

HUGO MARINHO MONTEIRO

**RISCO DE FALHA DE CONTROLE DE POPULAÇÕES BRASILEIRAS DE
LAGARTA-DO-CARTUCHO POR INSETICIDAS EM PULVERIZAÇÃO E EM
TRATAMENTO DE SEMENTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M775r
2018
Monteiro, Hugo Marinho, 1990-
Risco de falha de controle de populações brasileiras de
lagarta-do-cartucho por inseticidas em pulverização e em
tratamento de sementes / Hugo Marinho Monteiro. – Viçosa,
MG, 2018.
iv, 24f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 16-20.

1. *Spodoptera frugiperda*. 2. Inseticidas. 3. Sementes -
Doenças e pragas. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Biologia Animal. Programa de Pós-Graduação
em Entomologia. II. Título.

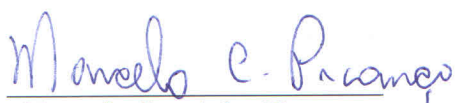
CDD 22. ed. 595.78

HUGO MARINHO MONTEIRO

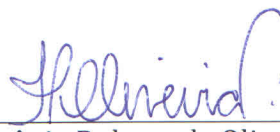
**RISCO DE FALHA DE CONTROLE DE POPULAÇÕES BRASILEIRAS DE
LAGARTA-DO-CARTUCHO POR INSETICIDAS EM PULVERIZAÇÃO E EM
TRATAMENTO DE SEMENTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

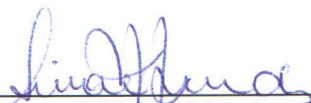
APROVADA: 01 de março de 2018



Marcelo Coutinho Picanço



Ivênio Rubens de Oliveira



Simone Martins Mendes
(Coorientadora)



Eliseu José Guedes Pereira
(Orientador)

Sumário

Resumo	iii
Abstract.....	iv
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	4
2.1. Origem e manutenção dos insetos.....	4
2.2. Inseticidas.....	5
2.3. Avaliação da falha de controle potencial.....	5
2.4. Risco de falha de controle químico em populações de campo	6
2.5. Bioensaios com inseticidas indicados para tratamento de semente	7
3. Resultados	10
3.1. Avaliação do risco da falha de controle.....	10
3.2. Relação entre o tamanho da lagarta e a sobrevivência ao inseticida	10
3.3. Tratamento de sementes.....	11
4. Discussão	12
5. Referências.....	16

Resumo

MONTEIRO, Hugo Marinho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Risco de falha de controle de populações brasileiras de lagarta-do-cartucho por inseticidas em pulverização e em tratamento de sementes.** Orientador: Eliseu José Guedes Pereira. Coorientadores: Oscar Fernando Santos Amaya e Simone Martins Mendes.

O manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) é considerado uma das importantes práticas para se evitar perdas de produtividade em milho, mas a manutenção da eficácia dos métodos de controle é um desafio e requer pesquisa sobre a atual eficiência das táticas de manejo da praga. Neste trabalho, foi determinada a eficiência de seis inseticidas em populações de campo de diferentes regiões brasileiras mediante avaliações de falha de controle e sobrevivência de lagartas de diferentes ínstares. Por fim, foi testada a eficiência do tratamento de semente em lagartas e seu efeito residual em plântulas de milho no laboratório. Os resultados mostraram risco de falha de controle da lagarta-do-cartucho pelos inseticidas lambda-cialotrina, flubendiamida, clorantraniliprole, clorpirifós e espinosade. Os inseticidas clorantraniliprole, espinosade e clorfenapir causaram substancial mortalidade de lagartas pequenas (0,5-1,0 cm), médias (1,1-2,5 cm) ou grandes (2,5-4,0 cm). Em contraste, o inseticida lambda-cialotrina permitiu sobrevivência larval maior que 75%. O tratamento de sementes com o inseticida imidaclopride+tiodicarbe foi o mais eficiente em plantas de 11-21 dias após o plantio e também contra lagartas de até 10 dias de idade, seguido de clorantraniliprole. No entanto, carborfurano foi ineficiente para o controle de lagartas. Em suma, esses resultados indicam que há risco de falha de controle para alguns dos inseticidas testados e que tal risco pode variar com o tamanho das lagartas. Por fim, o tratamento de sementes com certos inseticidas pode ser eficiente no controle de *S. frugiperda* e apresentar efeito residual até 21 dias após o plantio.

Abstract

MONTEIRO, Hugo Marinho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Control failure likelihood of brazilian populations of fall armyworm by spraying and seed treatment insecticides.** Advisor: Eliseu José Guedes Pereira. Co-advisors: Oscar Fernando Santos-Amaya and Simone Martins Mendes.

Pest management of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) plays an important role in minimizing the yield losses in maize, but maintaining the efficacy of the control methods is a challenge and requires research on the current efficiency of the tactics used to deal with the insect pest. This study focused on estimating the control failure likelihood of insecticides and the survival of different larval stages exposed to the insecticides. In addition, the seed treatment efficacy and its residual effect against fall armyworm were assessed in the laboratory. The results showed that for some of the regions there is risk of control failure by λ -cyhalothrin, flubendiamide, chlorantraniliprole, chlorpyrifos, and spinosad. Chlorantraniliprole, spinosad, and chlorfenapyr caused reduced mortality for all larval stages tested. The insecticides clorantraniliprole, spinosad and chlorfenapyr caused substantial mortality of small larvae (0.5-1 cm), mid size (1.1-2.5 cm), or big ones (>2.5-4.0 cm). In contrast, the insecticide lambda-cyhalothrin allowed larval survival greater than 80%. Seed treatment with the insecticide imidacloprid+thiodicarb was the most efficient in killing fall armyworm larvae within 11-21 days after sowing and also against larvae up to 10 days old, followed by chlorantraniliprole. However, carborfuran was inefficient through seed treatment against fall armyworm. In summary, these results indicate that there is risk of control failure by some of the insecticides tested and that such a risk may vary with the larval size. Finally, seed treatment with certain insecticides can be effective to control fall armyworm larvae and can have residual effect until 21 days after sowing.

1. Introdução

Inseticidas são mundialmente utilizados para o controle de insetos-praga na agropecuária e no meio urbano, nas duas últimas décadas, passaram também a serem veiculados pelas plantas transgênicas (Casida e Durkin, 2013; James, 2015). No Brasil, as perdas por ataque de insetos fitófagos variam de 2 a 43% nas principais culturas e estima-se uma média de 7,7% que resulta em um prejuízo econômico de 14,7 bilhões de dólares. Já na cultura do milho, estima-se que as perdas por ataque de pragas geram prejuízo econômico de 1945,75 milhões de dólares, tanto por perda de produção quanto pelo gasto com inseticidas (Oliveira *et al.*, 2014). Em áreas de cultivo de milho, por exemplo, o uso inadequado de inseticidas e plantas transgênicas pode ocasionar falha de controle de pragas, aumentando assim as perdas (Oerke e Dehne, 2004; Tabashnik *et al.*, 2013).

Atualmente, o controle de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), considerada a principal praga da cultura do milho, é feito principalmente através da utilização das plantas transgênicas que expressam toxinas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt), introduzidas no Brasil em 2008/2009 para auxiliar o Manejo Integrado de Pragas (MIP) (James, 2009). Entretanto, devido às condições tropicais de cultivo e às práticas agrícolas brasileiras de extensos cultivos sucessivos serem propícias à proliferação das populações de *S. frugiperda* e, conseqüentemente à exposição a toxinas das plantas Bt, é notório o rápido surgimento de populações resistentes no campo. Esse fator reduz significativamente a vida útil das tecnologias para o manejo de pragas (Roush, 1994; Gould, 1998).

A aplicação de inseticidas é uma das alternativas de auxiliar a conter o surto populacional da praga-alvo, preservar a integridade da lavoura e, assim, obter a produtividade esperada. Dentre os inseticidas sintéticos, os neurotóxicos são os principais devido à sua ação rápida nos insetos, permitindo reduzir as perdas por danos

diretos ou pela transmissão de doenças para a cultura (Casida e Quistad, 2004; Burtet *et al.*, 2017). Infelizmente, a dependência no uso de inseticidas gera consequências como desenvolvimento de resistência em populações da praga-alvo às principais classes de inseticidas, como já reportado para *S. frugiperda* (Diez-Rodríguez e Omoto, 2001; Yu, S. J. *et al.*, 2003; Carvalho *et al.*, 2013).

Por sua vez, a resistência, definida por Sawicki (1987) como resposta à seleção por substâncias tóxicas que promove uma mudança genética na população, pode ser relacionada com a falha de controle de um inseticida aplicado na dose ou concentração recomendada, a qual tem sua eficácia diminuída, não atingindo o nível esperado de controle (Guedes, 2017). Para identificar falha de controle de um inseticida utiliza-se a relação entre dois parâmetros, a dose de campo recomendada para o controle da praga-alvo utilizada como dose diagnóstica e o mínimo de 80% de eficácia requerido no Brasil para a liberação do produto inseticida. Sendo assim, a mortalidade do bioensaio é comparada com o mínimo de eficácia do produto, permitindo avaliar supostas falhas de controle a campo (Matten, 1998).

O tratamento de sementes de milho com inseticidas é outra alternativa que pode ser adotada para reduzir infestações de *S. frugiperda* (Ceccon *et al.*, 2004). A maioria dos inseticidas disponíveis são principalmente utilizados para o controle de cigarrinha-do-milho (Hemiptera: Cicadellidae), percevejos-barriga-verde (Hemiptera: Pentatomidae), percevejos-castanhos (Hemiptera: Cydnidae) e corós (Coleoptera: Scarabaeoidea) (Cruz e Bianco, 2001). Tais inseticidas devem ser absorvidos pelas raízes e distribuídos pela planta, sobretudo através da translocação via xilema. Para isso, as características físico-químicas (solubilidade em água, coeficiente de partição octanol-água e constante de dissociação) do composto devem permitir a absorção e translocação pela planta, até ser ingerido por lagartas ou outros desfolhadores (Wedding, 1953; Khodaverdi *et al.*, 2016).

A lagarta-do-cartucho é um fitófago polífago (com mais de 60 espécies hospedeiras) e pode colonizar e completar seu ciclo em plantas alternativas na ausência da cultura da sua preferência. Sendo assim, alta população dessa praga em pré-plantio pode causar o ataque inicial de lagartas de instares mais avançados às plântulas de milho, reduzindo o estande e comprometendo a produtividade (Sparks, 1979). Possivelmente a dispersão das lagartas maiores em direção às plântulas pode ocorrer pela atração através de compostos voláteis emitidos por elas após a oviposição das fêmeas, eclosão das neonatas e injúria (Cruz e Bianco, 2001; Carroll *et al.*, 2006). Por conseguinte, a utilização do tratamento de sementes com inseticida pode ser uma importante ferramenta de controle para *S. frugiperda*.

Já nos cultivos de milho Bt as plântulas podem não expressar concentração de toxina suficiente para controlar a população lagartas residentes do cultivo anterior e demandar intervenções com inseticida, que pode ser aplicado via pulverização ou via tratamento de semente. Assim, é preciso conhecer a eficiência da técnica de tratamento de sementes para manejo de lagartas em laboratório e se pode variar entre os grupos de inseticidas disponíveis (Cruz *et al.*, 1999). Um estudo de 2004 discorre que o tratamento de semente de milho não foi eficiente contra *S. frugiperda* em ensaios de campo 15 dias após o plantio (DAP) quando foi avaliado o percentual de plantas atacadas a partir de infestações naturais (Azevedo *et al.*, 2004). Deste modo, ainda é questionável a eficiência do tratamento de semente em função do instar larval alvo (idade de lagarta) e também do período residual do produto após a emergência das plântulas.

No presente trabalho, foram testados seis inseticidas de mecanismos de ação distintos em populações de campo de *S. frugiperda* do Mato Grosso, São Paulo e Minas Gerais a fim de identificar possíveis falhas de controle e observar a tendência de sobrevivência de lagartas de tamanhos distintos a esses compostos. Por fim, foi testado se

o tratamento de semente é eficiente no controle da lagarta-do-cartucho de diferentes idades e se ele apresenta efeito residual em pós-emergência.

2. Material e Métodos

2.1. Origem e manutenção dos insetos

As populações de *S. frugiperda* foram coletadas em regiões produtoras de milho do estado do Mato Grosso (Sapezal, Rondonópolis, Nova Mutum, Tangará da Serra e Campo Verde) por colaboradores na Embrapa Agrossilvipastoril e Embrapa Milho e Sorgo e enviadas ao Laboratório Interação Inseto-Planta da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para fins de comparação, duas populações foram utilizadas; uma coletada em Casa Branca, SP, local que apresentava suspeita de falha de controle por inseticidas e uma população estabelecida em laboratório caracterizada como suscetível (Embrapa Milho e Sorgo). Ademais, seis coletas de lagartas de tamanhos distintos foram realizadas a campo na estação experimental da UFV em Coimbra, MG, localizada a 15 Km de Viçosa, MG, a fim de executar bioensaios com inseticidas. Do estabelecimento das populações até o início dos experimentos, as mariposas foram mantidas em gaiolas de PVC 40 cm altura × 30 cm de diâmetro sendo a parte interna coberta com papel sulfite para a retirada de ovos, a parte inferior coberta com jornal e papelão e a parte superior fechada com jornal também para retirada de ovos. O alimento dos adultos foi fornecido em placa de Petri contendo algodão umedecido com solução de açúcar 10% e ácido ascórbico 5%. As posturas foram retiradas a cada dois dias e armazenadas em sacos plásticos. Após a eclosão, as neonatas foram transferidas para potes plásticos (500 mL) contendo dieta artificial (Kasten Jr *et al.*, 1978) e individualizadas no 3º instar larval em bandejas de PVC de 16 células (Advento do Brasil, Diadema, SP) para evitar o canibalismo. Lá permaneceram até o estágio de pupa. Todos os insetos foram mantidos em sala de criação em condições controladas de temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 15\%$ e fotoperíodo de 14L:10E.

2.2. Inseticidas

Nove inseticidas foram utilizados em duas categorias de bioensaios; exposição de lagartas a secções de folhas tratadas com inseticidas e exposição de lagartas a plântulas cujas sementes foram tratadas com inseticidas. Cinco inseticidas neurotóxicos foram usados para as exposições a secções de folha: flubendiamida 480 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; Bayer CropScience, São Paulo, SP, Brasil), clorantraniliprole 200 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; DuPont, Barueri, SP, Brasil), espinosade 480 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; Dow Agrosiences, São Paulo, SP, Brasil), clorpirifós 480 g L⁻¹ EC (concentrado emulsionado; Dow Agrosiences, São Paulo, SP, Brasil), e lambda-cialotrina 50 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; Syngenta, São Paulo, SP, Brasil); e um desacoplador da fosforilação oxidativa (via interrupção do gradiente de próton) clorfenapir 240 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; BASF, Guaratinguetá, SP, Brasil). Para o tratamento de sementes, três inseticidas neurotóxicos foram usados carbofurano 350 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; Ameribrás, Cotia, SP, Brasil); imidaclopride 150 g L⁻¹ + tiodicarbe 450 g L⁻¹ SC (suspensão concentrada; Bayer CropScience, São Paulo, SP, Brasil) e clorantraniliprole 625 g L⁻¹ FS (suspensão concentrada para tratamento de sementes; DuPont, Barueri, SP, Brasil). Os inseticidas foram selecionados baseado nos principais grupos químicos utilizados atualmente para controle de *S. frugiperda* na cultura do milho no Brasil

2.3. Avaliação da falha de controle potencial

Na tentativa de identificar possíveis falhas de controle por inseticidas em populações de campo de *S. frugiperda*, este trabalho utilizou exposições de lagartas a folhas tratadas com inseticidas nas dosagens registradas para o controle da mesma. A partir de um limiar mínimo de eficiência de inseticidas igual a 80%, requerido pelo Ministério da Agricultura (Mapa, 1995) para que se possa registrar um produto inseticida no Brasil, a dose recomendada do produto registrado foi utilizada como dose discriminatória para inferir uma possível falha de controle do inseticida. Portanto,

utilizou-se 80% da mortalidade de bioensaios de exposição a folhas como parâmetro de discernimento para a avaliação de falha de controle potencial (Galdino *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2011; Guedes e Siqueira, 2013). A falha de controle propriamente dita, foi estimada segundo Guedes (2017); $CFL = 100 - [mortalidade\ observada\ (\%) \times 100] \div mortalidade\ esperada$. A mortalidade observada foi corrigida para mortalidade natural seguindo o modelo de Abbott (1925).

2.4. Risco de falha de controle químico em populações de campo

Nos primeiros bioensaios com os inseticidas sintéticos, foram utilizadas pequenas secções de folhas do cartucho de milho não-Bt (RB 9110 PRO isolinha, Riber-KWS Sementes S.A.) imersas por 5 s em solução inseticida na dose registrada e recomendada (150 mL ha⁻¹ para flubendiamida, 125 mL ha⁻¹ para clorantraniliprole, 100 mL ha⁻¹ para espinosade, 600 mL ha⁻¹ para clorpirifós, 150 mL ha⁻¹ para lambda-cialotrina e 750 mL ha⁻¹ para clorfenapir) para o controle de *S. frugiperda* na cultura do milho. Apenas uma dosagem de cada um dos inseticidas foi utilizada, com exceção do tratamento controle onde foi utilizado apenas água para corrigir a mortalidade natural. Após secas, as folhas de milho tratadas foram adicionadas a potes plásticos de 250 mL contendo um disco de papel toalha úmido para evitar a perda de umidade pela folha e manter a qualidade da mesma até o período da avaliação. Foram transferidas 10 lagartas de 2^o-3^o ínstar para cada um dos potes os quais foram mantidos em sala a 27 ± 0.5°C, umidade relativa de 70 ± 15% e fotoperíodo de 14L:10E (Galdino *et al.*, 2011). A mortalidade dos insetos foi avaliada após 48 horas de exposição e as lagartas foram consideradas mortas se observado ausência de movimentação ao tocá-las com um pincel de ponta fina. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com 6 inseticidas, 8 repetições e 7 populações de *S. frugiperda* a serem testadas e seus respectivos controles.

2.4.1. Relação entre tamanho de lagartas e inseticidas

Para avaliar se o tamanho de lagartas influencia na eficiência dos inseticidas selecionados, 6 coletas de lagartas de *S. frugiperda* de tamanhos distintos foram realizadas na região de Viçosa, MG na estação experimental de Coimbra, MG. Os tamanhos foram categorizados como: lagartas pequenas (2º e 3º ínstares, 5-10 mm), médias (4º e 5º ínstares, 11-25 mm) e grandes (6º ínstar, 26-40 mm). O bioensaio foi conduzido seguindo a mesma metodologia de tratamento das folhas de milho com inseticida como descrita anteriormente, exceto a transferência de lagartas. Os insetos foram, logo após a coleta, transferidos individualmente para bandejas de PVC de 16 células (Advento do Brasil, Diadema, SP) contendo 1 secção de folha de milho para cada lagarta pequena e 2 secções de folha para cada lagarta média e grande. Os bioensaios foram executados igualmente para cada inseticida e mantidos sob as mesmas condições ambientais detalhadas previamente. O experimento foi constituído de um total de 48 repetições para cada tamanho de lagarta e inseticida. A sobrevivência foi contabilizada após 24, 48, 72 e 96 horas de exposição.

2.5. Bioensaios com inseticidas indicados para tratamento de semente

Com o intuito de avaliar a eficácia de inseticidas indicados para tratamento de sementes de milho em controlar infestações de *S. frugiperda*, foram montados bioensaios contrastando diferentes inseticidas, idades de lagartas e idade de plântulas. Para tanto, sementes de milho não Bt foram tratadas com os inseticidas imidaclopride+tiodicarbe (350 mL ha⁻¹), carbofurano (20 mL kg⁻¹ de sementes) e clorantraniliprole (75 mL ha⁻¹) nas respectivas dosagens recomendadas pelo Ministério da Agricultura na plataforma AGROFIT para o controle de *S. frugiperda* na cultura do milho (Mapa, 2017b). Para se fazer a aplicação dos inseticidas nas sementes foi feito o cálculo do número total de sementes a serem semeadas por tratamento. Uma vez tratadas, as sementes foram secas à sombra e semeadas em copos plásticos de 300 ml (Copobrás®, São Ludgero, SC). Os copos foram

parcialmente preenchidos com substrato orgânico (Tropstrato HT, Vida Verde Indústria e Comércio de Insumos Orgânicos Ltda, Mogi Mirim, SP, Brasil) e solo de horizonte A de lavoura de café na proporção de 2:1, contendo 10g de superfosfato simples (Fertilizantes Heringer S.A., Manhuaçu MG) por quilo de mistura, necessários para o desenvolvimento da plântula. Inicialmente foram semeadas 3 sementes por copo para garantir a germinação e obtenção de pelo menos uma planta, assim, quando atingido o tamanho adequado, as plântulas foram desbastadas restando uma plântula por copo. As plântulas foram irrigadas diariamente de modo que não houvesse déficit hídrico nem excesso de água para não haver perdas de inseticida por lixiviação. Os bioensaios foram divididos em duas etapas, exposição de lagartas de *S. frugiperda* de tamanhos distintos a plântulas de milho e exposição de lagartas de 6 dias de idade (3º ínstar) a plântulas de milho de diferentes idades ou número de DAP.

Na primeira etapa, as plântulas foram obtidas a partir do plantio escalonado a cada dois dias até que as primeiras plântulas atingissem 11 DAP, que foi o tempo determinado para dar início às infestações. Para a primeira infestação foi transferida uma lagarta neonata (ovos recém eclodidos <24 horas de idade) de *S. frugiperda* por plântula utilizando um pincel de ponta fina. Logo após a transferência, a plântula e a lagarta foram confinadas com um copo plástico de 500 ml transparente de fundo para cima em forma de uma campânula para evitar o escape dos insetos. Para evitar acúmulo de água no interior do copo, a irrigação foi cessada 24 horas antes da transferência das lagartas. As larvas neonatas excedentes foram transferidas individualmente para bandejas plásticas de PVC de 16 células (Advento do Brasil, Diadema, SP) contendo secções de folha de milho não Bt (RB 9110 PRO isolinha, Riber-KWS Sementes S.A.) provenientes do campo para posterior utilização. Dois dias após a primeira infestação procedeu-se a segunda infestação de novas plântulas com 11 DAP. A segunda infestação foi feita com lagartas de 2 dias de idade. Em suma, foram feitas um total de 6 infestações de lagartas com 6 idades

distintas (<24h ou 0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias) em plântulas de 11 DAP, seguindo os procedimentos mencionados anteriormente.

A segunda etapa do experimento foi conduzida de forma semelhante, porém fixou-se a idade das lagartas e variou-se a idade das plântulas. As infestações iniciaram quando todas as plântulas do último dia de plantio escalonado completaram 11 DAP. Foram utilizadas lagartas de 6 dias de idade (3º a 4º ínstar). Todas as plântulas foram infestadas no mesmo dia, totalizando 6 idades distintas de plântulas (11, 13, 15, 17, 19 e 21 DAP), seguindo os procedimentos mencionados anteriormente. Trinta repetições para cada uma das 6 idades de plântulas constituíram o experimento. Este foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três inseticidas e 30 repetições para cada uma das 6 idades. A mortalidade também foi contabilizada após 48 horas. Adicionalmente, os insetos sobreviventes da primeira etapa do bioensaio de tratamento de sementes tiveram sua biomassa anotada a fim de avaliar a inibição de crescimento (IC).

2.6. Análises estatísticas

Os dados gerados no experimento de risco de falha de controle potencial e estimativa de quantificação de dano foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando programa SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA), e a comparação de médias entre tratamentos foi realizada com o teste Scott-Knott a uma probabilidade de 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011).

No experimento de tamanho de lagarta vs. inseticidas foliares, curvas de sobrevivência foram estimadas pelo método de Kaplan-Meier para avaliar a sobrevivência das lagartas em função do tempo. O teste de log-rank foi utilizado para determinar se existe pelo menos uma curva que se difere das demais na distribuição de sobrevivência entre os tratamentos. Em seguida usou-se o teste de Holm-Sidak para comparações

múltiplas entre os tratamentos se pertinente. Esses procedimentos foram feitos utilizando o software SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA).

Análise de regressão linear foi utilizada para descrever relação entre idade da plântula de milho ou da lagarta e a expectativa de mortalidade quando exposta ao inseticida do tratamento de sementes.

3. Resultados

3.1. Avaliação do risco da falha de controle

A sobrevivência dos insetos no tratamento controle foi maior que 95% em todas as populações testadas, mostrando que o método de bioensaio utilizado foi adequado. A população Embrapa de laboratório, caracterizada como suscetível, teve mortalidade superior a 80% a todos inseticidas (Figura 1). Clorfenapir causou 100% de mortalidade para as populações de campo testadas. Já lambda-cialotrina causou baixa mortalidade para todas as todas as populações testadas, exceto para a população controle (Tabela 1). Flubendiamida, clorantraniliprole, espinosade e clorpirifós apresentaram falhas de controle para apenas algumas das populações de *S. frugiperda* (Tabela 1). Com exceção do clorfenapir, os demais inseticidas causaram mortalidade inferior a 80% nos insetos de Nova Mutum (Figura 1), apresentando risco de falha de controle (Tabela 1).

3.2. Relação entre o tamanho da lagarta e a sobrevivência ao inseticida

Spodoptera frugiperda de três categorias de tamanho (pequena, média e grande) exibiu baixos níveis de sobrevivência aos inseticidas clorantraniliprole e espinosade; ao inseticida clorfenapir, não houve sobrevivência (Figura 2). Entretanto, flubendiamida, clorpirifós e lambda-cialotrina permitiram níveis baixos a elevados de sobrevivência de lagartas (25 a 95%), dado que lagartas médias e grandes no tratamento clorpirifós e lagartas pequenas, médias e grandes em lambda-cialotrina não apresentaram diferença significativa ($P > 0.05$) de sobrevivência entre os grupos controle (Figura 2). Não obstante,

lagartas pequenas (2^o e 3^o ínstaes, 5-10 mm) sobrevivem menos que lagartas maiores como mostra a curva do inseticida clorpirifós. Isso demonstra que alguns compostos devem ser ineficientes para o controle de tamanhos distintos de lagarta-do-cartucho do milho.

3.3. Tratamento de sementes

A mortalidade de lagartas diminuiu linearmente com o aumento do tamanho das lagartas para os inseticidas clorantraniliprole e cabofurano ($P < 0,05$). Nos demais tratamentos, as médias foram o melhor preditor da mortalidade das lagartas ($P < 0,05$), ou seja, a mortalidade causada se manteve no mesmo patamar. No experimento onde lagartas de diferentes idades foram expostas a plântulas de milho (11 DAP), o inseticida imidaclopride+tiodicarbe exibiu mortalidade total dos insetos de todas as idades (0, 2, 4, 6, 8, 10 dias).

O inseticida clorantraniliprole causou níveis de mortalidade maiores que o tratamento carbofurano (Figura 3a). Lagartas de até 2 dias de idade são controladas com maior eficiência no tratamento de sementes com imidaclopride+tiodicarbe e clorantraniliprole (Figura 3a).

A mortalidade não variou à medida que plântulas cresceram, isto é, a mortalidade de lagarta-do-cartucho se manteve constante (Figura 3b). O tratamento de sementes com imidaclopride+tiodicarbe em plântulas de idades distintas causou maior mortalidade nas lagartas, seguido dos tratamentos com clorantraniliprole e carbofurano. (Figura 3b). O tratamento com carbofurano exibiu níveis de mortalidades constantes, porém baixos, com valores que interceptaram a curva do tratamento controle em dois pontos (15 e 21 dias de idade de plântulas). Independente da idade de lagarta ou idade de plântulas testadas, o inseticida imidaclopride+tiodicarbe apresentou mortalidades elevadas para o controle da lagarta-do-cartucho do milho *S. frugiperda* (Figura 3b). Ademais, os insetos

sobreviventes de idades distintas dos tratamentos com clorantraniliprole tiveram uma inibição de crescimento de $57,4 \pm 3,6\%$. Contrariamente, o tratamento com carbofurano apresentou um favorecimento no crescimento de $22,8 \pm 9,0\%$ (Figura 3c).

4. Discussão

Este estudo mostrou que no estado do Mato Grosso pelo menos um inseticida para cada uma das 5 regiões apresentou falha de controle em populações da lagarta-do-cartucho. Mato Grosso é o estado de maior produção de milho e soja, e de maior aplicação de inseticidas (Conab, 2017).

Conseqüentemente, é possível que essas populações sejam resistentes aos inseticidas testados, ocasionando falhas de controle a campo. Os bioensaios revelaram não haver risco de falha de controle de flubendiamida para a população de Casa Branca, SP (i.e, 83.12% mortalidade, CFL = 0.00), apesar de suspeitas de falha de controle desse inseticida observadas a campo. Portanto, esse inseticida pode ser utilizado nessa localidade de acordo com as recomendações sugeridas, diferentemente da população de Viçosa que apresentou alta probabilidade de falha de controle para esse inseticida (i.e, 0.86% mortalidade, CFL = 98.93), podendo haver indícios de resistência a diamidas nessa área (Irac, 2017).

O inseticida clorfenapir não exibiu risco falha de controle para nenhuma população. Clorfenapir (análogo de pirazol) é considerado um composto potente contra *S. frugiperda* e outros artrópodes (i.e, Coleoptera e Acarina), agindo como desacoplador da fosforilação oxidativa (Black *et al.*, 1994; Hunt e Treacy, 1998; Argentine *et al.*, 2002; Decombel *et al.*, 2004). A população de Nova Mutum apresentou risco falha de controle para todos inseticidas, exceto clorfenapir, sendo o local de coleta onde as populações devem apresentar maiores níveis de resistência a esses compostos. O inseticida lambda-cialotrina apresentou risco de falha de controle para todas as populações testadas em

laboratório (Tabela 1), indicando que também pode haver falha de controle dessas populações a campo. Uma causa das causas desse problema pode ser a exposição repetida das populações a esse inseticida ocasionando seleção desses insetos para resistência (Carvalho *et al.*, 2013). Resistência a lambda-cialotrina em populações de campo de *S. frugiperda* já foi documentada no Brasil e na Colômbia (Diez-Rodríguez e Omoto, 2001; Ríos-Díez e Saldamando-Benjumea, 2011).

Os resultados mostram que o inseticida clorantroliprole foi mais eficiente que flubendiamida no controle de lagartas de *Spodoptera frugiperda* de tamanhos diferentes, apesar de compartilharem o mesmo mecanismo de ação (Figura 2). Estes inseticidas são diamidas derivadas do ácido antranílico e ftálico, respectivamente, e são classificados como moduladores dos receptores de rianodina, causando ativação da liberação desregulada de Ca^{2+} na célula muscular ocasionando contração muscular irregular e posterior cessação da alimentação, letargia, paralisia e morte (Ribeiro, 2014). Apesar de clorantroliprole e flubendiamida serem inseticidas relativamente novos no mercado, o desenvolvimento de resistência e resistência cruzada em *S. frugiperda* é provável se houver forte pressão de seleção, como ocorreu em traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (L.) e em traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Yan *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015; Roditakis *et al.*, 2015). Em contraste com os resultados deste trabalho, onde os insetos testados para o inseticida flubendiamida podem ter apresentado menor sensibilidade do sítio de ação ao inseticida, ocasionando menor mortalidade quando comparado ao clorantroliprole.

Lagartas médias e grandes sobreviveram mais que lagartas pequenas a alguns inseticidas (flubendiamida e clorpirifós), provavelmente devido à baixa suscetibilidade de ínstares mais avançados (4º, 5º e 6º), que pode ser explicada pela presença de enzimas detoxificativas como oxidases microssomais, glutathione S-transferase, hidrolases e redutases (Yu, 1983; Yu, S. *et al.*, 2003; Dourado, 2009). Desse modo, lambda-cialotrina

apresentou alta ineficiência (sobrevivência > 77%) tanto para lagartas médias e grandes quanto lagartas pequenas, corroborando os resultados do primeiro experimento. Portanto, é provável que as populações de *S. frugiperda* da região de Viçosa, MG possam apresentar resistência a piretroides, porém múltiplos mecanismos de resistência podem estar envolvidos (detoxificação enzimática e insensibilidade do sítio de ação) (Yu, 1991; Diez-Rodríguez e Omoto, 2001; Yu, S. *et al.*, 2003; Hardke *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2013).

Embora espinosade tenha controlado lagartas de todos os tamanhos, é necessário monitorar o uso de espinosinas (espinosade e espinetoram), pois a resistência já havia sido observada em populações de *S. frugiperda* e *T. absoluta* (Campos *et al.*, 2014; Okuma *et al.*, 2017). Novamente, não houve sobrevivência de nenhum tamanho de lagarta ao inseticida clorfenapir como já confirmado por outros estudos que mostram que clorfenapir foi eficaz não apenas para o controle de *S. frugiperda*, mas também para o controle de *Spodoptera exigua* (Hubner) e *Heliothis virescens* (F.) (Argentine *et al.*, 2002). Portanto, este inseticida deve ser utilizado na rotação de novos inseticidas com inseticidas clássicos que já apresentam falha de controle a campo (Burtet *et al.*, 2017).

O inseticida composto da mistura imidaclopride + tiodicarbe foi o mais eficiente no controle de lagartas de *S. frugiperda* via tratamento de sementes (mortalidade igual a 100% em lagartas de 0 a 10 dias e superior a 86% de 11 a 21 dias após o plantio). Isso indica que o inseticida é sistêmico, via xilema (translocação acrópeta), e as concentrações absorvidas e distribuídas pelas plântulas foram letais às lagartas. Cruz (1996) e Ceccon *et al.* (2004) também relataram eficiência do tratamento de sementes com tiodicarbe para controle de lagarta-do-cartucho, embora Yu (1991) já tenha observado resistência a esse inseticida em populações da Flórida. Um fator preocupante desse inseticida é o imidaclopride (neonicotinoide) que tem como alvo insetos sugadores e pode ser

prejudicial a abelhas *Bombus*, contudo é eficiente para o controle de cigarrinha-do-milho *Daubulus maidis* (De Oliveira *et al.*, 2007; Rundlöf *et al.*, 2015).

Neste estudo, o inseticida clorantraniliprole exibiu uma alta eficiência de controle (i.e, mortalidade > 80%) de ínstaes iniciais de *S. frugiperda* e em plântulas de 11 e 21 DAP, provavelmente porque a fase inicial da lagarta deve ser muito suscetível a compostos químicos e possuir sistema imune menos ativo. Do mesmo modo, clorantraniliprole foi eficiente para o controle de 2º ínstar de *S. frugiperda* em tratamento de sementes de soja (*Glycine max* L.) (Thrash *et al.*, 2013). Por outro lado, o inseticida carbofurano não foi tão eficiente quanto clorantraniliprole e imidaclopride+tiodicarbe, um fato que também foi observado em trabalho realizado com tratamento de sementes de milho e sorgo na Universidade Federal de Pelotas, no Rio Grande do Sul (Azevedo *et al.*, 2004). Supostamente, baixa sensibilidade do sítio de ação do carbofurano ou padrão de distribuição não uniforme do inseticida nos tecidos da plântula podem ser a causa das baixas mortalidades (Mrlina *et al.*, 1994; Yu, S. *et al.*, 2003; Azevedo *et al.*, 2004; Olson *et al.*, 2004).

Neste estudo também observou-se que clorantraniliprole inibe o crescimento de lagartas (i.e, $57,4 \pm 3,6\%$ IC), indicando que, mesmo tendo seu crescimento inibido, as lagartas sobreviveram podendo causar dano em plântulas de milho ou sofrer efeito subletal que merece atenção em futuras investigações. Diferentemente de clorantraniliprole, o inseticida carbofurano estimulou o crescimento de lagartas em $22,8 \pm 9,0\%$. Se isto de fato ocorrer a campo, o uso de carbofurano pode estimular crescimento larval ao invés de causar mortalidade (Guedes, 2017). É importante mencionar que o uso de carbofurano em milho foi excluído de registro no Ministério da Agricultura (Mapa, 2017a).

Em suma, neste trabalho a maioria dos inseticidas testados apresentam risco de falha de controle. Os inseticidas foliares são mais prováveis de serem eficientes para

lagartas menores (2-3^o ínstar), sendo diamidas, espinosina e análogo de pirazol os inseticidas que ainda se mantêm eficientes para controlar lagarta-do-cartucho (pode variar com a população). Por fim, o tratamento de semente parece ser útil no controle de lagarta-do-cartucho, apresentando um efeito residual prolongado em plântulas de milho.

5. Referências

ABBOTT, W. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **J.Econ. Entomol**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.

ARGENTINE, J. A. et al. Potency, spectrum and residual activity of four new insecticides under glasshouse conditions. **Florida Entomologist**, v. 85, n. 4, p. 552-562, 2002. ISSN 0015-4040.

AZEVEDO, R. et al. Efeito do tratamento de sementes e aplicações foliares de inseticidas em diferentes volumes de calda, no controle de *Spodoptera frugiperda* (JE SMITH, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae), nas culturas do milho e sorgo em agroecossistema de várzea. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, 2004. ISSN 2317-2436.

BLACK, B. C. et al. Insecticidal action and mitochondrial uncoupling activity of AC-303,630 and related halogenated pyrroles. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 50, n. 2, p. 115-128, 1994. ISSN 0048-3575.

BURTET, L. M. et al. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in south Brazil. **Pest Management Science**, 2017. ISSN 1526-4998.

CAMPOS, M. R. et al. Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: a bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. **PloS One**, v. 9, n. 8, p. e103235, 2014. ISSN 1932-6203.

CARROLL, M. J. et al. Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae to volatiles from herbivore-damaged maize seedlings. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 9, p. 1911-1924, 2006. ISSN 0098-0331.

CARVALHO, R. A. et al. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PloS One**, v. 8, n. 4, p. 11, Apr 2013. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000317907200129 >.

CASIDA, J. E.; DURKIN, K. A. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. In: BERENBAUM, M. R. (Ed.). **Annual Review of Entomology, Vol 58**. Palo Alto: Annual Reviews, v.58, 2013. p.99-117. (Annual Review of Entomology). ISBN 978-0-8243-0158-3.

CASIDA, J. E.; QUISTAD, G. B. Why insecticides are more toxic to insects than people: The unique toxicology of insects. **Journal of Pesticide Science**, v. 29, n. 2, p. 81-86, 2004. ISSN 1348-589X. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000222378200001 >.

CECCON, G. et al. Efeito de inseticidas na semeadura sobre pragas iniciais e produtividade de milho safrinha em plantio direto. **Bragantia**, v. 63, n. 2, 2004. ISSN 0006-8705.

CONAB. **Levantamento de Safras**. p. 12^o Levantamento de Safra de Milho, janeiro/2018 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf>. Acesso em: 08/02/2018.

CRUZ, I. Efeito do tratamento de sementes de milho com inseticidas sobre o rendimento de grãos. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1996.

CRUZ, I.; BIANCO, R. Manejo de pragas na cultura de milho safrinha. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**, 2001, In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 6.; CONFERÊNCIA NACIONAL DE PÓS-COLHEITA, 2.; SIMPÓSIO EM ARMAZENAGEM DE GRÃOS DO MERCOSUL, 2., 2001, Londrina. Valorização da produção e conservação de grãos no Mercosul: resumos e palestras. Londrina: FAPEAGRO: IAPAR, 2001. p. 79-112.

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1999.

DE OLIVEIRA, C. M. et al. Controle químico da cigarrinha-do-milho e incidência dos enfezamentos causados por molicutes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 297-303, 2007. ISSN 1678-3921.

DECOMBEL, L.; SMAGGHE, G.; TIRRY, L. Action of major insecticide groups on insect cell lines of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, compared with larvicidal toxicity. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal**, v. 40, n. 1, p. 43-51, 2004. ISSN 1543-706X.

DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 311-316, 2001. ISSN 1519-566X.

DOURADO, P. M. **Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a spinosad no Brasil**. Tese (Mestrado em Entomologia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. ISSN 1413-7054.

GALDINO, T. V. D. et al. Bioassay method for toxicity studies of insecticide formulations to *Tuta absoluta* (MEYRICK, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 869-877, Sep-Oct 2011. ISSN 1413-7054. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000298108600002 >.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 43, n. 1, p. 701-726, 1998. ISSN 0066-4170.

GUEDES, R.; SIQUEIRA, H. The tomato borer *Tuta absoluta*: insecticide resistance and control failure. **Plant Sciences Reviews** 2012, p. 245, 2013. ISSN 1780643004.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, n. 3, p. 479-484, Mar 2017. ISSN 1526-498X. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000394657600001 >.

HARDKE, J. T. et al. Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist**, v. 94, n. 2, p. 272-278, 2011. ISSN 0015-4040.

HUNT, D.; TREACY, M. Pyrrole insecticides: a new class of agriculturally important insecticides functioning as uncouplers of oxidative phosphorylation. In: (Ed.). **Insecticides with Novel Modes of Action**: Springer, 1998. p.138-151.

IRAC. **Insecticide resistance management guidelines for insect pests of corn, soybean and cotton in Brazil**. 2017. Disponível em: < <http://www.irc-online.org/documents/brazil-irm-recommendations-soybean-cotton-and-corn/> >.

JAMES, C. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops, 2009**. International Service for the Acquisition of AgriBiotech Applications, 2009. ISBN 1892456486.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014**. ISAAA brief, v. 49, 2015.

KASTEN JR, P.; PRECETTI, A.; PARRA, J. Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. **Revista de Agricultura**, 1978. ISSN 0034-7655.

KHODAVERDI, H. et al. Does drought increase the risk of insects developing behavioral resistance to systemic insecticides? **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 5, p. 2027-2031, 2016. ISSN 1938-291X.

LIU, X. et al. Resistance selection and characterization of chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1978-1985, 2015. ISSN 1938-291X.

MAPA. **Normas e exigências para execução de testes de produtos químicos para fins de registro no MAPA**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Brasília, Brazil; 1995 1995.

MAPA. **Exclusão de Culturas** - ATO nº93. AGROFIT, 14/11/2017 2017a. Disponível em: < http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/agrofit.ap_download_blob_agrofit?p_id_file=158309&p_nm_file=F996751338/Carboran%20Fersol%20350%20SC-%20R.%201078903.docx >. Acesso em: 19 de fevereiro.

MAPA. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, AGROFIT**. Brasília, Brazil, 2017b. Disponível em: < http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons >. Acesso em: October 27.

MATTEN, S. R. EPA regulation of plant-pesticides and Bt plant-pesticide resistance management. **Agricultural Biotechnology and Environmental Quality: Gene Escape and Pest Resistance**, v. 10, p. 99-06, 1998.

MRLINA, G.; LEMPERIERE, G.; CALMON, J. P. Determination and uptake of carbosulfan and carbofuran in young douglas firs (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 7, p. 1569-1571, 1994. ISSN 0021-8561.

OERKE, E. C.; DEHNE, H. W. Safeguarding production - losses in major crops and the role of crop protection. **Crop Protection**, v. 23, n. 4, p. 275-285, Apr 2004. ISSN 0261-2194. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000220036000001 >.

OKUMA, D. M. et al. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. **Pest Management Science**, 2017. ISSN 1526-4998.

OLIVEIRA, C. M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, Feb 2014. ISSN 0261-2194. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000329951900008 >.

OLSON, E.; DIVELY, G.; NELSON, J. Bioassay determination of the distribution of imidacloprid in potato plants: implications to resistance development. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, n. 2, p. 614-620, 2004. ISSN 0022-0493.

RIBEIRO, R. D. S. **Monitoramento da suscetibilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas diamidas no Brasil**. Tese (Doutorado em Entomologia), Universidade de São Paulo, 2014.

RÍOS-DÍEZ, J.; SALDAMANDO-BENJUMEA, C. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, methomyl and lambda-cyhalothrin: a study of the genetic basis of resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 5, p. 1698-1705, 2011. ISSN 0022-0493.

RODITAKIS, E. et al. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. **Journal of Pest Science**, v. 88, n. 1, p. 9-16, 2015. ISSN 1612-4758.

ROUSH, R. T. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: can transgenic crops be better than sprays? **Biocontrol Science and Technology**, v. 4, n. 4, p. 501-516, 1994. ISSN 0958-3157.

RUNDLÖF, M. et al. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 77, 2015. ISSN 1476-4687.

SAWICKI, R. M. Definition, detection and documentation of insecticide resistance. **Combating Resistance to Xenobiotics: Biological and Chemical Approaches/edited by MG Ford...[et al.]**, 1987.

SILVA, G. A. et al. Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. **Pest Management Science**, v. 67, n. 8, p. 913-920, 2011. ISSN 1526-4998.

SPARKS, A. N. A review of the biology of the fall armyworm. **Florida Entomologist**, p. 82-87, 1979. ISSN 0015-4040.

TABASHNIK, B. E.; BRÉVAULT, T.; CARRIÈRE, Y. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. **Nature Biotechnology**, v. 31, n. 6, p. 510, 2013. ISSN 1546-1696.

THRASH, B. et al. Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. **Florida Entomologist**, v. 96, n. 3, p. 724-728, 2013. ISSN 0015-4040.

WEDDING, R. Plant physiological aspects of the use of systemic insecticides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 1, n. 13, p. 832-834, 1953. ISSN 0021-8561.

YAN, H.-H. et al. Flubendiamide resistance and Bi-PASA detection of ryanodine receptor G4946E mutation in the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 115, p. 73-77, 2014. ISSN 0048-3575.

YU, S. Age variation in insecticide susceptibility and detoxification capacity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larva. **Journal of Economic Entomology**, v. 76, n. 2, p. 219-222, 1983. ISSN 1938-291X.

YU, S. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 39, n. 1, p. 84-91, 1991. ISSN 0048-3575.

YU, S.; NGUYEN, S.; ABO-ELGHAR, G. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, n. 1, p. 1-11, 2003. ISSN 0048-3575.

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**, v. 77, n. 1, p. 1-11, Sep 2003. ISSN 0048-3575. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000185267500001 >.

Figuras e Tabelas

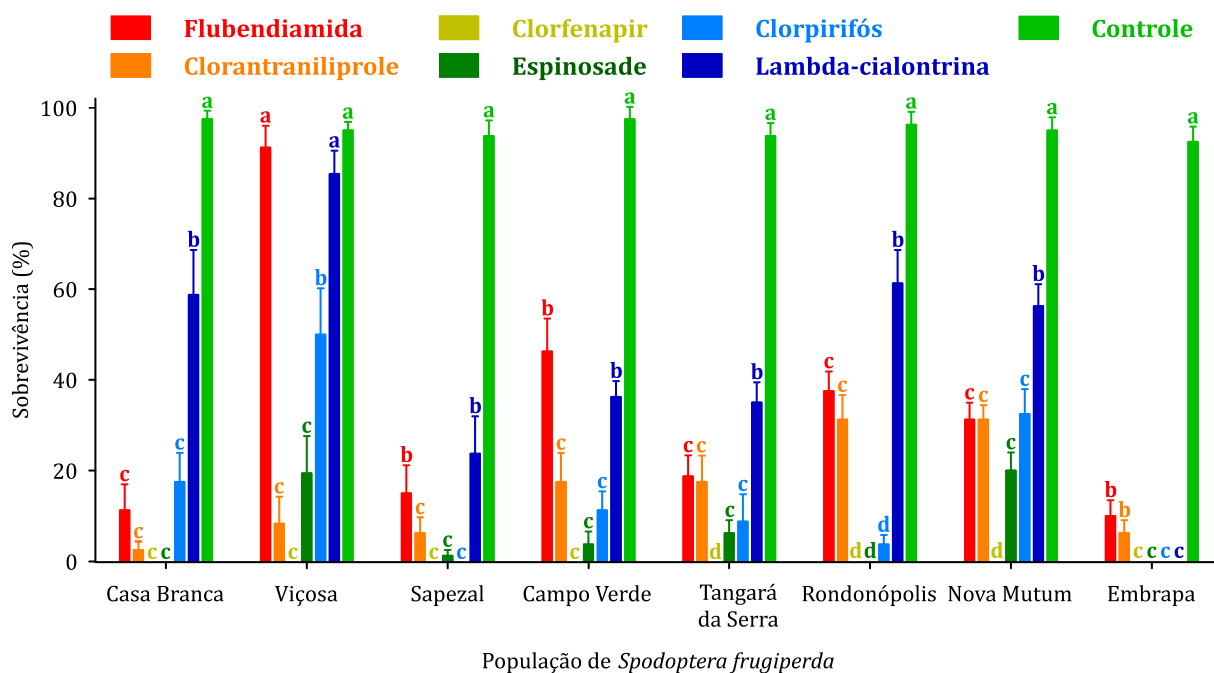


Figura 1. Sobrevivência larval de populações da lagarta-do-cartucho a inseticidas sintéticos. Os dados são médias \pm erros padrão da sobrevivência de lagartas a folhas tratadas ou não-tratadas com inseticidas com 48 h de exposição. As letras diferentes sobre as barras de erro indicam diferença significativa entre inseticidas dentro de cada população (teste de Scott-Knot, $P < 0,05$).

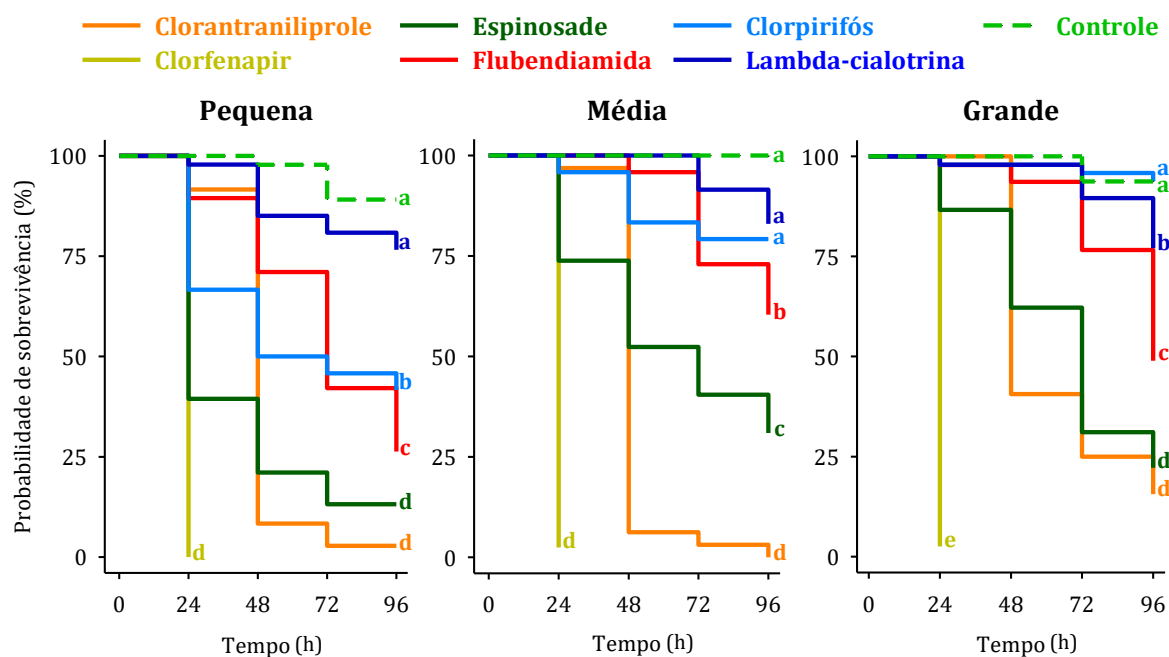


Figura 2. Sobrevivência a inseticidas sintéticos em lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* de tamanhos distintos de Viçosa, MG. Diferentes cores de curvas indicam tamanhos de lagarta (pequena, média e grande). Curvas seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa entre as mesmas (teste de Holm-Sidak, $P < 0,05$).

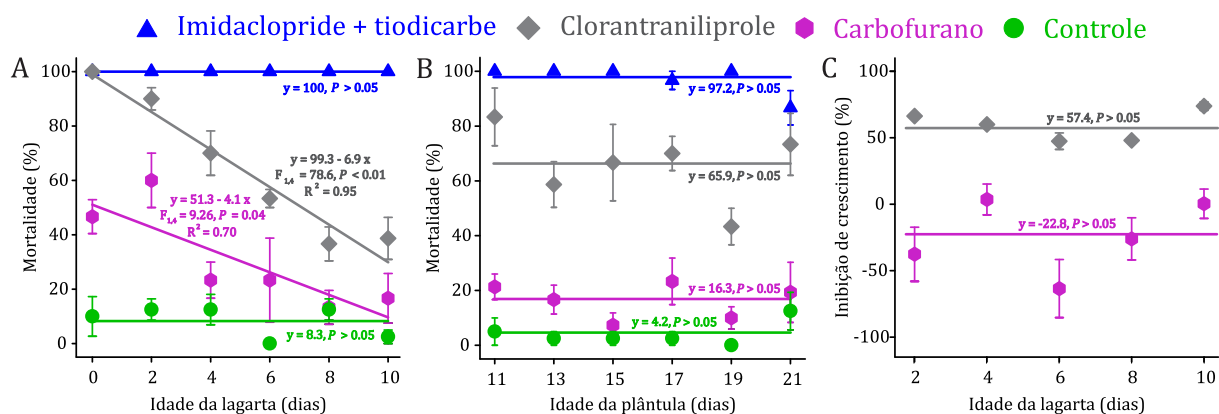


Figura 3. Resposta da lagarta-do-cartucho a plântulas de milho cujas sementes foram tratadas com inseticidas nas dosagens recomendadas. **(a)** Mortalidade de lagartas de idades variando de 0 (< 24 h) a 10 dias quando transferidas para plântulas de milho com 11 dias após o plantio. **(b)** Mortalidade de lagartas de 6 dias (3^o ínstar larval) em função de diferentes idades de plântulas, variando de 11 a 21 dias após o plantio. **(c)** Inibição de crescimento das lagartas sobreviventes (clorantraniliprole e carbofurano) de **(a)**. Os dados são médias \pm erros padrão da mortalidade larval em 48 h de exposição e as linhas de regressão linear descrevem a relação entre idade das lagartas ou idade de plântulas e a mortalidade pelo inseticida.

1 **Tabela 1.** Estimativa do risco de falha de controle por inseticidas em populações da lagarta-do-cartucho com base nas doses recomendadas pelo Ministério
2 da Agricultura (MAPA).

Inseticidas	Casa Branca	Viçosa	Sapezal	Campo Verde	Tangará da Serra	Rondonópolis	Nova Mutum	Embrapa
Flubendiamida	83.12 [0.00]	0.86 [98.93]*	78.35 [2.06]*	46.70 [41.63]*	75.93 [5.09]*	57.93 [27.59]*	64.37 [19.54]*	86.12 [0.00]
Clorantraniliprole	95.83 [0.00]	85.49 [0.00]	90.22 [0.00]	76.30 [4.63]*	76.03 [4.96]*	63.19 [21.01]*	64.99 [18.77]*	90.71 [0.00]
Clorfenapir	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]	100.00 [0.00]
Espinosade	100.00 [0.00]	71.66 [10.43]*	97.42 [0.00]	93.62 [0.00]	90.79 [0.00]	100.00 [0.00]	75.63 [5.46]*	100.00 [0.00]
Clorpirifós	76.10 [4.88]*	37.97 [52.54]*	100.00 [0.00]	84.77 [0.00]	84.90 [0.00]	94.36 [0.00]	61.30 [23.38]*	100.00 [0.00]
Lambda-cialotrina	30.80 [61.50]*	6.55 [91.82]*	67.21 [15.98]*	60.50 [24.38]*	59.33 [25.84]*	30.83 [61.47]*	37.65 [52.94]*	100.00 [0.00]

3 * Mortalidades significativamente menores que 80% indicando que a dose recomendada do inseticida é menor que o menor limiar de mínima eficiência para a população