize Deuner, Rafaela Oliveira, Eduarda Cruz, Rafael Contini, Aline Talamini e Henrique Moraes pela amizade, companheirismo e apoio, tornando meu caminho muito mais prazeroso.

Ao professor Cláudio Roberto Franco, pela sua dedicação em orientar-me desde a graduação até o mestrado, repassando todo seu conhecimento e contribuindo constantemente para o meu crescimento.

A Universidade do Estado de Santa Catarina pelo ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPQ e ao UNIEDU/FUMDES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca, Fernando Domingo Zinger e Fernando Joly Campos pela participação e contribuições na defesa do mestrado.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!

“Se você pode sonhar, você pode fazer.”
Walt Disney

RESUMO

RESTELATTO, Samanta Souza. **Monitoramento da resistência de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas.** 2018. 57 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Mestrado em Produção Vegetal, Lages, 2018.

A soja é o grão mais cultivado no Brasil, na safra 2017/18 foram produzidos cerca de 118 milhões de toneladas sendo a Região Sul responsável por cerca de 33% da produção nacional. Entre os fatores que afetam a produtividade da soja destaca-se a lagarta falsa-medideira *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) que até a década de 90 era considerada uma praga secundária. Porém a partir da safra de 2003/2004 foram observados surtos populacionais desta espécie na Região Centro-Oeste do Brasil. Esta lagarta reduz a área foliar causando intenso dano econômico. Atualmente os principais métodos de controle desse inseto são os inseticidas sintéticos e plantas geneticamente modificadas. A utilização indiscriminada de inseticidas tem promovido a evolução da resistência de insetos a inseticidas que pode refletir em falhas de controle no campo levando ao aumento no número de aplicações de inseticidas, aumento da dose e uso de misturas. Atualmente, a evolução da resistência de insetos a inseticidas é apontada como a principal razão pela busca de novas moléculas inseticidas, inclusive de novos mecanismos de ação. Embora sejam recomendados uma ampla gama de inseticidas para o controle desta praga, observa-se baixa eficiência dos produtos no controle de *C. includens*. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a suscetibilidade de populações de *C. includens*, coletadas na Região Sul do Brasil aos ingredientes ativos ciantranilprole, clorantranilprole, flubendiamida, espinetoram e metomil e definir uma concentração diagnóstica para programas de monitoramento da resistência a esses inseticidas. O método de bioensaio para a caracterização da suscetibilidade de populações de *C. includens* aos inseticidas foi de aplicação superficial do inseticida sobre a dieta. As linhas-básicas de suscetibilidade foram definidas para uma população suscetível de referência e três populações de campo de *C. includens*. Posteriormente, foram definidas concentrações diagnósticas para o monitoramento da suscetibilidade para todos os inseticidas em populações de *C. includens*. Os dados foram submetidos a análise de Probit. Para os inseticidas diamidas a razão de resistência estimada foi de até cinco vezes para clorantranilprole e ciantranilprole. E, para flubendiamida até 117 vezes. Para os inseticidas espinetoram e metomil a razão de resistência estimada foi de 10 e 32 vezes, respectivamente. As concentrações diagnósticas definidas para programas de monitoramento da suscetibilidade de populações de *C. includens* foram de 5,053 µg de ciantranilprole/cm², 5,053 µg de clorantranilprole/cm², 0,5053 µg de flubendiamida/cm², 0,1579 µg de espinetoram/cm² e 28,42 µg de metomil/cm². Observa-se variabilidade na suscetibilidade entre as populações de *C. includens* aos inseticidas flubendiamida, clorantranilprole, ciantranilprole, espinetoram e metomil, que pode comprometer seu controle no campo.

Palavras-chave: *Glycine max.* Falsa-medideira. Controle químico. Resistência de Insetos a Inseticidas. Linha-básica de suscetibilidade.

ABSTRACT

RESTELATTO, Samanta Souza. **Resistance monitoring of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides**. 2018. 57 p. Dissertation- (Master). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias. Postgraduate Program in Plant Production, Lages, 2018.

Soybeans is the most grow crop in Brazil. In the 2017/18 crop, about 118 million tons were produced and the South Region accounts for about 33% of the national production. Among the factors that affect soybean yield, the soybean looper larva, *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) is one of them, which until the 1990s was considered a secondary pest. However, from the 2003/2004 crop, population outbreaks of this species were observed in the Center-West Region of Brazil. This larva reduces the leaf area causing intense economic damage. The main method of controlling this insect is by using synthetic insecticides and genetically modified plants. The indiscriminate use of insecticides has promoted the evolution of insect resistance that can reflect in control failures in the field leading to the increase in the number of insecticide applications, increase of the dose and use of mixtures. Currently, the evolution of resistance from insects to insecticides is pointed out as the main reason for the search for new insecticidal molecules, including new mechanisms of action. Although a wide range of insecticides are recommended for the control of this pest, we can observe that they present low efficiency for the control of *C. includens*. Thus, the goal of this study was to characterize the susceptibility of *C. includens* populations collected in the Southern Region of Brazil to the active ingredients cyantraniliprole, chlorantraniliprole, flubendiamide, spinetoram and methomyl and to define a diagnostic concentration for resistance monitoring programs for these insecticides. The bioassay method for the characterization of the susceptibility of *C. includens* populations to the insecticides was done by applying insecticides superficially above the diet. The susceptible baselines were defined for a susceptible population of reference and three field populations of *C. includens*. Subsequently, diagnostic concentrations were defined for monitoring the susceptibility for all insecticides in populations of *C. includens*. Data were submitted to Probit analysis. For diamide insecticides the estimated resistance ratio was up to five times for chlorantraniliprole and cyantraniliprole. For flubendiamide the ratio was up to 117 times. For the insecticides spinetoram and methomyl the estimated resistance ratio was 10 and 32 times, respectively. The diagnostic concentrations defined for *C. includens* populations susceptibility monitoring programs were 5.053 µg cyantraniliprole/cm², 5.053 µg chlorantraniliprole/cm², 0.5053 µg flubendiamide/cm², 0.1579 µg spinetoram/cm² and 28.42 µg methomyl/cm². Variability in susceptibility among populations of *C. includens* to insecticides flubendiamide, chlorantraniliprole, cyantraniliprole, spinetoram and methomyl, which may compromise their control in the field.

Keywords: *Glycine max*. Soybean looper. Chemical control. Resistance of Insects to Insecticides. Baselines of susceptibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Populações de <i>C. includens</i> coletadas em lavouras de soja. 29	
Quadro 2 - Composição da dieta artificial utilizada para a criação artificial de <i>C. includens</i>30	30
Quadro 3 - Descrição comercial dos produtos.31	31
Figura 1 - Detalhes do método de bioensaio de ingestão. A) Diluição do inseticida; B) Aplicação do inseticida na placa de bioensaio; C) Inoculação de lagartas de 3º instar.32	32
Figura 2 - Curvas de concentração resposta da população de lagartas de 3º instar de SUSCI em bioensaio de ingestão com tratamento superficial da dieta artificial com os ingredientes ativos, espinetoram, flubendiamida, clorantraniliprole, ciantraniliprole e metomil.....43	43

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo ciantraniliprole.36
- Tabela 2 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo clorantraniliprole.37
- Tabela 3 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo flubendiamida.38
- Tabela 4 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo espinetoram.....39
- Tabela 5 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo metomil.....40
- Tabela 6 - Monitoramento da suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com ingredientes ativos do grupo químico das diamidas, espirosinas e carbamatos.....47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	ASPECTOS BIOECOLÓGICOS DE <i>C. includens</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)	21
2.2	CONTROLE QUÍMICO	22
2.3	EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS	24
2.4	DETECÇÃO E MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE <i>C. INCLUDENS</i>	29
3.2	CRIAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE <i>C. INCLUDENS</i>	29
3.3	INSETICIDAS	31
3.4	PROCEDIMENTO DE BIOENSAIO DE <i>C. includens</i> A INSETICIDAS	31
3.5	CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE <i>C. includens</i> A INSETICIDAS.	32
3.6	MONITORAMENTO DA SUSCETIBILIDADE DE <i>C. includens</i> A INSETICIDAS.	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE <i>C. includens</i> A INSETICIDAS.	35
4.2	MONITORAMENTO DA SUSCETIBILIDADE DE <i>C. includens</i> A INSETICIDAS.	42
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A soja *Glycine max* L. é o grão mais cultivado no Brasil. Na safra 2017/18 foram produzidos cerca de 118 milhões de toneladas, representando 52% da produção nacional de grãos, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial de soja. A Região Sul do Brasil foi responsável por 33% da produção nacional (CONAB, 2018; USDA, 2018).

Entre os principais fatores que dificultam a produção de soja se destaca a ocorrência de insetos-praga. Anualmente, as perdas econômicas são em torno de 5% da produção que corresponde a 9,5 milhões de toneladas de soja em relação à safra 2017/18 (OLIVEIRA, 2014; CONAB, 2018). Os insetos pertencentes a ordem Lepidoptera destacam-se por causarem danos nas folhas e vagens (MOSCARDI, 2012; FORMENTINI et al., 2015). Atualmente, no Brasil uma das principais espécies de lepidóptero desfolhador é a lagarta-falsa-medideira, *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]) (GUEDES et al., 2014; SPECHT et al., 2015).

Até o final dos anos 90, *C. includens*, era considerada uma praga secundária da cultura da soja, principalmente por ser controlada naturalmente por fungos entomopatogênicos (MORAES et al., 1991; MOSCARDI; CARVALHO, 1993). Porém, surtos populacionais começaram a ocorrer após a safra 2003/04 na região sudeste do Brasil. Entre as hipóteses que justificam esses surtos é a utilização incorreta dos inseticidas com aplicações acima do recomendado para a cultura, mistura de inseticidas de amplo espectro com herbicidas para a dessecação da lavoura e após a semeadura da soja, com isto ocorreu a mortalidade dos inimigos naturais (GUEDES et al., 2014). Com a entrada da ferrugem asiática *Phakopsora pachyrhizi* no Brasil em 2000, que devido as aplicações de fungicidas de amplo espectro para o controle desta doença também reduziu a ocorrência dos fungos entomopatogênicos, controladores de *C. includens*. (BUENO et al., 2007; BALDIN et al., 2014; SPECHT et al., 2015).

Um dos principais métodos de controle desta praga é o controle químico, principalmente pela facilidade de aplicação (OLIVEIRA et al., 2010). A partir de 2013 houve uma mudança no cenário fitossanitário nacional com a detecção da lagarta *Helicoverpa armígera* no Brasil (CZEPAK et al., 2013; SPECHT et al., 2013). Desde, então inúmeras aplicações de inseticidas foram realizadas para o controle desta praga. Em Santa Catarina foi constatado o uso de inseticidas com base em um calendário de aplicações, independente da sua ocorrência, sendo utilizados

principalmente inseticidas do grupo dos piretróides, espinosinas e diamidas (CIDASC, 2014). Esta prática aumenta os riscos de evolução da resistência de insetos a inseticidas (GEORGHIOU, 1986; SOSA-GÓMES; OMOTO, 2012).

A constante pressão de seleção exercida pelos inseticidas sobre a população de insetos aumenta a frequência dos indivíduos resistentes causando falhas no controle da praga (SOSA-GÓMES; OMOTO, 2012). As falhas no controle de insetos provocam inúmeras consequências como o aumento do risco de contaminação ambiental, intoxicações do homem, insegurança alimentar e aumento do custo de produção, que se deve ao aumento no número de aplicações de inseticidas, aumento da dose, uso de misturas que podem refletir em resistência cruzada e pôr fim, a substituição por novas moléculas inseticidas (GEORGHIOU, 1986).

Evitar a seleção de linhagens resistentes é o maior desafio dos programas de controle de pragas com inseticidas químicos, desta forma, estudos de monitoramento da resistência são essenciais para a formulação de estratégias de manejo da resistência e detectar a ocorrência de indivíduos resistentes dentro de uma população (TABASHNIK et al., 1993; SIEGFRIED et al., 2000; SPARKS, 2013).

A estrutura genética e a variabilidade molecular de populações de *C. includens* oriundas de oito estados brasileiros indicam a existência de alto fluxo gênico e baixa diferenciação entre populações, possibilitando a rápida disseminação de alelos raros e de baixa frequência, como exemplo, os alelos de resistência a inseticidas (PALMA et al., 2015). No mundo já foram documentados vários casos de resistência de *C. includens* a inseticidas, tais como acefato, BHC, DDT, cipermetrina, deltametrina, permetrina, teflutrim, fenvalerato, metomil, paratiom metílico, tiodicarbe e flubendiamida (MASCARENHAS; BOETHREL, 2000; OWEN, 2013; APRD-IRAC, 2018). No Brasil estudos indicam a existência de variabilidade intraespecífica da suscetibilidade de populações de *C. includens* ao inseticida flubendiamida (WILLE, 2016; SCHNEIDER; SOSA-GÓMEZ, 2016)

Assim, esse trabalho teve por objetivo determinar a linha básica de suscetibilidade de *C. includens* a inseticidas do grupo químico das diamidas, espinosinas e carbamatos e definir concentrações diagnósticas para programas de monitoramento da resistência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS BIOECOLÓGICOS DE *C. includens* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

A lagarta-falsa-medideira *C. includens* é um inseto polífago que se encontra distribuída por toda a América. Sua importância se deve ao grande número de hospedeiros, que somam cerca de 175 espécies de plantas, entre elas soja, algodão, feijão, fumo, girassol e hortaliças (BERNARDI, 2012; BALDIN et al., 2014; SPECHT, et al., 2015).

Na fase adulta as mariposas apresentam 35 mm de envergadura de asas, dispostas de forma inclinada, possuem cor marrom ou cinza e com duas manchas prateadas brilhantes na parte central das asas anteriores, e as asas posteriores são de coloração marrom, a longevidade dos adultos é de 15 dias (GALLO et al., 2002). A postura é individualizada na parte inferior das folhas, os ovos são globulares com diâmetro de 0,5 mm, apresentam inicialmente coloração creme-clara e marrom-clara no período próximo à eclosão. O período de incubação é cerca de 2,5 dias (MASCARENHAS; PITRE, 1997).

As lagartas possuem coloração verde-clara, com listras brancas longitudinais e pontuações pretas sobre o dorso, atingindo até 40 a 45 mm de comprimento. Apresentam três pares de pernas abdominais, desta forma ao se deslocar parecem estar medindo palmos (SOSA-GÓMEZ et al., 2014). Observa-se durante todo o período larval de *C. includens*, a ocorrência de lagartas dessa espécie alimentando-se frequentemente do terço inferior das plantas de soja (HERZOG, 1980; GUEDES et al., 2014). Nos dois primeiros instares as lagartas apenas raspam as folhas, já no terceiro instar conseguem perfurá-las, deixando as nervuras intactas, gerando o aspecto de folhas rendilhadas (BUENO et al., 2007; HERZOG, 1980). A duração do estágio larval é de 13 a 20 dias (GALLO et al., 2002).

A pupa inicialmente tem coloração verde-clara brilhante que se mantém até 48 horas antes da emergência, quando adquire coloração marrom-escura, sendo possível ver as estruturas do adulto. O período pupal dura de sete a nove dias até a emergência dos adultos. (SOSA-GÓMEZ et al., 2014).

Até o final dos anos 90, *C. includens*, era considerada uma praga secundária da cultura da soja, principalmente por ser controlada naturalmente por fungos entomopatogênicos como *Nomuraea rileyi*, *Pandora* sp. e *Zoophthora* sp, dípteros da

família Tachinidae e himenópteros da família Ichneumonidae (MORAES et al., 1991; MOSCARDI; CARVALHO, 1993). Porém, surtos populacionais começaram a ocorrer após a safra 2003/04 nos Estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Paraná, uma hipótese para justificar esses surtos é a entrada da ferrugem asiática *Phakopsora pachyrhizi* no Brasil em 2000, que devido as aplicações de fungicidas de amplo espectro para o controle desta doença também reduziu a ocorrência dos fungos entomopatogênicos, controladores de *C. includens*. Atualmente a lagarta-falsa-medideira é considerada praga-chave em todos os estados produtores de soja do Brasil, representando um grave problema fitossanitário (BERNARDI, 2012; BALDIN et al., 2014; SPECHT et al., 2015; WILLE, 2016).

Quando o nível de controle desta praga é alcançado, o método de controle mais utilizado é por meio de inseticidas químicos, devido a facilidade de aplicação. Entretanto, devido hábito que a lagarta *C. includens* tem de se alojar e se alimentar do terço inferior da planta, próximo ao solo, há dificuldade no controle químico (GUEDES et al., 2014). Práticas utilizadas pelos sojicultores, como o uso de inseticidas de amplo espectro de ação em mistura com herbicidas e/ou fungicidas tem gerado desequilíbrios no ecossistema agrícolas causando problemas sérios relacionados ao controle insetos, pelo aumento da frequência de pragas resistentes a certos ingredientes ativos, redução das populações de inimigos naturais, além do impacto ambiental causado pelo uso incorreto desses produtos como a contaminação de fluxos de água e mamíferos (MOSCARDI, 2012).

2.2 CONTROLE QUÍMICO

Para o controle de insetos-praga deve-se seguir os princípios estabelecidos pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP) que integra diversos métodos de controle com a finalidade de otimizar o reestabelecimento do equilíbrio do ecossistema agrícola, sendo eles: controle mecânico, físico, biológico e químico (KOGAN, 1998; PROKOPY; KOGAN, 2003).

O controle químico tem sido um dos métodos mais utilizado no controle de insetos-praga, principalmente de lepidópteros-pragas na cultura da soja. Devido a inicial eficiência de controle e facilidade de aplicação (PICANÇO, 2010; WERMELINGER; FERREIRA, 2013). Para o controle de *C. includens*, na cultura da soja, estão registrados 87 produtos comerciais com diferentes modos de ação, sendo

os principais grupos químicos piretróides, organofosforados, carbamatos, espirosinas e diamidas que representam 41%, 11,5%, 17%, 3,4%, 10,3% respectivamente (AGROFIT, 2018).

Os piretróides atuam como moduladores dos canais de sódio, quando absorvido causa aumento da irritabilidade do inseto seguido de paralização e morte. Já os organofosforados atuam como inibidores de acetilcolinesterase (AChE) que resulta no acúmulo de Acetilcolina na sinapse causando hiperexcitabilidade que leva a um colapso do sistema nervoso central e morte. (SPARKS; NAUEN, 2015). Ambos inseticidas apresentam amplo espectro de ação, baixo custo, e são capazes de controlar populações de pragas em estádios mais avançados de desenvolvimento (SOSA-GÓMEZ, 2000).

Derivado do ácido carbâmico, os carbamatos foram sintetizados e comercializados a partir de 1950, sendo metomil um dos mais utilizados no mundo. Os inseticidas deste grupo atuam na inibição da enzima AChE, provocando estimulação contínua do músculo que leva à exaustão e espasmos musculares (SANCHES, 2003; SPARKS; NAUEN, 2015).

As espirosinas são provenientes da fermentação de um actinomiceto do solo, *Saccharopolyspora spinosa*, que produz moléculas com atividade inseticida (SPARKS et al., 1995). Espinosade foi o primeiro inseticida comercial do grupo das espirosinas, tendo em sua composição espinosina A e D. (SPARKS et al., 1998). Espinetoram é o inseticida mais recente grupo e é resultado da fermentação de uma linhagem mutante de *S. spinosa*, possuindo maior atividade inseticida (HUANG et al., 2009). As espirosinas atuam nos receptores nicotínicos de acetilcolina, provoca excitação do sistema nervoso dos insetos, contrações musculares involuntárias, paralisia e morte (IRAC, 2018). Apresentam baixos níveis de toxicidade a mamíferos (SPARKS et al., 1998).

As diamidas foram descobertas na casca da planta nativa da América do Sul *Ryania speciosa* e a propriedade inseticida da planta foi patenteada em 1946. Mas somente em 2005 foi lançado o primeiro inseticida do grupo das diamidas, denominado flubendiamida, derivado do ácido ftálico sendo registrado no Brasil em 2009 (KUSHNIR; MARKS, 2012). Os inseticidas deste grupo químico atuam como moduladores de receptores de rianodina, ou seja, ligam-se aos receptores de rianodina das células musculares dos insetos mantendo o canal aberto, isso provoca saída excessiva de cálcio (Ca⁺²) do interior da célula levando a paralisia muscular e

morte do inseto, tendo alta eficiência no controle de lagartas (CORDOVA, et al., 2006). Posteriormente as diamidas foram otimizadas, com o desenvolvimento das diamidas antranílicas que possuem o ftálico 2-metil-4trifluorometil, apresentando maior atividade inseticida e segurança alimentar formado o princípio ativo clorantraniliprole. Recentemente foi lançado comercialmente o ingrediente ativo ciantraniliprole, pertencendo as diamidas antranílicas, com eficiência também no controle de insetos sugadores (LAHM et al., 2007; HANNIG et al., 2009).

O processo de pesquisa para a descoberta de novos produtos inseticidas depende de tempo e elevados recursos financeiros. Desta forma, há grande preocupação em relação a evolução da resistência de insetos a inseticidas (MCDUGALL, 2005; SPARKS; NAUEN, 2015). A evolução da resistência é afetada pelo uso de doses acima das recomendadas pela bula, o elevado número de aplicações, a falta de rotação de produtos com diferentes mecanismos de ação, mistura de produtos e aplicação em condições climáticas desfavoráveis. Essas ações, além de diminuir a eficiência do produto e aumentar a ocorrência de populações de insetos resistentes a inseticidas podem contaminar o ambiente, prejudicar a saúde dos produtores rurais e consumidores além de comprometer a eficácia do controle biológico natural causando problemas como a ressurgência de pragas (CRUZ, 2002; OLIVEIRA, 2008).

2.3 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE INSETOS A INSETICIDAS

Tem sido significativo os avanços nos programas de manejo integrado de pragas, entretanto o principal manejo utilizado continua sendo por meio de inseticidas, o que potencializou o desenvolvimento da resistência de algumas espécies de insetos às principais classes de inseticidas (YU et al., 2003). Entre os fatores responsáveis pelo desenvolvimento da resistência, destacam-se a frequente aplicação de inseticidas com os mesmos modos de ação, o estabelecimento de calendários de aplicação sendo feitas aplicações antes do inseto-praga alcançar o nível de dano econômico e os componentes relativos à herança dessa resistência (GEORGHIOU; SAITO, 1983). A falha no controle de pragas, reflete em maior contaminação ambiental, morte de inimigos naturais e elevação nos custos de controle de pragas. (GEORGHIOU; SAITO, 1983).

São considerados resistentes, os indivíduos capazes de suportar doses toxicológicas letais para a maioria da população da mesma espécie (suscetível). A evolução da resistência tem como base o processo da Teoria de Seleção Natural, decorrente da pressão contínua de seleção imposta pelo uso intenso de inseticidas, limitando a eficiência e viabilidade desses tóxicos a longo prazo (MARTINELLI et al., 2006). O objetivo do manejo da resistência é retardar ou reverter o processo de evolução da resistência de pragas a inseticidas e o sucesso dessa estratégia depende da eficiência em detectar e monitorar a resistência em populações de pragas no campo (BUSH et al 1993; OMER et al., 1993).

Os fatores que afetam a evolução da resistência podem ser agrupados em fatores genéticos, biológicos e operacionais.

Os fatores genéticos são constituídos pelo padrão de herança da resistência (número e dominância do alelo resistente), frequência inicial dos alelos resistentes, e custo adaptativo em relação à resistência. A rapidez da evolução da resistência é proporcional a frequência inicial dos alelos resistentes (ROUSH; MCKENZIE, 1987). Os indivíduos resistentes são menos adaptados que os suscetíveis por isso a frequência inicial de alelos dentro da população é baixa, entretanto quando a pressão de seleção é intensa esse valor tende a aumentar (CRUZ, 2002).

Os fatores biológicos e ecológicos afetam consideravelmente a evolução da resistência e referem-se às características bióticas (número de gerações por ano, descendentes por geração, tipo de reprodução) e comportamentais (capacidade de dispersão, hábito alimentar, sobrevivência, diapausa) Quanto maior o número de gerações da praga por ano e número de descendentes mais rápida a evolução da resistência por estarem sofrendo maior pressão de seleção (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977).

Os fatores operacionais são os únicos que podem ser controlados pelo homem. São referentes as características do inseticida como persistência, época de aplicação, seletividade a inimigos naturais, modo de ação, dose e número de aplicações. A utilização recorrente de um mesmo inseticida leva ao estabelecimento de indivíduos resistentes dentro de uma população (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977).

Quanto aos principais mecanismos responsáveis pela resistência a inseticidas pelos insetos são o aumento da atividade metabólica, a alteração do sítio alvo e a redução na penetração, sendo observados também, casos de resistência comportamental (ISHAAYA, 2001).

O mecanismo mais comum é o aumento da atividade metabólica. Esse mecanismo ocorre por meio da aceleração do metabolismo por ação enzimática. Os insetos resistentes transformam compostos tóxicos em menos tóxicos de forma mais rápida que insetos suscetíveis, desta forma eliminando mais rapidamente os compostos inseticidas. Todos os insetos usam seu sistema enzimático para quebrar ou sequestrar compostos estranhos, incluindo os inseticidas (IRAC, 2007).

A resistência ao sítio alvo ocorre em insetos que possuem alelos resistentes promovendo alteração do sítio receptor. A modificação no receptor inibe a interação normal do inseticida com o sítio alvo inibindo a ação tóxica do composto. Compostos de qualquer um dos diferentes grupos de mecanismo de ação são todos geralmente afetados, em diferentes níveis pela resistência ao sítio alvo (ISHAAYA, 2001).

A redução na penetração é caracterizada pela absorção mais lenta do inseticida, devido a uma modificação na cutícula, dificultando a absorção. De modo geral, esse mecanismo fornece pouca proteção ao inseto, mas quando associado a outro mecanismo de resistência pode ter papel significativo (IRAC, 2007).

Na resistência comportamental o inseto é capaz de evitar ou minimizar o contato com inseticidas através da repelência. Os insetos podem simplesmente parar de se alimentar se forem expostos ao inseticida ou deixam a área onde a pulverização ocorreu, se locomovem para a face não tratada da folha ou partes da planta que não foram cobertas pela pulverização. O manejo da resistência a inseticidas deve basear-se na diminuição do seu uso para prolongar a eficácia desses produtos, visando reduzir a pressão de seleção por indivíduos resistentes. O agravamento da situação leva à substituição de um inseticida por outro, que geralmente é de maior custo e menos compatível com outras medidas de controle, além dos impactos negativos sobre o homem, outros animais e o ambiente (CRUZ, 2002).

Desta forma, para impedir a evolução da resistência de insetos a inseticidas é essencial realizar o monitoramento da resistência nas populações de campo. Com o monitoramento é possível identificar os ingredientes ativos e em quais regiões ocorrem falhas de controle permitindo definir as futuras estratégias de ação.

Para estabelecer o programa de manejo de resistência é necessário o desenvolvimento de dados da linha básica de suscetibilidade, que irão detectar alterações na suscetibilidade. Posteriormente, são determinadas as linhas discriminatórias com a exposição das populações de campo aos inseticidas, havendo a possibilidade da presença de indivíduos com alelos de resistência. Nos casos em

que a frequência de resistência ainda é baixa, o método da concentração diagnóstica pode ser mais eficiente (ROUSH; MILLER, 1986).

Embora sejam recomendados uma ampla gama de inseticidas para o controle de *C. includens*, observa-se baixa eficiência dos produtos no controle desta praga. No mundo já foram documentados vários casos de resistência de *C. includens* a acefato, BHC, DDT, cipermetrina, deltametrina, permetrina, teflutrim, fenvalerato, metomil, paratiom metílico, tiodicarbe e flubendiamida (OWEN, 2013; WILLE, 2016; APRD-IRAC, 2018). Sendo essa uma importante razão para insucessos no controle que acarretam em maior custo de produção devido à baixa eficiência do produto utilizado.

Assim, para o sucesso do manejo da resistência, recomenda-se empregar de maneira conjunta os controles cultural, biológico e comportamental e realizar o controle com inseticidas apenas quando a praga atinge o nível de controle e com a dose recomendada (CRUZ, 1995; CRUZ, 2002).

2.4 DETECÇÃO E MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA

As alterações na suscetibilidade de populações praga, antes que a frequência crítica de resistência seja atingida, torna o monitoramento de pragas à ferramenta mais importante para orientar a tomada de decisão de controle e principalmente retardar a evolução da resistência (ROUSH; MILLER, 1986).

Segundo French-Constant; Roush (1990), a resistência a inseticidas tem sido detectada e monitorada através de caracterizações de linhas-básicas de suscetibilidade de populações de campo obtidas por meio da regressão de Probit. A caracterização da linha básica permite calcular a razão de resistência e comparar estatisticamente as CL_{50} e os coeficientes angulares obtidos. No entanto, caracterizar linhas-básicas de suscetibilidade permite distinguir fenótipos resistentes em populações naturais quando estes já estão em alta frequência, logo esta abordagem não é sensível para detectar indivíduos resistentes quando são raros na população. Considerando que no início da evolução da resistência, estima-se que a frequência de alelos de resistência em uma população seja baixa, na ordem de 10 a 100 (ROUSH; MCKENZIE, 1987), recomenda-se a determinação e o uso de concentrações diagnósticas se possível discriminatórias, as quais são testados um número maior de insetos somente nas concentrações mais informativas sobre as alterações dos fenótipos resistentes em populações naturais.

Inúmeros métodos são utilizados para o monitoramento da resistência de insetos a inseticidas, dentre as quais se destacam os fenotípicos e genotípicos. Os métodos fenotípicos são eficientes para o monitoramento da resistência de alelos aditivos ou dominantes em alta frequência na população natural (ANDOW, 2008). Contudo, programas de manejo da resistência são mais efetivos quando implementados de modo preventivo, ou seja, no início da evolução da resistência, (ROUSH; MCKENZIE, 1987), sendo assim, se o objetivo é estimar a frequência inicial de alelos resistentes em populações de campo os métodos genotípicos tais como o “F1 Screen” ou “F2 Screen” (ANDOW; ALSTAD, 1998) são mais apropriados. No entanto, o método “F2 Screen” se comparado ao “F1 Screen” apesar de trabalhoso e de alto custo, dispensa o uso de linhagem resistente, utiliza um número reduzido de insetos amostrados, sendo considerado o único método sensível e capaz de em pouco tempo estimar variações na frequência de um alelo recessivo ou parcialmente recessivo mesmo quando sua frequência inicial é baixa (ANDOW; ALSTAD, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE *C. includens*

A população suscetível de referência (SUSCI) foi proveniente do Laboratório de Pesquisa da empresa PROMIP LTDA. coletada no município de Mogi Mirim/SP em dezembro de 2015. Essa população vem sendo mantida em laboratório por várias gerações na ausência de pressão de seleção com inseticidas.

As demais populações de *C. includens* foram coletadas em lavouras comerciais de soja convencional na safra 2016/2017 e 2017/2018 nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (Quadro 1).

Quadro 1 - Populações de *C. includens* coletadas em lavouras de soja.

Safra	Estado	Localização	Latitude	Longitude	Data de Coleta
2016/17	SC	Petrolândia	27°29'48,71"	49°41'5,20"	23/01/2017
	RS	Santa Maria	29°41'03"	53°48'25"	20/02/2017
2017/18	SC	Ituporanga	27°26'56,6"	49°24'54,5"	09/02/2018
	SC	Joaçaba	27°13'10,6"	51°32'12,1"	19/02/2018
	SC	São José do Cerrito	27°42'23,5"	50°36'37,9"	21/02/2018
	SC	Três Barras	26°10'32,0"	50°14'27,4"	27/02/2018
	SC	Vargeão	26°52'57,7"	52°11'15,8"	05/03/2018
	SC	Campo Belo	27°53'56,6"	50°40'13,6"	07/03/2018
	RS	Vacaria	28°27'38,4"	51°03'53,1"	22/02/2018
PR	Londrina	23°02'45"	51°12'58"	01/03/2018	

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em cada local foram coletadas, utilizando pano de batida, aproximadamente 500 lagartas que foram acondicionadas em potes plásticos contendo folhas de soja. No laboratório, foram individualizadas em potes plásticos contendo dieta artificial adaptada de Greene (1976) (Quadro 2).

3.2 CRIAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE *C. includens*

Os adultos de *C. includens* foram acondicionados em gaiola confeccionada por tudo de PVC (policloreto de vinila) (20 cm de diâmetro e 20 cm de altura) com 15 casais por gaiola. A gaiola de criação foi revestida com papel sulfite como substrato

de oviposição e a face superior fechada com tecido *voile*. A alimentação foi fornecida por meio de três placas de petri (5 cm), a primeira contendo algodão embebido apenas em água destilada, a segunda contendo algodão embebido em solução de mel a 10% com adição de 1% de ácido sórbico e nipagin e a terceira contendo algodão embebido em solução de mel e cerveja na proporção de 3:2. A manutenção dos adultos foi realizada a cada dois dias sendo substituída a alimentação e o substrato de oviposição.

Quadro 2 - Composição da dieta artificial utilizada para a criação artificial de *C. includens*.

Ingredientes	Quantidade
Água destilada	2 Litros
Feijão carioca	150 g
Germe de trigo	120 g
Farelo de soja	60 g
Caseína	60 g
Levedura	75 g
Caragininina	35 g
Ácido ascórbico	7,92 g
Ácido sórbico	3,96 g
Nipagin	6,6 g
Tetraciclina	0,72 g
Solução vitamínica ¹	20 ml
Formaldeído (40%)	8 ml

Fonte: Adaptada de Greene et al. (1976).

¹Composição da solução vitamínica: Parra (2010).

As áreas do substrato de oviposição contendo ovos foram recortadas e fixadas em potes plásticos (145 mL) contendo dieta artificial adaptada de Greene (1976). As lagartas foram mantidas nessas condições até o terceiro instar.

Após esse período, três lagartas foram transferidas para copos plásticos de 50 mL vedados com tampa de acrílico, contendo cerca de 10 mL de dieta artificial, até o período de pupa. As pupas obtidas foram retiradas manualmente, desinfetadas em solução de sulfato de cobre a 1% e acondicionadas em placas de petri forradas com papel filtro umedecido com água destilada.

As placas com pupas foram acondicionadas em caixas plásticas transparentes com capacidade de 35 litros. Após a emergência, os adultos foram mantidos nessa

condição por 3 dias com alimentação disponível. Posteriormente os adultos foram transferidos para os tubos de PVC. A criação foi mantida em sala climatizada regulada à temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase 14h.

3.3 INSETICIDAS

Para os bioensaios de caracterização e monitoramento da suscetibilidade de *C. includens* a inseticidas foram utilizados cinco ingredientes ativos de inseticidas comerciais dos grupos químicos diamidas, espirosinas e carbamatos (Quadro 3).

Quadro 3 - Descrição comercial dos produtos.

Grupo químico	Nome técnico	Nome comercial	Formulação	i.a.(gL ⁻¹)	Fabricante
Diamidas	Flubendiamida	Belt®	Suspensão concentrada	480	Bayer S.A.
	Clorraniliprole	Premio®	Suspensão concentrada	200	DuPont S.A.
	Ciantraniliprole	Benevia®	Suspensão concentrada	100	DuPont S.A.
Espinosinas	Espinetoram	Exalt®	Suspensão concentrada	120	Dow AgroSciences Ltda.
Carbamato	Metomil	Lannate®	Concentrado solúvel	215	DuPont S.A.

Fonte: Agrofit (2018).

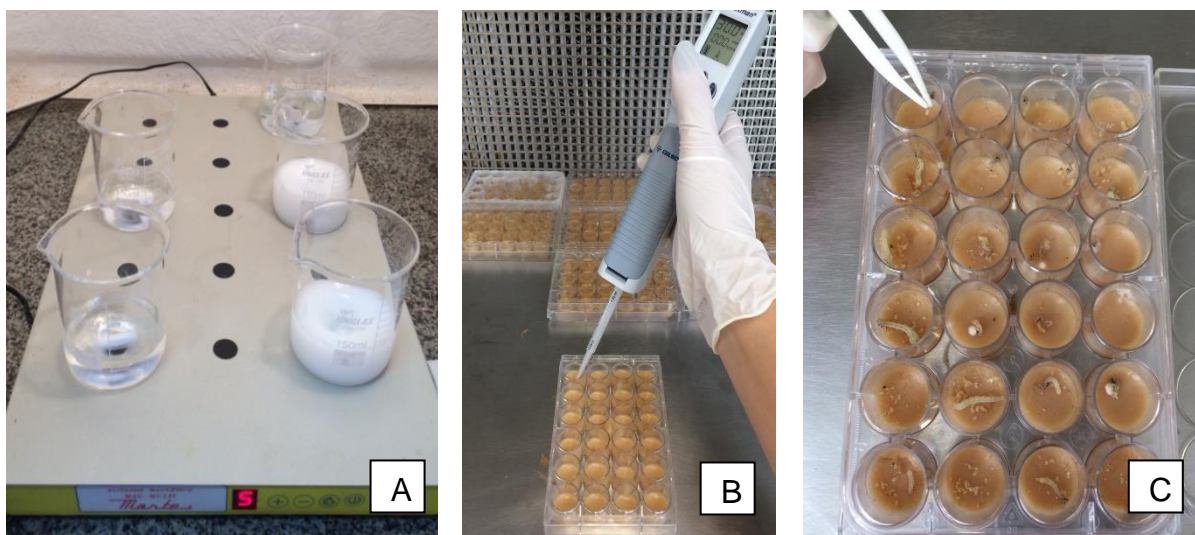
3.4 PROCEDIMENTO DE BIOENSAIO DE *C. includens* A INSETICIDAS

O método de bioensaio adotado foi do tipo ingestão com aplicação superficial em dieta. O inseticida comercial foi diluído em água destilada e adicionado 0,1% de surfactante (Triton®, Labsynth produtos para laboratórios Ltda.). Foram aplicados 30 µL da solução inseticida por célula, em placas de acrílico de 24 células (Costar®, modelo 3526, Cambridge, Massachusetts, EUA) contendo cerca de 1,2 mL de dieta artificial. O tratamento testemunha foi composto apenas por água destilada e surfactante a 0,1%.

Após a secagem da solução inseticida nas placas em câmara de fluxo laminar foram transferidas lagartas de terceiro instar, individualizadas, em cada célula com o

auxílio de uma pinça. As placas foram mantidas em câmaras climatizadas com temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$ e fotofase de 14h. A avaliação da mortalidade foi realizada após 72 horas para os inseticidas do grupo químico das espirosinas e carbamatos (MASCARENHAS; BOETHREL, 2000; CESSA et al., 2013) e 96 horas para os inseticidas do grupo das diamidas (OWEN et al., 2013). Quanto ao critério de mortalidade adotado, os indivíduos sem movimento aparente após serem tocados nos últimos segmentos abdominais com um pincel foram considerados mortos.

Figura 1 - Detalhes do método de bioensaio de ingestão. A) Diluição do inseticida; B) Aplicação do inseticida na placa de bioensaio; C) Inoculação de lagartas de 3º instar.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE *C. includens* A INSETICIDAS.

Para a caracterização da suscetibilidade foram utilizadas as populações SUSCI (> F₂₀), Ituporanga, Londrina e Santa Maria (F3 a F5). Cada população foi submetida de seis a oito concentrações de cada inseticida distribuídas em escala logarítmica proporcionando mortalidade entre 5 e 99%. Foram feitas quatro a seis repetições por concentração, com 24 lagartas por repetição.

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit pelo programa SAS (SAS Institute 2009) para estimar os valores de concentração letal (CL₅₀ e CL₉₉) e intervalos de confiança (IC 95%). Diferença na suscetibilidade entre as populações para cada inseticida foi avaliada pela sobreposição dos intervalos de confiança. A

razão de resistência foi calculada pela divisão entre a CL₅₀ ou CL₉₉ da população testada pela CL₅₀ ou CL₉₉ da população SUSCI.

3.6 MONITORAMENTO DA SUSCETIBILIDADE DE *C. includens* A INSETICIDAS.

O monitoramento da suscetibilidade de *C. includens* a inseticidas foi realizado após a coleta de populações na safra 2016/17 e 2017/18. A suscetibilidade foi avaliada em lagartas mantidas em laboratório até a geração F3. A concentração diagnóstica utilizada foi definida com base na CL₉₉ da população SUSCI de cada inseticida testado.

O delineamento adotado foi inteiramente casualizado com vinte repetições. Cada repetição foi constituída por uma placa de acrílico com 24 células. Em cada célula foi individualizada uma lagarta de terceiro instar, totalizando 480 lagartas por tratamento. Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE *C. includens* A INSETICIDAS.

Os dados de caracterização da suscetibilidade de todas as populações de *C. includens* aos ingredientes ativos ciantraniliprole, clorantraniliprole, flubendiamida, espinetoram e metomil, adotando o método do bioensaio de ingestão com tratamento superficial da dieta artificial, se adequaram ao modelo de probit. Todos os valores de χ^2 calculados foram inferiores aos valores de χ^2 tabelados ($P > 0,05$) (ROBERTSON; PREISLER, 1992).

As CL_{50} estimadas de *C. includens* para ciantraniliprole variaram entre 0,12 a 0,49 $\mu\text{g i.a./cm}^2$ (Tabela 1). Para esse inseticida a população coletada em Londrina, PR foi mais suscetível que a população suscetível de referência (SUSCI), diferindo estatisticamente entre si. Para as demais populações houve sobreposição dos intervalos de confiança das CL_{50} . Com base nas CL_{99} que variaram entre 8,04 e 47,86 $\mu\text{g i.a./cm}^2$ também houve diferenças entre as curvas dose-respostas das populações testadas.

As CL_{99} das populações SUSCI e Santa Maria, RS não diferiram entre si e apresentaram menor suscetibilidade que as demais populações. Diferentemente, a população Londrina apresentou maior CL_{99} , não diferindo da população de Ituporanga, SC, com razão de resistência estimada entre 6,0 e 5,7 vezes respectivamente. Essa heterogeneidade intraespecífica também pode ser observada pelo baixo valor do coeficiente angular (0,9 e 1,01) observada nas populações de campo. Esses resultados podem indicar início da evolução da resistência a esse ingrediente ativo, com aumento da frequência de biótipo resistente.

Populações resistentes a ciantraniliprole das espécies de *Tuta absoluta* e *Plutella xylostella* foram encontradas na China e na região nordeste do Brasil. Apesar de ser um dos mais novos inseticidas disponíveis no mercado estudos confirmam a ocorrência de resistência cruzada entre ciantraniliprole e as demais diamidas disponíveis no mercado (clorantraniliprole e flubendiamida) (FERREIRA et al., 2013; LIU et al., 2015; SILVA et al., 2016; RIBEIRO et al., 2017). Mesmo existindo diferença entre as estruturas químicas destas moléculas, as diamidas possuem o mesmo modo

de ação. Desta forma, deve-se evitar a rotação entre esses inseticidas (LAHM et al., 2007).

Tabela 1 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo ciantraniliprole.

População	N ^a	Coef. angular (±EPM) ^b	CL ₅₀ (IC 95%)	R.R ^d a CL ₅₀	CL ₉₉ (IC 95%)	R.R ^d a CL ₉₉	χ ²	G.L ^c
SUSCI	528	1,76±0,23	0,39 (0,25 - 0,52)		8,04 (5,07 - 16,77)		7,23	5
Santa Maria	576	1,70±0,18	0,49 (0,35 - 0,64)	1,3	11,45 (7,27 - 22,38)	1,4	5,55	4
Londrina	552	0,90±0,08	0,12 (0,07 - 0,19)	0,3	47,86 (22,72 - 134,28)	6,0	5,85	4
Ituporanga	408	1,01±0,11	0,23 (0,14 - 0,34)	0,6	45,68 (19,64 - 167,63)	5,7	4,43	3

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

^aNúmero de indivíduos testados. ^bEPM desvio padrão da média. ^cGraus de liberdade. ^dRazão de resistência, obtida pela divisão do valor da CL de cada população pelo valor da CL de SUSCI, a CL₅₀ ou CL₉₉.

Os valores de CL₅₀ observados nas diferentes populações para o inseticida clorantraniliprole variaram de 0,08 a 0,20 µg i.a./cm². Para os valores da CL₉₉ a amplitude de resultados foram 9,77 a 78,04 µg i.a./cm². Com base na CL₅₀, apenas a população de Londrina diferiu da população SUSCI e apresentou razão de resistência de 2,5 vezes. Na população de Ituporanga a CL₅₀ não diferiu da CL₅₀ da população SUSCI. Porém na CL₉₉ não houve sobreposição entre os intervalos de confiança. Para essa população a razão de resistência estimada foi de 5,4 vezes (Tabela 2).

Resultados similares foram observados por Ribeiro (2014) em populações de *Spodoptera frugiperda* coletadas no Brasil, sendo que essas populações apresentaram alta suscetibilidade a clorantraniliprole. O inseticida clorantraniliprole comumente apresenta maior efetividade no controle de *C. includens* quando comparado com flubendiamida, esses resultados corroboram com os encontrados por Owen (2013) e Schneider; Sosa-Gómez (2016) que observaram uma menor variação nos valores de concentrações-resposta para esse inseticida.

Entretanto, deve-se considerar a existência de resistência cruzada entre inseticidas do grupo químico das diamidas, observada em outras espécies de insetos

da ordem Lepidoptera, exigindo contínuo acompanhamento da variação da suscetibilidade entre populações para evitar fracassos no controle (FERREIRA et al. 2013; GONG, et al., 2014; RODITAKIS et al., 2015; SILVA et al., 2016). Wang et al. (2013) estudou populações de *P. xylostella* resistentes a clorantraniliprole e observou que a ação de enzimas do complexo das monoxigenases do citocromo P450, glutatona S-transferase e esterases eram responsáveis pela resistência desses indivíduos a clorantraniliprole. Outra razão para a resistência seria uma mutação no sítio de ação dos receptores de rianodina (GONG et al., 2014).

Tabela 2 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo clorantraniliprole.

População	N ^a	Coef. angular (±EPM) ^b	CL ₅₀ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₅₀	CL ₉₉ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₉₉	χ ²	G.L. ^c
SUSCI	912	1,13±0,07	0,08 (0,06 - 0,11)		14,39 (8,70 – 27,14)		5,39	5
Santa Maria	480	1,18±0,10	0,11 (0,07 - 0,15)	1,4	9,77 (5,45 – 21,43)	0,7	7,67	4
Londrina	552	1,24±0,11	0,20 (0,14 – 0,26)	2,5	15,23 (8,78 – 32,33)	1,1	5,55	4
Ituporanga	552	0,80±0,08	0,10 (0,06 – 0,15)	1,3	78,04 (29,77 – 319,36)	5,4	4,48	5

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

^aNúmero de indivíduos testados. ^bEPM desvio padrão da média. ^cGraus de liberdade. ^dRazão de resistência, obtida pela divisão do valor da CL de cada população pelo valor da CL de SUSCI, a CL₅₀ ou CL₉₉.

Para o inseticida flubendiamida as CL₅₀ variaram de 0,05 a 0,61 µg i.a./cm² e as CL₉₉ variaram de 0,48 a 56,50 µg i.a./cm². As populações de Londrina e Ituporanga diferiram estatisticamente da população SUSCI e Santa Maria. Com base na CL₅₀ a razão de resistência estimada foi de 6,8 e 12,2 vezes respectivamente. Enquanto, que com base na CL₉₉ a razão de resistência estimada foi de 61,7 e 117,7 vezes respectivamente (Tabela 3).

Os baixos valores de coeficiente angular observados nas populações de Londrina e Ituporanga indicam heterogeneidade na população comparado aos coeficientes angulares das populações SUSCI e Santa Maria. A magnitude da

resistência observada (> 61 vezes com base na CL₉₉) indica a existência de indivíduos resistentes nessas populações que pode explicar a heterogeneidade da resposta.

Tabela 3 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo flubendiamida.

População	N ^a	Coef. angular (±EPM) ^b	CL ₅₀ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₅₀	CL ₉₉ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₉₉	χ ²	G.L. ^c
SUSCI	552	2,47±0,26	0,05 (0,05 - 0,06)		0,48 (0,35 - 0,75)		2,31	3
Santa Maria	624	2,28±0,26	0,06 (0,05 - 0,08)	1,2	0,66 (0,48 - 1,09)	1,4	7,38	4
Londrina	528	1,20±0,14	0,34 (0,22 - 0,47)	6,8	29,59 (15,59 - 78,84)	61,7	3,01	4
Ituporanga	576	1,19±0,13	0,61 (0,38 - 0,85)	12,2	56,50 (29,19 - 149,74)	117,7	6,87	5

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

^aNúmero de indivíduos testados. ^bEPM desvio padrão da média. ^cGraus de liberdade. ^dRazão de resistência, obtida pela divisão do valor da CL de cada população pelo valor da CL de SUSCI, a CL₅₀ ou CL₉₉.

Owen (2013) e Schneider; Sosa-Gómez (2016) observaram populações de *C. includens* coletadas em diversos estados do Brasil e no Mississippi, EUA, respectivamente que apresentaram ampla magnitude dos valores de concentrações resposta. Já foram relatados casos de resistência a flubendiamida no mundo, em mais de oito espécies de insetos com destaque para a espécie *P. xylostella* que já apresentou razão de resistência maior que 500 mil vezes em populações coletadas no estado de Pernambuco, Brasil (RIBEIRO et al., 2017; APRD – IRAC, 2018). De acordo com Troczka et al. (2012) a alta razão de resistência de *P. xylostella* com diamidas se deve a plasticidade genética desse inseto associada a contínua pressão de seleção. Wang et al. (2013) observou populações de *P. xylostella* coletadas no sul da China que apresentaram resistência cruzada entre as diamidas flubendiamida e clorantraniliprole com razão de resistência variando entre 15 e 1.150 vezes.

Wille (2016) estudou populações de *C. includens* também coletadas no estado de Santa Catarina, Brasil que apresentaram valores de razão de resistência de até 15 vezes indicando início da evolução da resistência. Comparando com os resultados

obtidos no presente estudo pode-se presumir que ocorreu um rápido incremento na razão da resistência ao inseticida flubendiamida. O alto fluxo gênico e capacidade de dispersão observado na espécie *C. includens* pode explicar esse incremento da razão de resistência (PALMA et al., 2015). Desta forma, será importante a adoção de medidas de controle fitossanitário regional para o manejo da resistência de *C. includens* (SPECHT et al., 2015; BALDIN et al., 2014; PALMA et al., 2015).

Os valores de CL_{50} obtidos nas diferentes populações para o inseticida espinetoram variaram de 0,005 a 0,05 $\mu\text{g i.a./cm}^2$. Com base na CL_{99} a amplitude dos resultados foi de 0,13 a 2,41 $\mu\text{g i.a./cm}^2$ (Tabela 4). Com base na CL_{50} apenas a população de Ituporanga não apresentou sobreposição nos valores de intervalo de confiança em relação as demais populações, inclusive com a SUSCI. A razão de resistência estimada foi de 5 vezes.

Os valores da CL_{99} variaram de 0,13 a 2,41 $\mu\text{g i.a./cm}^2$, representando uma diferença de 18,5 vezes entre as populações (Tabela 4). Assim, como para flubendiamida, a suscetibilidade das populações de Londrina e Ituporanga diferiram da população SUSCI e Santa Maria. Com base na CL_{99} a razão de resistência estimada foi de até 10,5 vezes. Em geral, razão de resistência com valores inferiores a dez vezes não representam fracassos no controle devido a evolução da resistência (FFRENCH-CONSTANT; ROUSH, 1990).

Tabela 4 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo espinetoram.

População	N ^a	Coef. angular (±EPM) ^b	CL ₅₀ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₅₀	CL ₉₉ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₉₉	χ ²	G.L. ^c
SUSCI	624	1,92±0,14	0,01 (0,01 - 0,02)		0,23 (0,16 - 0,36)		5,08	4
Santa Maria	576	1,68±0,18	0,005 (0,004 - 0,01)	0,5	0,13 (0,08 - 0,26)	0,6	2,57	3
Londrina	576	1,30±0,12	0,02 (0,01 - 0,02)	2,0	0,97 (0,56 - 2,12)	4,2	5,05	4
Ituporanga	528	1,42±0,12	0,05 (0,04 - 0,07)	5,0	2,41 (1,46 - 4,76)	10,5	5,47	4

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

^aNúmero de indivíduos testados. ^bEPM desvio padrão da média. ^cGraus de liberdade. ^dRazão de resistência, obtida pela divisão do valor da CL de cada população pelo valor da CL de SUSCI, a CL₅₀ ou CL₉₉.

Há relatos de resistência a espinetoram para a espécie *Frankliniella occidentalis* em populações coletadas na China e para a espécie *P. xylostella* em populações coletadas em Pernambuco no Brasil que apresentaram razões de resistência de até 17 e 149 vezes, respectivamente (LIMA NETO, 2016; WANG, 2016). No mundo já foram observadas mais de 28 espécies de insetos com populações resistentes a outros inseticidas do grupo das espinosinas (APRD – IRAC, 2018) sendo essa uma informação importante, pois há casos de resistência cruzada entre espinosade e espinetoram em populações de *S. frugiperda* coletadas em diversos estados do Brasil (DOURADO, 2009).

As CL₅₀ estimadas de *C. includens* para metomil variaram entre 3,91 e 36,36 µg i.a./cm². A população Santa Maria com CL₅₀ 5,82 µg i.a./cm² não diferiu da população SUSCI (3,91 µg i.a./cm²). Os valores das CL₅₀ das populações de Londrina e Ituporanga foram de 26,15 e 36,36 µg i.a./cm², estas populações diferiram estatisticamente da população SUSCI, não havendo sobreposição de seus intervalos de confiança (IC 95%), sendo que a razão de resistência foi de até 9,3 vezes (Tabela 5).

As CL₉₉ das populações variaram de 45,94 a 1.468,00 µg i.a./cm² (Tabela 5). A população de Santa Maria apresentou o menor valor de CL₉₉ (71,13 µg i.a./cm²), mas não diferiu estatisticamente da SUSCI (45,94 µg i.a./cm²). O maior valor de CL₉₉ foi

observado nos indivíduos de Ituporanga (1.468,00 $\mu\text{g i.a./cm}^2$) com razão de resistência de 32 vezes em relação a população SUSCI, seguido da população Londrina que apresentou CL_{99} de 578,63 $\mu\text{g i.a./cm}^2$ e razão de resistência de 12,6 vezes. Resultados similares foram encontrados por Wille (2016) em uma população de *C. includens* também coletada no estado de Santa Catarina que apresentou razão de resistência de 12 vezes, indicando a existência de indivíduos resistentes ao metomil. No mundo cerca de 38 espécies de insetos já apresentaram resistência a metomil, com destaque para as espécies *Helicoverpa armígera*, *Spodoptera litura* e *Spodoptera exigua* que apresentaram o maior número de casos de resistência a metomil (APRD-IRAC, 2018).

Palma (2015) estudou a variabilidade genética de populações do Brasil e observou a ocorrência de alto fluxo gênico e baixa diferenciação entre as populações estudadas que permite a disseminação de alelos raros, como os alelos responsáveis pela resistência a inseticidas. De acordo com os técnicos agrícolas da região de Ituporanga, o inseticida metomil apresenta ineficiência no controle de *C. includens* e de outros insetos-praga da ordem Lepidoptera que ocorrem na cultura da soja.

Tabela 5 - Caracterização da linha básica de suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com o ingrediente ativo metomil.

População	N ^a	Coef. angular (\pm EPM) ^b	CL ₅₀ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₅₀	CL ₉₉ (IC 95%)	R.R. ^d a CL ₉₉	χ^2	G.L. ^c
SUSCI	600	2,17 \pm 0,17	3,91 (3,3 – 4,6)		45,94 (34,2 – 67,7)		2,97	3
Santa Maria	528	2,14 \pm 0,27	5,82 (4,3 – 7,2)	1,5	71,13 (47, – 133,60)	1,6	6,13	3
Londrina	600	1,73 \pm 0,14	26,15 (21,6 – 31,3)	6,7	578,63 (375,3 – 1039,0)	12,6	4,40	6
Ituporanga	768	1,44 \pm 0,11	36,36 (28,5 – 45,1)	9,3	1468,00 (950,6 – 2588,0)	32,0	3,33	6

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

^aNúmero de indivíduos testados. ^bEPM desvio padrão da média. ^cGraus de liberdade. ^dRazão de resistência, obtida pela divisão do valor da CL de cada população pelo valor da CL de SUSCI, a CL50 ou CL99.

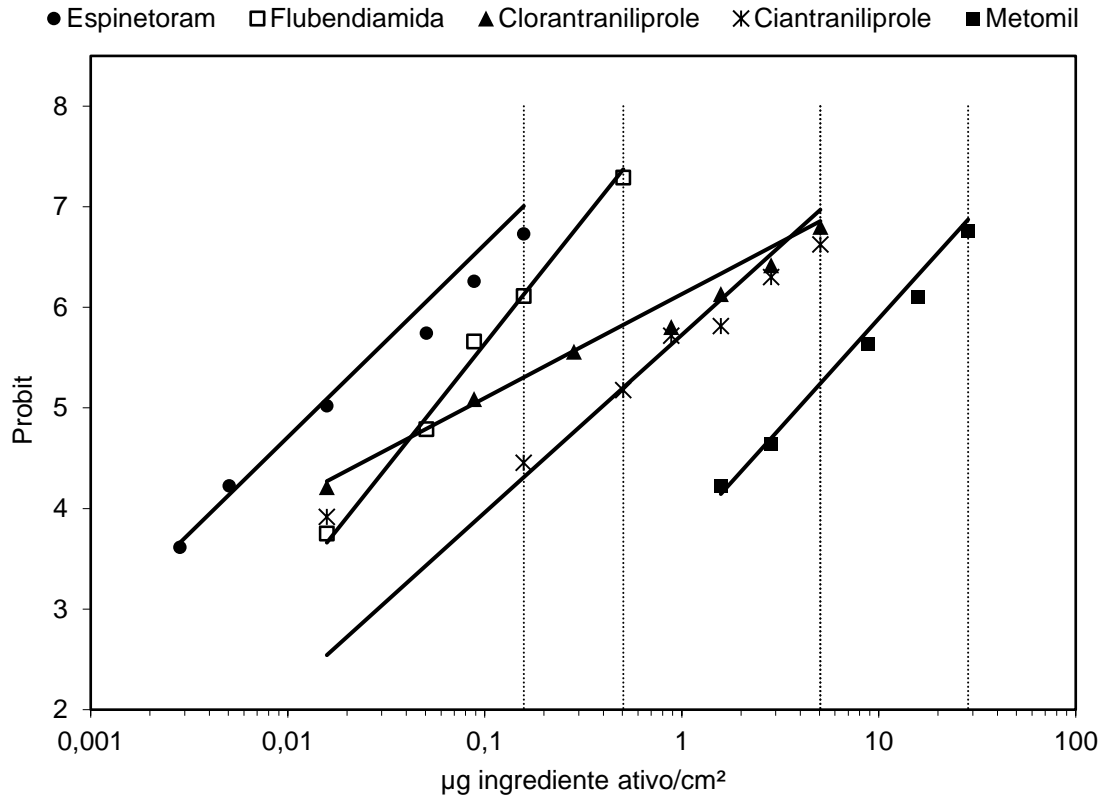
Analisando todas as populações, independente do inseticida estudado, a população Ituporanga se destacou em todos os casos apresentando os maiores valores de concentração-resposta para todos os inseticidas, essa população também apresentou baixos valores de coeficiente angular indicando maior heterogeneidade da população e existência de indivíduos resistentes.

A detecção da resistência é primordial para determinar e aperfeiçoar as estratégias de manejo de pragas. O sucesso no controle de insetos depende da frequência de indivíduos resistentes dentro de uma população e da densidade da praga, embora a relação entre falhas no controle e razão de resistência ainda não esteja bem definida. De acordo com French-Constant; Roush (1990) uma razão de resistência inferior a dez vezes, geralmente, não representa falhas de controle do inseto-praga no campo devido a evolução da resistência.

4.2 MONITORAMENTO DA SUSCETIBILIDADE DE *C. includens* A INSETICIDAS.

Para o monitoramento da suscetibilidade foram definidas para cada inseticida uma concentração diagnóstica que proporcionou mortalidade de cerca de 99% dos indivíduos, com base na CL_{99} , estimada na curva de concentração-resposta da população suscetível de referência (SUSCI), (Figura 1).

Figura 2 - Curvas de concentração resposta da população de lagartas de 3º instar de SUSCI em bioensaio de ingestão com tratamento superficial da dieta artificial com os ingredientes ativos, espinetoram, flubendiamida, clorraniliprole, ciantraniliprole e metomil.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para os inseticidas do grupo químico das diamidas foram definidas as concentrações diagnósticas de 5,053 µg de ciantraniliprole/cm², 5,053 µg de clorraniliprole/cm² e 0,5053 µg de flubendiamida/cm². Para as espinosinas foi definida a concentração de 0,1579 µg de espinetoram/cm². Para carbamato foi definida a concentração de 28,42 µg de metomil/cm². Para espinetoram o mesmo valor de concentração diagnóstica (0,1579 µg de espinetoram/cm²) foi estabelecido por Dourado (2009) para *S. frugiperda* e mostrou ser adequada para detectar precocemente sobreviventes a este inseticida.

Pode-se observar na tabela 6 que as concentrações diagnósticas utilizadas foram eficientes para diferenciar a suscetibilidade entre as populações coletadas no campo nas safras 2016/17 e 2017/18.

Nos programas de monitoramento da suscetibilidade de pragas a inseticidas são feitas comparações de doses letais e coeficientes angulares a partir de curvas de concentração-resposta estabelecidas entre populações de laboratório consideradas

suscetíveis e populações coletadas no campo (FFRENCH-CONSTANT; ROUSH 1990). Porém, em programas de monitoramento preventivos nos quais ainda está no início da resistência em que a frequência de indivíduos resistentes ainda é baixa, o uso de concentrações letais e coeficientes angulares não são eficientes para identificar a presença de indivíduos resistentes nas populações, já que este método é menos sensível para detectar início do aumento da frequência de indivíduos resistentes. (ROUSH; MILLER 1986).

O uso de concentrações diagnósticas para testes de monitoramento é o mais vantajoso em relação as concentrações letais e coeficientes angulares, pois dispense de menos tempo e indivíduos, já que todos os indivíduos são testados em uma mesma concentração diagnóstica, pré-determina e que apresenta porcentagem de mortalidade de interesse (FFRENCH-CONSTANT; ROUSH, 1990).

Para o inseticida ciantraniliprole as porcentagens de sobrevivência entre as populações de campo variaram de 3,5% a 30,0%, representando uma diferença de 8,5 vezes entre elas (Tabela 6). Embora pela caracterização da suscetibilidade as populações de Londrina e Ituporanga diferiram estatisticamente em relação a SUSCI (Tabela 1), pelo uso de uma concentração diagnóstica não houve diferenças significativa na suscetibilidade dessas populações. Possivelmente, devido à baixa razão de resistência estimada (<seis vezes). No entanto, houve diferença na suscetibilidade entre as populações Joaçaba e Três Barras, SC, comparada com a SUSCI, indicando a existência de variabilidade intraespecífica. Altos índices de sobrevivência também foram encontrados em populações de *T. absoluta* coletadas na região Nordeste do Brasil, com sobrevivência de até 85% quando expostas a bioensaio com concentrações diagnósticas (SILVA et al., 2016).

Para o inseticida clorantraniliprole apenas a população de Vacaria, RS, diferiu estatisticamente da população SUSCI. Entretanto esta população não diferiu de Campo Belo, Cerrito, Joaçaba, Londrina e Três Barras (Tabela 6). Porém, mesmo havendo sobreviventes no monitoramento da suscetibilidade de *C. includens* ao inseticida clorantraniliprole, observou-se alta suscetibilidade em todas as populações, o mesmo se observa nos resultados da caracterização da linha básica de suscetibilidade (Tabela 2) nos quais as populações de campo apresentaram baixos valores de razão de resistência (< seis vezes). Populações de *S. frugiperda* coletadas em diversos estados do Brasil também apresentaram baixos valores de sobrevivência

em testes de monitoramento da suscetibilidade, chegando a no máximo 12% de sobrevivência (RIBEIRO, 2014).

Para o inseticida flubendiamida todas as populações de campo diferiram estatisticamente da população SUSCI, exceto a população de Petrolândia, SC, que obteve o menor valor de sobrevivência (15,4%) e apresentou similaridade com SUSCI e Santa Maria (Tabela 6). A suscetibilidade a um determinado inseticida pode variar entre populações, assim como dentro de uma população em função do tempo devido a alterações nas frequências alélicas, variações ambientais ou ambas (TABASHNIK et al., 1992). Todas as populações coletadas na safra 2017/18 apresentaram valores de sobrevivência superiores a 49% chegando até 75%. O mesmo padrão de suscetibilidade foi observado na caracterização da linha básica (Tabela 3), onde as populações de Londrina e Ituporanga apresentaram razões de resistência de 61,7 a 117,7 vezes respectivamente. Populações de *C. includens* com diferentes níveis de suscetibilidade para o inseticida flubendiamida também foram encontradas por Owen et al. (2013) em lavouras de soja no Mississippi, Estados Unidos e por Wille (2016), Schneider; Sosa-Gómez (2016) nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. O inseticida flubendiamida mostrou-se ineficiente no controle das populações de campo em estudos feitos em laboratório, podendo refletir em prováveis falhas de controle no campo.

Para espinetoram todas as populações diferiram da população SUSCI que apresentou sobrevivência de 1,3% (Tabela 6). As porcentagens de sobrevivência das populações de campo variaram entre 16,2% e 43,5%. As populações Campo Belo e Joaçaba apresentaram os maiores valores de sobrevivência a esse inseticida, 30,6% e 43,5% respectivamente. Para as populações utilizadas no estudo da caracterização da linha básica (Londrina e Ituporanga), sobrevivência de 22,7% e 19,2% respectivamente, também foram observadas diferenças significativas com a população SUSCI. Para essas populações a razão de resistência foi de até 10 vezes (Tabela 4).

A variabilidade observada nos valores de sobrevivência das populações coletas pode ser associada ao sistema de produção agrícola de cada região, como exemplo a região de Oeste de Santa Catarina onde localiza-se o município de Joaçaba é uma das principais regiões produtoras de soja do estado, o inseticida espinetoram apresenta eficiência no controle de *C. includens* no campo, de acordo com os profissionais técnicos responsáveis pelo manejo de pragas dessa região. Porém há

relatos de resistência cruzada entre espinosinas para populações de *S. frugiperda* em diferentes regiões do Brasil (DOURADO, 2009). Desta forma, considerando os resultados obtidos em laboratório o uso das espinosinas deve ser revisto devido à grande adaptabilidade dos insetos para evitar futuros fracassos no controle de *C. includens* com o inseticida espinetoram no campo.

Para o inseticida metomil todas as populações de campo diferiram da população SUSCI que apresentou sobrevivência de 0,8% (Tabela 6). As porcentagens de sobrevivência variaram de 33,3% a 70,6%, a variação entre a sobrevivência das populações de campo e a SUSCI chegou a 88,3 vezes. A população que apresentou maior sobrevivência foi Três Barras (70,6%) seguidas das populações Vacaria e Cerrito (66,7% e 60%, respectivamente). No estudo da caracterização da suscetibilidade (Tabela 5), populações de campo também diferiram da população SUSCI apresentando razão de resistência de até 32 vezes, confirmando assim o comportamento observado nos testes de monitoramento com o inseticida metomil. Resultados similares foram encontrados por Wille (2016) em populações que chegaram a apresentar sobrevivência acima de 60%. Morillo; Notz (2001) já haviam observado que a espécie *S. frugiperda* quando exposta a pressão de seleção do inseticida metomil, apresenta rápido incremento na razão de resistência variando de 3,1 na geração F_0 até 22 vezes na geração F_9 .

O ingrediente ativo metomil é um produto que está no mercado a mais de 10 anos e é amplamente utilizado nas regiões de coleta das populações de *C. includens* por possuir baixo custo de compra. Entretanto, de acordo com os profissionais técnicos responsáveis por essas regiões agrícolas, esse inseticida já apresenta histórico de ineficiência no controle de falsa-medideira, sendo necessárias aplicações de doses superiores as recomendadas para alcançar um controle eficaz do inseto. A redução da sensibilidade da enzima acetilcolinesterase tem sido o fator responsável pela evolução da resistência de insetos aos carbamatos, sendo este o sítio de ação, outro fator é a atividade metabólica para detoxificação (ZHAO et al., 1996).

Tabela 6 - Monitoramento da suscetibilidade de populações de *C. includens* em bioensaio de ingestão com o tratamento superficial da dieta artificial com ingredientes ativos do grupo químico das diamidas, espirosinas e carbamatos.

População	% Sobrevivência					
	Ciantraniliprole (5,053 µg/cm ²)	Clorraniliprole (5,053 µg/cm ²)	Flubendiamida (0,5053 µg/cm ²)	Espinetoran (0,1579 µg/cm ²)	Metomil (28,42 µg/cm ²)	
SUSCI	2,5±2,50 ¹ a ²	1,2±1,75 a	0,8±1,00 a	1,3±1,76 ² a ³	0,8±1,33 a	
	Safrá 2016/2017					
Santa Maria	-	0,3±0,01 a B	21,0±10,70 b A	-	-	
Petrolândia	-	0,0±0,00 a B	15,4±10,83 ab A	-	-	
	Safrá 2017/2018					
Campo Belo	7,9±3,42 a A	7,3±4,10 ab A	63,5±12,81 cd D	30,6±9,10 c B	45,8±7,08 b C	
Cerrito	8,3±5,42 a AB	4,2±2,50 ab A	49,2±13,33 c D	16,2±6,38 b B	60,0±7,67 c C	
Ituporanga	3,5±3,19 a A	2,9±2,36 a A	52,5±13,17 c D	19,2±6,33 b B	34,6±9,42 b C	
Joaçaba	20,0±4,58 b D	5,2±3,75 ab C	60,0±15,00 cd B	43,5±7,48 d A	45,6±9,40 b A	
Londrina	8,7±6,83 a A	3,7±3,75 ab A	75,2±9,38 d D	22,7±7,71 bc B	33,3±9,58 b C	
Três Barras	30,0±4,67 c C	7,5±7,33 ab A	63,2±12,80 cd D	20,2±7,29 b B	70,6±7,75 c D	
Vacaria	8,5±4,85 a A	9,0±5,75 b A	49,2±15,00 c C	18,1±5,77 b A	66,7±9,17 c B	
Vargeão	9,6±5,67 a AB	2,9±4,08 a A	56,5±9,29 c D	19,8±9,58 b B	41,9±18,00 b A	

¹Desvio padrão da média. ²Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

No presente trabalho foi detectado diferenças na suscetibilidade de populações de *C. includens* aos inseticidas clorantraniliprole, flubendiamida, espinetoram, metomil e pela primeira vez no Brasil ao inseticida ciantraniliprole. É necessário o aprimoramento das estratégias de manejo da resistência ao longo das próximas safras com o uso desses inseticidas, e estudos de resistência cruzada assim como os mecanismos responsáveis pela resistência a cada grupo químico, caso contrário pode-se sofrer com o aumento da razão de resistência e falhas no controle de insetos-praga no campo (GEORGHIOU; SAITO, 1983).

A realização de programas de monitoramento da resistência, são essenciais para identificar a evolução de resistência de insetos a inseticidas ao longo dos anos, assim como a preservação da eficiência dos inseticidas no campo. Os resultados apresentados no presente trabalho podem servir como subsídios a futuras pesquisas de suscetibilidade de lepidópteros-praga aos inseticidas ciantraniliprole, clorantraniliprole, flubendiamida, espinetoram e metomil, assim como alertar sobre a importância do uso racional desses produtos no controle de pragas agrícolas.

5 CONCLUSÕES

Há variabilidade na suscetibilidade entre as populações de *C. includens* aos inseticidas flubendiamida, clorantraniliprole, ciantraniliprole, espinetoram e metomil.

Para os inseticidas diamidas a razão de resistência estimada foi de até cinco vezes para clorantraniliprole e ciantraniliprole, e até 117 vezes para flubendiamida.

Para os inseticidas espinetoram e metomil a razão de resistência estimada foi de 10 e 32 vezes, respectivamente.

As concentrações diagnósticas definidas para programas de monitoramento da suscetibilidade de populações de *C. includens* foram de 5,053 µg de ciantraniliprole/cm², 5,053 µg de clorantraniliprole/cm², 0,5053 µg de flubendiamida/cm², 0,1579 µg de espinetoram/cm² e 28,42 µg de metomil/cm² utilizando o método de bioensaio de ingestão com aplicação superficial do inseticida em dieta artificial.

REFERÊNCIAS

AGROFIT, **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, jun. 2018. Disponível em:

<http://bi.agricultura.gov.br/reports/rwservlet?agrofit_cons&pragas.rdf&p_id_foto=1183&p_script_body=&p_id_cultura_praga=3540¶mform=no>

ANDOW D.A.; D. N. ALSTAD. F2 screen for rare resistance alleles. **Journal of Economic Entomology**. Lanham, v. 91, n. 3, p 572-578, jun. 1998.

ANDOW, D. A. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews**, Trieste, Itália, v. 4, p. 142-199, 2008.

APRD-IRAC **Arthropod Pesticide Resistance Database**, Disponível em:

<<https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=248>>. Acesso em 15 jun. 2018.

BALDIN, E.L.L.; LOURENÇÃO, A.L.; SCHLICK-SOUZA, E.C. Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, 458–465, dez. 2014.

BERNARDI, O. et al. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatalis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 68, n. 7, p. 1083-1091, jan. 2012.

BUENO, R.C.O.F. et al. Sem barreira. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 93, n. 1, p. 12-15, fev. 2007.

BUSH, M. R. et al. Azinphosmethyl resistance in the tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae): reversion, diagnostic concentrations, associated esterases, and glutathione transferases. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 86, n. 2, p. 213-225, apr. 1993.

CESSA, R. M. A.; MELO, E. P. D.; LIMA JUNIOR, I. dos S. de. Mortalidade de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepdoptera: noctuidae) alimentadas com folhas de milho e feijoeiro imersas em soluções contendo inseticidas. **Revista Agrogeoambiental**, Pousada Alegre, v. 5, n. 1, p. 1-7, abr. 2013.

CIDASC. Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina, Relatório: **Inspeções in locu para verificar a ocorrência da *Helicoverpa armigera* na ADR de Campos Novos, Etapa 3.** CIDASC, 2014. Disponível em: < <http://www.cidasc.sc.gov.br/defesasaniavegetal/files/2013/12/RELATORIO-INSPE%C3%87%C3%83O-H.-arm%C3%ADgera-06-03-2014-1.pdf> >. Acesso em 30 mai. 2018.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **10º Levantamento – julho/2018.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, v.5, n. 10, p. 33; 106, julho de 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos>>. Acesso em 20 jul. 2018.

CORDOVA, D. et al. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 84, p 196–214, mar. 2006.

CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. **Embrapa- Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, Circular Técnica, n. 21, 45 p., ago. 1995.

CRUZ, I. Controle biológico em manejo integrado de pragas. In: PARRA, J.; BOTELHO, P.; CORREA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores.** São Paulo, Manole, p. 543-570, 2002.

CZEPAK, C. et al. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, p.110-113, jan. 2013.

DOURADO, P. M. **Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a spinosad no Brasil.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Campus Piracicaba, 2009.

FERREIRA, H. N. et al. Resistência de *Plutella xylostella* (L.) a clorantraniliprole confere resistência cruzada a ciantraniliprole e flubendiamida. **XIII Jornada De Ensino, Pesquisa E Extensão – JEPEX 2013**, Recife, 3 p., dez. 2013,

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; ROUSH, R. T. Resistance detection and documentation: the relative roles of pesticidal and biochemical assays. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods.** New York, p. 4-38, 1990.

FORMENTINI, A. C. et al. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS., v. 45, n. 12, p. 2113–2120, dez. 2015.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 920 p. 2002.

GEORGHIOU, G.P. The magnitude of the resistance problem. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Pesticide resistance**: strategies and tactics for management. Washington, D.C.: National Academic Press, 43 p., 1986.

GEORGHIOU, G.P.; TAYLOR, C.E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 70, n. 3, p. 319-323, jun. 1977.

GEORGHIOU, G.P.; SAITO, T. **Pest resistance to pesticides**. Plenum Press. New York and London, 809 p., 1983.

GONG, W. et al. Chlorantraniliprole Resistance in the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**. Laham, v. 107, n. 2, p. 806-814, abr. 2014.

GREENE, G.L.; LEPPLA, N.C. DICKERSON, W.A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 69, n. 4, p. 487-488, ago. 1976.

GUEDES, J. V. C. et al. Lagartas da soja: das lições do passado ao manejo do futuro. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 24, n. 144, p. 6-18, nov. 2014.

HANNIG, G. T.; ZEIGLER, M.; MARCON, P. G. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. **Pest Management Science**, Sussex, v. 65, n. 9, p. 969-974, mai. 2009.

HERZOG, D.C. Sampling soybean looper on soybean. p. 141-177. In M. Kogan; D.C. Herzog (eds.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York, Springer-Verlag, 587 p., 1980.

HUANG, K. et al. Recent advances in the biochemistry of spinosyns. **Applied Microbiology Biotechnology**, New York, v. 82, p. 13-23, dez. 2009.

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee). **IRAC Mode of Action Classification Scheme**. v. 8, n. 4, mai. 2018. Disponível em: < <http://www.irc-online.org/documents/moa-classification/>>. Acesso em: 26/07/2018.

IRAC. **Resistance management for sustainable agriculture and improved public health**. 26 p., abr. 2007. Disponível em: < https://croplife-r9qnrxt3qxgjra4.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/pdf_files/IRAC-Resistant-Management-for-Sustainable-Agriculture-and-Improved-Public-Health.pdf>. Acesso em: 01/06/2018.

ISHAAYA, I. Biochemical process related to insecticide action: an overview. In: **Biochemical sites of insecticide action and resistance**. Springer-Verlag. p.1-18, 2001.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, Standfort, v. 43, p. 243-270, 1998.

KUSHNIR, A.; MARKS, A. R. Ryanodine receptor patentes. **Recent patentes on biotechnology**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 157, dez. 2012.

LAHM, G. P. et al. RynaxypyrTM: A new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potente and selective ryanodine receptor activator. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**. [S.l.], v. 17, n. 22, p. 6274-6279, nov. 2007.

LIMA NETO, J. E. et al. Resistance monitoring of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) to risk-reduced insecticides and cross resistance to spinetoram. **Phytoparasitica**, Beit Dagan, v. 44, n. 5, p. 631–640, nov. 2016.

LIU, X. et al. Cross-resistance, mode of inheritance, synergism, and fitness effects of cyantraniliprole resistance in *Plutella xylostella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Willey, v. 157, n. 3, p 271–278, out. 2015.

MARTINELLI, S. et al. Molecular variability of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations associated to maize and cotton crops in Brazil. **Journal of Economic Entomology**. Lanham v. 99, n. 2, p. 516-526, abr. 2006.

MASCARENHAS, R. N.; BOETHEL, D. J. Development of diagnostic concentrations for insecticide resistance monitoring in soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) larvae using an artificial diet overlay bioassay. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 93, n. 3, p. 897–904, jun. 2000.

MASCARENHAS, R.N.; PITRE, H.N. Oviposition responses of soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) to varieties and growth stages of soybeans. **Environmental Entomology**, Mississippi, v. 26, n. 1, p. 76-83, fev. 1997.

MCDougall, P. A. Consultancy Study for CropLife International. **Agrochemical Industry Research and Development Expenditure**, 2005. United Kingdom, 30 p., julho de 2018. Disponível em: < <https://croplife.org/crop-protection/cp-case-studies/>>.

MORAES, R.R.; LOECK, A.E.; BELARMINO, L.C. Inimigos naturais de *Rachiplusia nu* (Guenée, 1852) e de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 57-64, jan. 1991.

MORILLO, F.; NOTZ, A. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. **Entomotropica: Boletín de Entomología Venezolana**, Venezuela, v. 16, n. 2, p. 79-87, ago. 2001.

MOSCARDI, F., CARVALHO, R. C. Z. de. Consumo e utilização de folhas de soja por *Anticarsia gemmatilis* Hüb. (Lepidoptera: Noctuidae) infestada, em diferentes estádios larvais, por seu vírus de poliedrose nuclear. **Anais da Sociedade Entomologica do Brasil**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 267-280, set. 1993.

MOSCARDI, F.A. Artrópodes que atacam as folhas da soja In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 859 p. 2012.

OLIVEIRA, C. M et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, Guildford, v. 56, n. 1, p. 50-54, fev. 2014.

OLIVEIRA, F. E. B. Suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a metaflumizone na cultura do milho: bases para o manejo da resistência. 2008. 57 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA, J.R.G. di; FERREIRA, M. da C.; ROMÁN, R.A.A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 92-99, jan. 2010.

OMER, A. D. et al. Sweetpotato whitefly resistance to insecticides in Hawaii: intra-island variation is related to insecticide use. **Entomologia Experimentalis et Applicata**. Willey, v. 67, n. 2, p. 173-182, mai. 1993.

OWEN, N. L.; CATCHOT, A.L.; MUSSER, F.R.; GORE, J.; COOK, D.C; JACKSON, R. Susceptibility of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Reduced-Risk Insecticides. **Florida Entomologist**, Flórida, v. 96. n. 2, p.554-559, jun. 2013.

PALMA, J.; MAEBE, K.; GUEDES, J. V. C.; SMAGGHE, G. Molecular variability and genetic structure of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), an important soybean defoliator in Brazil. **PloS one**, Berkeley, v. 10, n. 3, p. 1-13, mar. 2015.

PARRA, J. R. P. **Técnicas de Criação de Insetos para Programas de Controle Biológico**. São Paulo: USP/ESALQ, 2010.

PICANÇO, M.C. **Manejo integrado de pragas**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de biologia animal. Viçosa, MG. 2010.

PROKOPY, R. J.; KOGAN, M. Integrated pest management. In: RESH, V. H.; CARDÉ, R. T. (Ed.) **Encyclopedia of Insects**. New York, Academic Press, p. 4-9, 2003.

RIBEIRO, L. M. S. et al. Field resistance of Brazilian *Plutella xylostella* to diamides is not metabolism-mediated. **Crop Protection**, Guildford, v. 93, p. 82-88, mar. 2017.

RIBEIRO, R. S. **Monitoramento da suscetibilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas diamidas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Campus Piracicaba, 2014.

ROBERTSON, J.L.; PREISLER, H.K. **Pesticide bioassays with artropods**. CRS Press, London. 1992.

RODITAKIS, E. et al. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. **Journal of Pest Science**, [S.l.], v. 88, n. 1, p 9–16, mar. 2015.

ROUSH, R. T.; MCKENZIE, J. A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 32, p. 361-380, 1987.

ROUSH, R.T.; MILLER, G.L. Considerations for design of insecticide resistance monitoring programs. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 79, n. 2, p. 293-298, abr. 1986.

SANCHES, S. M. et al. Pesticida e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, p. 53-58, jan. 2003.

SAS INSTITUTE. **SAS User's guide: statistics**. Cary, NC, USA, 2009.

SCHNEIDER, J. A.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Suscetibilidade de populações de *Chrysodexis includens* e *Helicoverpa armigera* a inseticidas do grupo das diamidas. Resumos expandidos da **XXXV Reunião de Pesquisa de Soja**, Londrina, jul. 2016.

SIEGFRIED, B. D., SPENCER, T. A., NEARMAN, J. Baseline susceptibility of the corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) on the Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis*. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 93, n. 4, p. 1265-1268, ago. 2000.

SILVA, J. E. et al. Field-Evolved Resistance and Cross-Resistance of Brazilian *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Populations to Diamide Insecticides. **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 109, n. 5, p. 2190-2195, out. 2016.

SOSA-GÓMEZ, D.R.; OMOTO, C. Resistência a inseticidas e outros agentes de controle à cultura da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; MOSCARDI, F. **Soja: Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 859 p., 2012.

SOSA-GÓMEZ, D. R. Essa lagarta gosta de soja. **Revista Cultivar Grandes Culturas**. Pelotas, v. 2, n. 12, p. 40-42, jan. 2000.

SOSA-GÓMEZ, D. R. et al. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina, PR. 100 p., 2014.

SPARKS, T. C. et al. Biological activity of the spinosyns, new fermentation derived insect control agents, on tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae, **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 91, n. 6, p. 1277-1283, dez. 1998.

SPARKS, T. C. et al. Biological characteristics of the spinosyns: a new and naturally derived insect control agent, In: **NATIONAL COTTON COUNCIL: BELT WIDE COTTON CONFERENCE**. San Antonio, p. 903-907. 1995.

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 121, p. 122-128, jun. 2015.

SPARKS, T.C. Insecticide Discovery: An Evaluation and Analysis. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 107, p. 8-17, set. 2013.

SPECHT, A.; GOMEZ, D. R. S.; PAULA MORAES, S. V. Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 689-692, jun. 2013.

SPECHT, A.; PAULA-MORAIS, S. V. & SOZA-GOMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includes* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 59, n. 4, p. 343-345, dez. 2015.

TABASHNIK, B. E. et al. Increasing efficiency of bioassays: evaluating resistance to *Bacillus thuringiensis* in Diamond- back moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, Laham, v. 86, p. 635-644, jun. 1993.

TABASHNIK, B.E et al. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economy Entomology**, Laham, v. 85, p. 1046–1055, ago. 1992.

TROCZKA, B et al. Resistance to diamide insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is associated with a mutation in the membrane-spanning domain of the ryanodine receptor. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, Oxford, v. 42, p. 873–880, set. 2012.

USDA. Safra Mundial de Soja 2017/18 - 12º levantamento do USDA. **United States Department of Agriculture**, abril de 2018. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>>. Acesso em 20 de julho de 2018.

WANG, X.; KHAKAME, S. K.; YE, C.; YANG, Y.; WU, Y. Characterisation of field-evolved resistance to chlorantraniliprole in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, from China. **Pest Management Science**, Sussex, v. 69, n. 5, p. 661–665, out. 2013.

WANG, Z.-H. et al. Field-evolved resistance to insecticides in the invasive western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 7, p. 1440–1444, jan. 2016.

WERMELINGER, E. D.; FERREIRA, A. P. Métodos de controle de insetos vetores: um estudo das classificações. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, Ananindeua, v. 4, n. 3, p. 49–54, 2013.

WILLE, P. E. **Subsídios para o manejo sustentável de *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina UDESC– Campus Lages, 2016.

YU, S.J.; NGUYEN, S.N.; ABO-ELGHAR, G.E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 77, p. 1-11, set. 2003.

ZHAO, G. et al. Biochemical Mechanisms and Diagnostic Microassays for Pyrethroid, Carbamate, and Organophosphate Insecticide Resistance/Cross-Resistance in the Tobacco Budworm, *Heliothis virescens*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 56, n. 3, p. 183–195, nov. 1996.