

CONTROLE QUÍMICO

Uso Eficaz de Benzoato de Emamectina Para o Manejo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em MilhoFÁTIMA T. RAMPELOTTI-FERREIRA¹, LEONARDO V. THIESEN², JANAINA DE N. CORASSA³, ADRIANA NARDON⁴,
LEANDRO V. DOS SANTOS⁵, DANIEL ROSA⁶ E RAFAEL M. PITTA⁷¹Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Alexandre Ferronato, 1200. CEP 78550-728, Sinop-MT, Brasil. E-mail: frampelotti@hotmail.com²Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11. CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: leonardo.thiesen@usp.br³Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Alexandre Ferronato, 1200. CEP 78550-728, Sinop-MT, Brasil. E-mail: janadenadai@gmail.com⁴Syngenta Proteção de Cultivos. Estrada Municipal HBR 333, s/n, CEP 13825-000, Holambra, SP, Brasil. E-mail: adriana.nardon@syngenta.com⁵Syngenta Proteção de Cultivos. Av. Nações Unidas, nº 17.007 - Torre Sigma -11º andar Bairro Várzea de Baixo, CEP 04730-090, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: leandro.valerim@syngenta.com⁶Syngenta Proteção de Cultivos. Rodovia BR452, km 142, CEP 38405-232, Uberlândia, MG, Brasil. E-mail: daniel.rosa@syngenta.com⁷Embrapa Agrossilvipastoril. Rodovia MT 222, Km 2,5. Sinop-MT, Brasil. E-mail: rafael.pitta@embrapa.br

*BioAssay 12: ba12001 (2021)*Effective Use of Emamectin Benzoate for the Management of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Maize

ABSTRACT - Emamectin benzoate has been largely used for controlling lepidopterans larvae in grains and fiber crops and, therefore, selection of resistant populations to this pesticide is a real risk if ignored the insect resistance management (IRM) strategies. We studied the susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) populations in the state of Mato Grosso - Brazil to Emamectin benzoate as well as a field study about Mode of Action rotation including this compound. Low variations in susceptibility (resistance ratios, 1,01-7,31 fold) were detected among the evaluated *S. frugiperda* populations. The field study reinforced our monitorings outcome that Emamectin Benzoate controls *S. frugiperda* and its use in IRM in Mato Grosso is practicable. Susceptibility monitoring should be continuous in order to detect possible increases of tolerance rates not only for this pesticide but also for all compounds used for this pest management aiming to apply early mitigation actions.

KEY WORDS - insect resistance management; mode of action rotation; fall armyworm; avermectin

RESUMO - Benzoato de Emamectina tem sido amplamente utilizado para o controle de lepidópteros-praga em cultivos de grãos e fibras e, portanto, há o risco de seleção de populações resistentes caso as estratégias de manejo da resistência não sejam respeitadas. Portanto, objetivou-se com este estudo monitorar a suscetibilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Mato Grosso assim como avaliar a efetividade de controle de *S. frugiperda* em campo com rotações de grupos químicos incluindo esse inseticida. Houve baixa variabilidade nos níveis de suscetibilidade entre as populações de *S. frugiperda* (razões de resistência entre 1,01 e 7,31 vezes). Os resultados de controle em campo reforçaram os valores obtidos no monitoramento de suscetibilidade e, portanto, o uso

desse inseticida em um programa de rotação de grupos químicos em Mato Grosso é viável. Monitoramentos de suscetibilidade devem ser constantes para todos os ingredientes ativos utilizados no controle dessa espécie para que possíveis evoluções nos níveis de tolerância sejam detectadas no início e então, ações mitigadoras possam ser implementadas rapidamente.

PALAVRAS-CHAVE - Manejo da resistência; rotação de modos de ação, lagarta do cartucho, avermectina.

A lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é considerada uma das principais pragas da cultura do milho no Brasil e em outros países da América do Sul (Cruz *et al.* 2012). Esta espécie invadiu nos últimos anos o continente africano (Goergen *et al.* 2016) e foi relatada pela primeira vez na Ásia em 2018 (Shylesha *et al.* 2018). Desde então, se dispersou para outros países asiáticos (Guo *et al.* 2018, CABI 2019, NATESC 2019, Wu *et al.* 2019) e recentemente foi detectada na Oceania (IPPC 2020).

O controle de *S. frugiperda* é realizado predominantemente por inseticidas químicos, além do amplo uso de cultivares transgênicas nas culturas do milho e do algodão que expressam proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Berliner). Pulverizações sequenciais com baixa alternância entre grupos químicos e fatores bioecológicos do inseto tem favorecido a seleção de populações resistentes a diversos ingredientes ativos assim como proteínas Bt (Boaventura *et al.* 2020, Mota-Sanchez & Wise 2021).

A resistência a inseticidas é um entrave nos programas de manejo de pragas (Whalon *et al.* 2008) e, portanto, o monitoramento da suscetibilidade das espécies pragas aos inseticidas assim como testes de eficiência agrônômica em campo desses inseticidas são fundamentais para o manejo adequado das moléculas disponíveis no mercado por auxiliarem em tomadas de decisão assertivas e seguras para o controle de insetos-praga.

Entre os inseticidas utilizados no manejo de *S. frugiperda*, Benzoato de Emamectina representa uma avermectina em crescente utilização no manejo de insetos. Segundo o Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC), este inseticida enquadra ao modo de ação 6 (MoA 6) e pertence ao grupo dos moduladores alostéricos de canais de cloro mediados pelo glutamato (IRAC 2021). Portanto, quando o inseticida se liga aos canais de cloro, inicia-se o fluxo de cloro para o interior das células neurais que resulta na perda da função celular e interrupção do impulso nervoso paralisando o inseto irreversivelmente e, deste modo, cessando atividade alimentar. Sua atuação se dá por contato e ingestão, sendo a ingestão considerada a principal via de intoxicação (Jansson & Dybas 1996).

Considerando que o custo e o tempo para produzir novos produtos são elevados (Sparks 2013, Sparks & Lorschbach 2017), programas de Manejo da Resistência de Insetos (MRI) são essenciais para retardar a evolução da resistência e seleção de populações resistentes, permitindo prolongar o tempo de uso dos inseticidas. Entre as estratégias do MRI, a rotação de moléculas inseticidas com modo de ação distintos é comumente utilizada devido sua praticidade e eficiência (Tabashnik 1990, Chen & Stelinski 2017, Sudo *et al.* 2018).

O uso comercial de Benzoato de Emamectina no Brasil teve início em 2014 para uso emergencial no controle de

Helicoverpa armigera (Hübner, 1809) (MAPA 2014). Entre as culturas anuais, o emprego de Benzoato de Emamectina era comum na cultura da soja, uma vez que nas culturas de milho e algodão, também hospedeiras de *H. armigera*, a maioria das cultivares já expressavam proteínas Bt com efetivo controle dessa espécie. Nesse período as infestações de *S. frugiperda* em soja eram baixas (Justiniano *et al.* 2014) e, portanto, a espécie foi pouco exposta as aplicações com Benzoato de Emamectina.

Recentemente esse inseticida foi introduzido no sistema produtivo para controle de *S. frugiperda* e, portanto, espera-se que a pressão de seleção de indivíduos resistentes a essa molécula no início de seu uso fosse baixa quando comparada à outras moléculas tradicionalmente utilizadas durante vários anos para o controle dessa espécie, como por exemplo, o estudo de Nunes *et al.* (2019) em que todas populações de *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) coletadas em Mato Grosso em 2018 eram suscetíveis a Benzoato de Emamectina. No entanto, apesar do curto histórico de uso desse inseticida para o controle de lepidópteros, reclamações de ineficiência de controle de *S. frugiperda* em campo começaram a veicular entre os produtores rurais desse estado (Pitta, comunicação pessoal).

Em posse dessas informações, objetivou-se com este estudo monitorar a suscetibilidade de populações de *S. frugiperda* em Mato Grosso e avaliar a eficiência de distintos manejos de rotação de Modos de Ação, contendo Benzoato de Emamectina, para o controle de *S. frugiperda* em milho.

Material e Métodos

Para o monitoramento da suscetibilidade foram avaliadas 14 populações coletadas em municípios produtores de milho no estado de Mato Grosso na safra de 2018 (Tabela 1), além de uma linhagem suscetível de referência (SUS) de *S. frugiperda* mantida em laboratório sob dieta artificial (Parrá 2001) sem exposição a inseticidas por mais de 12 gerações. As lagartas coletadas em campo foram levadas ao laboratório e transferidas para tubos de criação contendo dieta artificial. Pupas e adultos foram mantidos em gaiolas de PVC, sendo os adultos alimentados com solução aquosa de sacarose a 10%. As posturas obtidas a cada dois dias foram retiradas e colocadas em placas acrílicas contendo dieta artificial. Após atingirem segundo ínstar, as lagartas foram transferidas e mantidas em novas placas até a instalação dos bioensaios. Os insetos foram criados em temperatura de 24±2 °C, UR de 70±10% e fotoperíodo de 14h.

O método de bioensaio utilizado foi de ingestão por superfície da dieta artificial tratada com o inseticida. Foram utilizadas placas plásticas (Costar®, Cambridge, Massachusetts, EUA) com 24 células (1,91 cm² cada célula),

Tabela 1. Populações de *S. frugiperda* monitoradas quanto a suscetibilidade a Benzoato de Emamectina em Mato Grosso na safra de 2018.

População	N. de indivíduos coletados	Latitude	Longitude
Campo verde	146	15° 29' 42"	55° 21' 56"
Cláudia	144	11° 19' 52"	54° 45' 56"
Diamantino	150	14° 06' 35"	56° 25' 05"
Feliz Natal	138	12° 22' 24"	54° 54' 14"
Ipiranga do Norte	156	12° 12' 29"	55° 58' 33"
Lucas do Rio verde	196	12° 49' 07"	55° 55' 25"
Nova Mutum	163	13° 41' 43"	55° 57' 19"
Ouro Branco	146	17° 26' 08"	54° 39' 47"
Primavera do Leste	147	15° 31' 23"	54° 55' 37"
Quêrência	150	12° 25' 45"	52° 21' 07"
Rondonópolis	125	16° 52' 30"	54° 43' 54"
Serra da Petrovina	177	16° 50' 11"	53° 57' 45"
Sinop	120	11° 52' 18"	55° 35' 51"
Tabaporã	179	11° 32' 27"	56° 31' 33"

contendo 1,5 mL de dieta artificial. O inseticida testado foi Benzoato de Emamectina (Proclaim® 50 WG; Syngenta; lote: YGM3D14005(D)).

Para o preparo das concentrações, diluiu-se o inseticida em água com adição do espalhante adesivo Break-Thru® (copolímero poliéster-polimetil siloxano 1000 g/L) na concentração de 0,1% (v/v) e com auxílio de um dispensador (Eppendorf Multipette® M4), foram dispensados 20 µL da solução para cada célula da placa com as concentrações testadas em intervalos espaçados em escala logarítmica. Para a caracterização da população suscetível, foram utilizadas oito doses: 0 (controle); 0,0061; 0,0122; 0,0245; 0,0490; 0,0981; 0,1963 e 0,3926 µg de i.a. cm⁻².

Após a contaminação da superfície da dieta com inseticida e secagem do excesso de água, uma lagarta em terceiro ínstar foi transferida para cada célula com o auxílio de um pincel. As placas foram mantidas a 24±2 °C, UR de 70±10% e fotoperíodo de 14 horas. A mortalidade foi avaliada após 24 horas, considerando como lagartas mortas aquelas que não apresentaram estímulos ao serem tocadas com um pincel de cerdas finas. A razão de resistência das populações foi estimada dividindo o valor de DL₅₀ da população de campo pela DL₅₀ da população de laboratório.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com nove repetições de 24 lagartas cada, sendo testadas 216 lagartas por dose. Um modelo linear generalizado com distribuição do tipo binomial e com função de ligação proibit foi o que melhor se ajustou aos dados de mortalidade dos insetos. Um envelope simulado *half-normal* do pacote *hnp* (Moral et al. 2017) do software R (R Core Team, 2021), foi utilizado para analisar a qualidade do ajuste do modelo binomial. A dose letal foi estimada pela função *dose.p* do pacote *MASS* (Venables & Ripley 2013).

Para o estudo de programas de rotação de modos de ação de inseticidas para o manejo de *S. frugiperda*, foi realizado um ensaio em campo em Sinop-MT (11° 52' 27"S 55° 35' 31"O). A cultivar utilizada foi o Híbrido Duplo Convencional BRS

2020 semeado em 05 de março de 2020 com espaçamento entre linhas de 0,5 m e *stand* de 2,5 plantas/m e adubação de base de 400 kg. ha⁻¹ da formulação 10-20-20. Cinco dias após a semeadura foi realizada uma pulverização tratorizada com inseticida Kaiso* (lambda-Cyhalothrin) na dose de 30 mL p.c. ha⁻¹ e volume de 200 L. ha⁻¹ para controle do percevejo *Diceraeus melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae).

Para as pulverizações do ensaio, foi utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO₂ com pressão constante de 2 bar, anexado a uma barra de aplicação contendo 4 pontas de pulverização Teejet Leque Amarela 110/02 e com um volume de aplicação de 150 L. ha⁻¹. Os manejos para o controle de *S. frugiperda* foram constituídos com esquemas de rotação de inseticidas dos grupos dos piretroides, inibidores da biossíntese de quitina, oxadiazinas, nucleopolyhedrovirus (NPVs), avermectinas, diamidas e organofosforados (Tabela 2). Foram realizadas três aplicações em um intervalo de sete dias entre cada aplicação.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada parcela composta por 12 linhas de cultivo x 10 m de comprimento (60 m²). Para verificar a efetividade de controle foram avaliadas 10 plantas ao acaso por parcela categorizando os danos de *S. frugiperda* de acordo com a Escala Davis (Davis & Williams 1992). As avaliações ocorreram no dia da primeira pulverização, aos 4 e 7 dias após a primeira e segunda aplicação e aos 4, 7 e 14 dias após a terceira aplicação. Os resíduos dos dados foram analisados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e homocedasticidade pelo teste de Bartlett. Após confirmação que os dados se comportaram como paramétricos, foi realizada análise de variância – ANOVA e contraste de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Análises foram realizadas pelo software R (R Core Team, 2021).

Tabela 2. Rotações de modos de ação para controle de *Spodoptera frugiperda* em milho.

	Manejos	Ingrediente Ativo	Concentração (g ia L ⁻¹ ou kg ⁻¹)		Dose (ml/g p.c. ha ⁻¹)
1.	Controle	-	-	-	-
	Ampligo	Clorraniliprole + λ-cialotrina	100	50	150
2.	Proclaim 50	Benzoato de Emamectina	50	-	200 ¹
	Instivo	Clorraniliprole + Abamectina	45	18	400 ¹
	Ampligo	Clorraniliprole + λ-cialotrina	100	50	150
3.	Proclaim 50	Benzoato de Emamectina	50	-	200 ¹
	Polytrin	Profenofós + Cipermetrina	400	40	400
	Ampligo	Clorraniliprole + λ-cialotrina	100	50	150
4.	Proclaim 50	Benzoato de Emamectina	50	-	200 ¹
	Curyom	Lufenuron + Profenofós	50	500	800
	Match	Lufenuron	50	-	300
5.	Ampligo	Clorraniliprole + λ-cialotrina	100	50	150
	Proclaim 50	Benzoato de Emamectina	50	-	200 ¹
	CartuchoVit	SfMNPV	6,3	-	50
6.	Match	Lufenuron	50	-	300
	Instivo	Clorraniliprole + Abamectina	45	18	400 ¹
	Belt	Flubendiamida	200	-	100
7.	Avatar	Indoxacarb	120	-	120
	Nomolt	Teflubenzuron	150	-	200

¹Aplicação de 250 mL ha⁻¹ de adjuvante Ochima[®]

Resultados e Discussão

A evolução da resistência de *S. frugiperda* se dá mais pelo histórico de uso de inseticidas a uma determinada população do que a chegada de indivíduos resistentes imigrantes e, portanto, o manejo da resistência deve ser adotado em escala local ou em pequenas escalas regionais (Arias *et al.* 2019). Sendo assim, é necessário que os monitoramentos de suscetibilidade sejam realizados regionalmente.

Em nosso monitoramento, houve baixa variabilidade nos valores de DL₅₀, variando entre 0,017 (população de laboratório) e 0,105 µg de i.a. cm⁻² (população de Ipiranga do Norte), sendo então 7,31 a maior razão de resistência (Tabela 3). De acordo com Ahmad *et al.* (2007), populações de campo com razões de resistência como as obtidas em nosso estudo se comportam como suscetíveis em relação a eficiência de controle do inseticida em campo.

Deshmukh *et al.* (2020) estudaram a eficiência de controle de alguns produtos químicos para *S. frugiperda* e constataram a efetividade de Benzoato de Emamectina no manejo dessa espécie. Outros trabalhos também verificaram a suscetibilidade de populações de *S. frugiperda* a esse inseticida na China. A resistência das populações de *S. frugiperda* na China aos inseticidas piretroides, organofosforados e spinosinas foram todas de moderado

a alto, enquanto a resistência ao Chlorantraniliprole e ao Benzoato de Emamectina ainda estavam em níveis baixos (Dan-dan *et al.* 2021).

Buscando compreender o padrão da resistência, Muraro *et al.* (2021) selecionaram em laboratório uma linhagem de *S. frugiperda* resistente a Benzoato de Emamectina, em que demonstraram um risco elevado de evolução da resistência deste inseto-praga devido a herança da resistência ser incompletamente dominante. Ainda nesse estudo, os autores relataram baixa razão de resistência aos inseticidas com diferentes modos de ação. Desta forma, a rotação de grupos químicos é uma estratégia de manejo de resistência de insetos que deve ser implementada para retardar a evolução da resistência de *S. frugiperda* ao Benzoato de Emamectina no Brasil.

Em nosso ensaio em campo, mesmo após a primeira pulverização, as notas médias de danos continuaram a aumentar em todos os manejos. Após a segunda pulverização, os valores médios se estabilizaram ou até mesmo decresceram, com exceção do manejo com a seguinte sequência de inseticidas *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) + Lufenuron + Chlorantraniliprole/Abamectin (Manejo 6). Na terceira pulverização, exceto no manejo 6, os manejos com inseticidas permitiram a redução nas notas de danos em relação a

Tabela 3. Caracterização da suscetibilidade de populações de *S. frugiperda* a Benzoato de Emamectina durante a safra de 2018 em Mato Grosso.

População	N ¹	Coef. Angular (± E.P.)	DL ₅₀ (I.C. 95%) ²	χ ²	G.L. ³	p	RR ⁴
Laboratório	936	1,11 ± 0,11	0,014 (0,011 - 0,018)	4,36	6	0,63	-
Campo Verde	714	1,85 ± 0,15	0,024 (0,020 - 0,029)	2,85	3	0,42	1,67
Cláudia	523	1,92 ± 0,21	0,034 (0,028 - 0,041)	5,51	3	0,14	2,32
Diamantino	1.521	1,54 ± 0,11	0,015 (0,012 - 0,017)	3,67	5	0,6	1,01
Feliz Natal	1.193	1,49 ± 0,15	0,028 (0,024 - 0,033)	7,1	3	0,07	1,95
Ipiranga	1.222	1,67 ± 0,14	0,105 (0,085 - 0,131)	1,53	3	0,68	7,31
Lucas do Rio Verde	1.363	2,01 ± 0,13	0,039 (0,035 - 0,042)	6,09	4	0,19	2,68
Nova Mutum	1.292	2,35 ± 0,13	0,037 (0,034 - 0,041)	1,82	3	0,61	2,59
Ouro Branco	1.383	1,49 ± 0,11	0,016 (0,014 - 0,019)	3,62	4	0,46	1,11
Primavera do Leste	1.113	1,24 ± 0,11	0,020 (0,016 - 0,026)	1,06	4	0,90	1,42
Querência	501	1,40 ± 0,24	0,026 (0,020 - 0,034)	3,11	3	0,38	1,83
Rondonópolis	1.347	1,65 ± 0,11	0,020 (0,017 - 0,023)	10,32	5	0,07	1,37
Serra da Petrovina	1.318	1,92 ± 0,14	0,017 (0,015 - 0,019)	8,19	4	0,08	1,17
Sinop	1.508	1,18 ± 0,09	0,029 (0,024 - 0,035)	6,26	4	0,18	2,02
Tabaporã	1.529	1,94 ± 0,11	0,038 (0,035 - 0,041)	3,67	5	0,6	2,62

¹ Número de indivíduos testados. ² DL₅₀: dose do inseticida necessária para matar 50% dos indivíduos. ³ Graus de Liberdade.

⁴ Razão de resistência.

pulverização anterior, e mantiveram esses valores estáveis mesmo após 14 dias da terceira pulverização (Tabela 4).

A ineficiência em reduzir os danos de *S. frugiperda* após a primeira pulverização pode estar relacionada ao elevado volume pluviométrico nos dias seguintes a pulverização, pois dos 277 mm de chuva registrados, 142 mm ocorreram no mesmo dia. Portanto, é possível que o período de efetivo controle da praga pelos inseticidas tenha sido comprometido pela remoção dos produtos nas plantas pela chuva.

Ao longo das avaliações, poucas diferenças foram observadas quanto as notas de danos, exceto na última avaliação em que houve diferenciação entre as sequências de modos de ação. Todos os manejos com inseticidas diferiram significativamente do manejo controle, sendo a melhor redução de danos obtida no manejo composto pela sequência de inseticidas Chlorantraniliprole/lambda-Cyhalothrin + Benzoato de Emamectina + Chlorntraniliprole/Abamectin (Manejo 2), porém diferindo significativamente apenas da sequência de inseticidas SfMNPV + Lufenuron + Chlorntraniliprole/Abamectin (Manejo 6).

A mistura de Chlorantraniliprole + Abamectin foi eficiente em promover um satisfatório efeito residual no controle de *S. frugiperda* na terceira pulverização como observado no manejo 2, entretanto, é importante respeitar a recomendação de nível de controle de 10% de plantas atacadas com nota de dano3, pois no manejo 6 a mistura também foi utilizada na terceira pulverização, mas não promoveu a mesma eficiência de controle do manejo 2.

Em relação ao desempenho do vírus SfMNPV, a recomendação de uso é de que sejam realizadas duas pulverizações consecutivas do produto em um intervalo de sete dias em lagartas nos primeiros instares. Portanto, novos ensaios devem utilizar duas pulverizações sequenciais para avaliar sua viabilidade dentro do manejo de rotação de modos

de ação, pois além de ampliar as opções para o manejo da resistência, pulverizações do vírus no início da cultura são desejáveis devido sua alta seletividade aos inimigos naturais de *S. frugiperda* e demais espécies-praga no milho. Essa mistura de inseticidas sintéticos com baculovírus é utilizada para potencializar o controle de pragas em altas infestações (Moscardi et al. 2011) e não afeta a atividade biológica do patógeno (Jaques & Morris 1981).

São vários os fatores que podem influenciar a seleção de insetos resistentes aos inseticidas, principalmente a constante pressão de seleção, o padrão de herança, estabilidade da resistência e os custos de adaptação associados a resistência (Roush & Daly 1990). Além desses fatores, o comportamento de migração de longa distância, a dinâmica populacional de pragas e a distribuição temporal e espacial em diferentes plantas hospedeiras do inseto também afetam a evolução da resistência (Wu et al. 1995, 1996, Liang et al. 1996, Wu & Guo 2000). As principais estratégias para o retardo do desenvolvimento da resistência incluem monitorar a presença e os danos de *S. frugiperda* em milho Bt e não Bt, realizar estratégias de manejo para manter a resistência em níveis baixos, reduzir a pressão de seleção e usar inseticidas com distintos modos de ação (Muraro et al. 2019).

Vale ressaltar que a manutenção da eficiência de controle depende de um monitoramento constante da suscetibilidade, visto que esses bioensaios permitem detectar casos potenciais de evolução da resistência para que adequações no manejo da praga sejam realizadas a fim de evitar ou retardar os impactos negativos da resistência (Onstad 2013). Além disso, o uso racional dos inseticidas com o respeito aos níveis de controle das pragas e a rotação de grupos químicos, associado ao uso de cultivares transgênicas e outras práticas do Manejo Integrado de Pragas (MIP), garantirá a manutenção da suscetibilidade da praga não apenas ao Benzoato de

Tabela 4. Danos de *S. frugiperda* em milho pulverizado com manejos de rotação de modos de ação. Sinop-MT. 2020.

Manejo ^a	Nota de dano ^{1,2}							
	1A	04 DAA	07 DAA	04 DA2A	07 DA2A	04 DA3A	07 DA3A	14 DA3A
1	0,80±0,15	1,70±0,17	3,10±0,23	4,43±0,27 a	3,63±0,27 ab	2,55±0,31	4,00±0,40	5,60±0,25 a
2	0,88±0,17	1,03±0,19	2,58±0,30	3,48±0,34 ab	2,95±0,34 ab	2,55±0,30	3,23±0,33	2,68±0,22 c
3	0,45±0,10	0,98±0,18	2,95±0,21	3,13±0,29 ab	3,23±0,26 ab	3,75±0,34	3,95±0,30	3,30±0,25 bc
4	0,85±0,15	1,33±0,21	2,80±0,27	3,00±0,39 b	2,65±0,37 ab	2,05±0,30	2,65±0,30	2,95±0,21 bc
5	1,00±0,15	1,53±0,23	2,85±0,24	3,23±0,27 ab	3,25±0,26 ab	2,30±0,30	2,60±0,33	2,95±0,22 bc
6	0,78±0,15	1,25±0,20	2,80±0,24	3,63±0,33 ab	4,25±0,30 a	3,80±0,22	3,73±0,34	3,83±0,25 b
7	0,68±0,14	1,68±0,20	2,80±0,24	2,70±0,33 b	2,18±0,32 b	1,93±0,30	2,55±0,28	3,30±0,22 bc
F	0,96	0,87	0,14	3,73	2,56	2,95	3,48	18,91
P	0,47	0,54	0,99	0,01	0,05	0,03	0,02	< 0,001

¹ Dano médio ± erro padrão; ² Escala Davis; ^aManejos: **1.** Controle; **2.** Ampligo + Proclaim + Instivo; **3.** Ampligo + Proclaim + Polytrin; **4.** Ampligo + Proclaim + Curyom; **5.** Match + Ampligo + Proclaim; **6.** CartuchoVit + Match + Instivo; **7.** Belt + Avatar + Nomolt. **1A** Dano avaliado no dia da primeira aplicação; **04 DAA** 04 dias após 1ª aplicação; **07 DAA** sete dias após 1ª aplicação; **04DA2A** 04 dias após 2ª aplicação; **07 DA2A** sete dias após 2ª aplicação; **04DA3A** 04 dias após 3ª aplicação; **07 DA3A** sete dias após 3ª aplicação; **14DA3A** 14 dias após 3ª aplicação.

Emamectina, mas também as demais moléculas inseticidas.

against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in maize. Int. J. Pest. Manag. 58: 83-90.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de Pós-doutorado concedida à primeira autora.

Dan-dan, Z., X. Yu-tao, X. Peng-jun, Y. Xian-ming, W. Qiu-lin, & W. Kong-ming. 2021. Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. J. Integr. Agric. 20: 783-791.

Literatura Citada

Ahmad, M., M.I. Arif & M. Afmad. 2007. Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. Crop. Prot. 26: 809-817.

Arias, O., Cordeiro, E., Corrêa, A.S., Domingues, F.A., Guidolin, A.S., Omoto, C. 2019. Population genetic structure and demographic history of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): implications for insect resistance management programs. Pest. Manag. Sci. 75(11): 2948-2957.

Boaventura, D., B. Buer, N. Hamaekers, F. Maiwald & R. Nauen. 2020. Toxicological and molecular profiling of insecticide resistance in a Brazilian strain of fall armyworm resistant to Bt Cry1 proteins. Pest. Manag. Sci. 77: 3713-3726.

CABI. 2019. Invasive Species Compendium: *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm). Disponível em <<https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Chen, X.D. & L.L. Stelinski. 2017. Resistance management for Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, in Florida. Insects. 8:103.

Cruz, I., M. Figueiredo, R.B. Silva, I.F. Silva, C.S. Paula & J.E. Foster. 2012. Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application

Davis, F.M. & N.G.S. Williams. 1992. Visual rating scales for screening whole-stage corn resistance to fall armyworm. Mississippi: Mississippi State University.

Deshmukh, S., Pavithra, H.B., Kalleshwaraswamy, C.M., Shivanna, B.K., Maruthi, M.S., Mota-Sanchez, D. Field. 2020. efficacy of insecticides for management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in India. Florida Entomologist. Flor. Entomol. 103: 221-227.

Goergen, G., P.L. Kumar, S.B. Sankung, A. Togola & M. Tamo. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. PLoS One, 11: e 0165632. doi: [10.1371/journal.pone.0165632](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632)

Guo, J.F., J.Z. Zhao, K.L. He, F. Zhang & Z.Y. Wang. 2018. Potential invasion of the crop devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. Plant Prot. 44: 1-10.

IPPC - International Plant Protection Convention. 2020. First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. Rome: IPPC. Disponível em: <<https://www.ippc.int/en/countries/australia/pestreports/2020/02/first-detection-of-spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-in-torres-strait/>>. Acesso em: 4 abr. 2021.

IRAC - Insecticide Resistance Action Committee. 2021. Disponível em: <<https://irac-online.org/>>. Acesso em:

- 23 jan. 2021.
- Jansson, J.A. & R.A. Dybas. 1996. Avermectins, biochemical mode of action, biological activity, and agricultural importance. In I. Ishaaya (eds.), *Insecticides with Novel Modes of Action: Mechanism and Application*, pp. 152-170. Springer: New York.
- Jaques, R.P. & O.N. Morris. 1981. Compatibility of pathogens with other methods of pest control and with different crops. In Burges, H.D. (ed.), *Microbial control of pests and plant diseases 1970-1980*. New York, Academic Press, 949p.
- Justiniano, W., M.G. Fernandes & C.T.P. Viana. 2014. Diversity, Composition and Population Dynamics of Arthropods in the Genetically Modified Soybeans Roundup Ready® RR1 (GT 40-3-2) and Intacta RR2 PRO® (MON87701 x MON89788). *J. Agric. Sci.* 6: 33-44.
- Liang, G.M., Y.Y. Guo, X.W. Hong & W.G. Wang. 1996. Studies on the laboratory development of resistance and cross resistance of cotton bollworm to deltamethrin cyhalothrin and a mixture contained cyhalothrin. *Acta Phytopylacica Sin.* 23: 66-72.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2014. Portaria MAPA 32/2014. Brasília: MAPA. Disponível em: <http://www.indea.mt.gov.br/documents/363967/8547095/portaria_mapa_032-2014_de_15-01-2014.pdf/ae3566b4-5a34-5d4c-620b-8edf27982398>. Acesso em: 6 ago. 2021.
- Moral, R.A., J. Hinde & C.G.B. Demétrio. 2017. Half-Normal Plots and Overdispersed Models in R: The hnp Package. *J. Stat. Softw.* 81: 1-23.
- Moscardi, F., M.L. Souza, M.E.B. Castro, L.M. Moscardi, & B. Szewczyk. 2011. Baculovirus pesticides: present state and future perspectives. In Ahmad, I., F. Ahmad, P. Pichtel (eds.), *Microbes and microbial technology*. New York: Springer, p. 415-445.
- Mota-Sanchez, D. & J.C. Wise. 2021. Arthropod Pesticide Resistance Database. In: Michigan State University. Disponível em: <<http://www.pesticideresistance.org>>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- Muraro, D.S., C.G. Garlet, D.N. Godoy, G.E. Cossa, J.G. Rodrigues, R.F. Stacke, S.L. Medeiros, J.V. Guedes & O. Bernardi. 2019. Laboratory and field survival of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt maize and its susceptibility to insecticides. *Pest Manag. Sci.* 75: 2202-2210.
- Muraro, D.S., D. O. A. Neto, R. H. Kanno, I. S. Kaiser, O. Bernardi, & C. Omoto. 2021. Inheritance patterns, cross-resistance and synergism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to emamectin benzoate. *Pest. Manag. Sci.* DOI: [10.1002/ps.6545](https://doi.org/10.1002/ps.6545).
- NATESC - National Agricultural Technology Extension Service Center. 2019. Recent reports of fall armyworm in China and neighboring countries. *Plant Pathogen and Pest Information*, 13.
- Nunes, N.R., F.T. Rampelotti-Ferreira, L.V. Thiesen, J. N. Corassa & R.M. Pitta. 2019. Linha básica de suscetibilidade de *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) a Benzoato de Emamectina. *Entomol. Commun.* 1: ec01015. doi: [10.37486/2675-1305.ec01015](https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec01015).
- Onstad, D.W. 2013. *Insect Resistance Management: biology, economics and prediction*. New York, Elsevier, 537p.
- Parra, J.R.P. 2001. *Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico*. Piracicaba: ESALQ 134p.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Roush, R.T. & J.C. Daly, J. C. 1990. The role of population genetics in resistance research and management, p. 97-152. In _____. *Pesticide Resistance in Arthropods*. Boston, Springer, 296p.
- Shylesha, A.N., S.K. Jalali, A. Gupta, R. Varshney, T. Venkatesan, P. Shetty, R. Ojha, P.C. Ganiger, O. Navik, K. Subaharan, N. Bakthavatsalam, C.R. Ballal & A. Raghavendra. 2018. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *J. Biol. Control.* 32: 145-151.
- Sparks, T.C. & B.A. Lorschach. 2017. Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. *Pest. Manag. Sci.* 73: 672-677.
- Sparks, T.C. 2013. Insecticide discovery: an evaluation and analysis. *Pestic. Biochem. Phys.* 107: 8-17. doi: [10.1016/j.pestbp.2013.05.012](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.05.012)
- Sudo, M., D. Takahashi, D. Andow, Y. Suzuki & T. Yamanaka. 2018. Optimal management strategy of insecticide resistance under various insect life histories: heterogeneous timing of selection and interpatch dispersal. *Evol. Appl.* 11: 271-283.
- Tabashnik, B.E. 1990. Modeling and evaluation of resistance management tactics, p.153-182. In: Roush, R. T. & B.E. Tabashnik (eds.), *Pesticide Resistance in Arthropods*. New York, Chapman & Hall, 296p.
- Venables, W.N. & B.D. Ripley. 2013. *Modern applied statistics with S-PLUS*. New York, Springer Science & Business Media, 447p.
- Whalon, M.E., D. Mota-Sanchez & R.M. Hollingworth. 2008. *Global pesticide resistance in arthropods*. Wallingford, Cabi, 208p.
- Wu, K.M. & Y.Y. Guo. 2000. The coordinated development and analysis of contributing factors of cotton bollworm resistance to insecticides in round-Bohai Bay-region. *Acta Phytopylacica Sin.* 27: 173-178.
- Wu, Q.L., Y.Y. Jiang & K.M. Wu. 2019. Analysis of migration routes of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Prot.* 45: 1-9.

Wu, Y.D., J.L. Shen & Y.P. You. 1995. Genetic analysis of fenvalerate resistance in cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Acta Entomol. Sin. 38: 20-24.

Wu, Y.D., J.L. Shen, F.J. Tan & Z.P. You. 1996. Stability of pyrethroids resistance in *Helicoverpa armigera* (Hübner). Acta Entomol. Sin. 39: 342-346