



**Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-graduação em Zoologia
Departamento de Zoologia**

Priscila Maria Colombo da Luz

Noctuóideos e parasitoides associados à soja não-*Bt* e *Bt* (Cry1Ac) no Cerrado

Orientadora: Dra. Ivone Rezende Diniz

Co-orientador: Dr. Alexandre Specht

Brasília/DF
2016

Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Ciências Biológicas – IB
Programa de Pós-graduação em Zoologia – PPGZOO

Priscila Maria Colombo da Luz

Noctuóideos e parasitoides associados à soja não-*Bt* e *Bt* (Cry1Ac) no Cerrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Zoologia.

Orientadora: Dra. Ivone Rezende Diniz

Co-orientador: Dr. Alexandre Specht

Brasília/DF
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família pela compreensão da minha ausência nestes dois últimos anos, pelas palavras de incentivos e conforto, em especial à minha mãe por sempre acreditar em meus sonhos e por todo carinho, gentileza e amor, ao meu pai pelo apoio e pelas inúmeras fotos dos meus “bichanos” que confortaram meu coração nos momentos de saudades, ao meu irmão pelos momentos de risadas via “Skype” e pelo escambo “Gourmet”, e ao meu namorado Cristiano pelo amor, atenção e por ser o maior entusiasta das minhas aventuras.

Aos meus orientadores, Ivone Rezende Diniz e Alexandre Specht pela oportunidade, amizade, confiança, paciência, apoio e conselhos que foram essenciais para o meu crescimento profissional. Muito obrigada por toda a contribuição à minha formação acadêmica!

À pesquisadora Silvana V. Paula-Moraes pela amizade, confiança, sugestões e apoio nos estudos executados junto ao Laboratório de Entomologia da Embrapa Cerrados.

Ao técnico do setor de gestão de campos experimentais da Embrapa Cerrados Orlando Vieira, por todo o auxílio prestado, comprometimento com a área de soja e pelo bom humor nas inúmeras horas a campo. Aos auxiliares envolvidos no plantio e colheita da soja Gilderson, Jorge, Alair, Elton, Joel e Alcimar.

Aos colegas Filipe, Eunice e Matheus pela imensa ajuda na execução do experimento, e pela amizade ao longo dos dias, sempre que necessário podem contar comigo, serei sempre grata pela contribuição de vocês.

À minha colega de laboratório, amiga, parceira e confidente Pollyanna, sua família e namorado, o meu muito obrigado, por estar sempre dando suporte, risadas e estímulos para cada nascer do Sol no céu de Brasília ser ainda mais agraciado.

À todos os amigos do laboratório de Biologia de Interações em Insetos herbívoros da UnB e do laboratório de Entomologia da Embrapa Cerrados, em especial, Tácito, Fernando, Cíntia, Willian, Tamara, Neuza, Caik, Rayane e Ricardo pela amizade, apoio, risadas e trocas de experiências.

Ao professor e pesquisador Raul Laumann por oportunizar a entrada junto à coleção de referência de Hemiptera-Pentatomidae, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

Ao colega colombiano Juan pela identificação dos dípteros coletados neste estudo.

Ao pós-doutorando André Rangel Nascimento pelos ensinamentos na identificação dos himenópteros parasitoides.

Ao analista da Embrapa Cerrados e Estatístico Juaci Vitoria Malaquias pela colaboração junto às análises realizadas.

Aos colegas da UnB, por terem dividido comigo momentos de reflexão, discussão e aprendizagens em especial os amigos Marla, Wagner, Hanna, Tiago e Pedro.

À Universidade de Brasília - UnB e a Embrapa Cerrados por permitir o uso de todas as suas facilidades e serviços: transporte, secretaria, laboratório, biblioteca, alojamento entre outros.

Aos docentes do programa de Pós-Graduação em Zoologia da UnB, em especial aos professores Paulo Cesar Motta e José Roberto Pujol-Luz.

Ao CNPq pela bolsa DTI-B durante o período do Mestrado.

E, finalmente, a todos aqueles que não foram mencionados e que participaram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

Procuro semear otimismo e plantar sementes de paz e justiça. Digo o que penso, com esperança. Penso no que faço, com fé.

Faço o que devo fazer, com amor.

Eu me esforço para ser cada dia melhor, pois bondade também se aprende.

Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir.

Cora Coralina

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, com áreas de cultivo ocupando 3,5% do território nacional. Grande parte da produtividade é oriunda de cultivares transgênicas que expressam a toxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* Berliner, que visam reduzir densidades populacionais dos lepidópteros praga-chave. A cienciometria realizada nos registros do sítio Web of ScienceTM, aponta um número crescente de pesquisas envolvendo toxinas Cry e os noctuóideos, buscando estratégias e soluções para uma melhor gestão dos agroecossistemas. O trabalho foi desenvolvido em cultivo de soja não-*Bt* e *Bt* sem a utilização de inseticidas, na safra 2015/2016, na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Foram listadas 13 espécies de noctuóideos associados à cultura da soja, registrando-se pela primeira vez as espécies *Elaphria deltoides* (Möschler, 1880) e *Utetheisa ornatrix* (Linnaeus, 1758). A baixa incidência de lagartas em campo não atingiu o nível de controle, no entanto o número de lagartas coletadas na soja não-*Bt* foi 11,5 vezes superior ao encontrado na soja *Bt*, indicando os efeitos da toxina Cry1Ac sobre os noctuóideos associados à soja. Dessa forma, reforça-se a necessidade de monitoramento das áreas de cultivos de soja, visando a melhor avaliação dos reais acontecimentos em nível de campo. Ao final, aponta-se que os parasitoides foram beneficiados pelo manejo da área experimental sem a utilização de inseticidas, proporcionando o controle biológico natural com uma taxa de parasitismo superior a 35%.

Palavras-chaves: Controle biológico natural, lagartas, Lepidoptera, pragas da soja, soja *Bt*, soja não-*Bt*.

ABSTRACT

Brazil is the second largest producer country of soybean in the world, with crop areas occupying 3.5% of the national territory. Most of the productivity comes from transgenic varieties that express the Cry1Ac toxin from *Bacillus thuringiensis* Berliner, which aim to reduce the population densities of the moth key pests. In the cienciometry carried out by the registries on the Web of ScienceTM, it is pointed out an increase of investigations involving Cry toxins and noctuids, searching strategies and solutions for a better management of the agroecosystems. Our study realized in the 2015/2016 crops in the experimental area of Embrapa Cerrados, Planaltina, DF on non-*Bt* and *Bt* soybean cultivation areas without insecticides sprayed reports a total of 13 species of noctuids associated with soybean cultivation, with *Elaphria deltoides* (Möschler, 1880) and *Utetheisa ornatix* (Linnaeus,1758) being registered for the first time. The low incidence of caterpillars in the field did not reach the Control Level, however the number of caterpillars collected in non-*Bt* soybean was 11.5 times higher than that found in *Bt* soybean, indicating the effects of the Cry1Ac toxin on the noctuids associated with soybean. Therefore, it is necessary to reinforce monitor soybean crop areas, aiming at the best evaluation of the real events at the field level. It is pointed out that the parasitoids were benefited by the management of the experimental area without the use of insecticides, providing the natural biological control with a parasitism rate up to 35%.

Keywords: *Bt* soybeans, caterpillars, Lepidoptera, natural biological control, non-*Bt* soybeans, soybean pests.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** Número de artigos e citações associadas à combinação dos termos Noctuidae e toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* nos últimos 20 anos (1995-2015), registrados no sítio Web of ScienceTM 16
- Figura 2** Principais espécies de mariposas Noctuidae registradas no sítio Web of ScienceTM, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015..... 17
- Figura 3** Porcentagem das diferentes toxinas de *Bacillus thuringiensis* citadas nos trabalhos registrados no sítio Web of ScienceTM, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015..... 18
- Figura 4** Porcentagem dos principais periódicos científicos com publicações envolvendo os termos “Noctuidae and *Bt*” registrados no sítio Web of ScienceTM, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015..... 19
- Figura 5** Os dez principais autores relacionados com o tema “Noctuidae and *Bt*” e seus respectivos países associados à produção acadêmica, registrada no sítio Web of ScienceTM, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015..... 20

Capítulo 2

- Figura 1** Cultivo de soja não-*Bt* e *Bt* dividido em três repetições das cultivares BRS Sambaíba RR (não-*Bt*) e sua isolínea BRS 9180 IPRO RR (*Bt*), dispostas em forma alternada na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil. Nota: o quadrante pontilhado delimita a área central de amostragens com dimensão de 1ha..... 39
- Figura 2** Número médio de lagartas por metro quadrado e respectivo erro padrão, coletadas em soja não-*Bt* (BRS Sambaíba RR) e *Bt* (BRS 9180 IPRO RR). (A) todas as espécies, (B) *Chrysodeixis includens*, (C) *Anticarsia gemmatalis* e (D) *Spodoptera* spp., entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil Nota: as figuras apresentam diferentes escalas..... 44
- Figura 3** Porcentagem de lagartas de tamanho grande (>2,5cm), médio (>1,5cm<2,5cm) e pequeno (<1,5cm) pertencentes a *Chrysodeixis includens*, *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera* spp., coletadas em soja não-*Bt* e *Bt*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil..... 48

Figura 4	Precipitação acumulada (mm/semana) e número médio de lagartas coletadas por metro quadrado por semana, em soja não- <i>Bt</i> e <i>Bt</i> , entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Os valores do eixo esquerdo correspondem a precipitação (mm), representados no gráfico por colunas. Os valores de número médio de lagartas estão relacionados no eixo direito representados no gráfico por linha preta contínua na soja não- <i>Bt</i> e a linha cinza pontilhada na soja <i>Bt</i> . No eixo horizontal estão relacionados os estádios fenológicos da soja, de acordo com cada semana de coleta	50
-----------------	--	----

Capítulo 3

Figura 1	Percentuais de parasitismo de lagartas de <i>Anticarsia gemmatalis</i> e <i>Chrysodeixis includens</i> em áreas de cultivo de soja não- <i>Bt</i> na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.....	73
Figura 2	Percentuais de parasitismo causadas por representantes das ordens Hymenoptera (Braconidae, Ichneumonidae) e Diptera (Tachinidae) nas lagartas de <i>Anticarsia gemmatalis</i> e <i>Chrysodeixis includens</i> em áreas de cultivo de soja não- <i>Bt</i> na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.....	74
Figura 3	Análise de correspondência da relação entre o tamanho das lagartas coletadas na soja não- <i>Bt</i> e <i>Bt</i> e o parasitismo em <i>Anticarsia gemmatalis</i> , <i>Chrysodeixis includens</i> , <i>Spodoptera cosmioides</i> e <i>Spodoptera eridania</i> (soja não- <i>Bt</i>), entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Parasitismo (Dim1 e Dim2). Legenda do tamanho das lagartas: (P) pequena, (M) média e (G) grande, parasitada = sim, não parasitada = não.....	76

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

- Tabela 1** Descrição dos estádios de desenvolvimento e datas das coletas da soja não-*Bt* e *Bt* para avaliação dos Noctuoidea na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil na safra 2015/2016..... 40
- Tabela 2** Número de lagartas de lepidópteros (Noctuoidea) coletadas em soja não-*Bt* (BRS Sambaíba RR) e *Bt* (BRS 9180 IPRO RR) com expressão da toxina CRY1Ac, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal..... 43
- Tabela 3** Comparação do número de lagartas coletadas por metro quadrado por estádio fenológico entre soja não-*Bt* e *Bt*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Média e desvio padrão ($\bar{X} \pm SD$), coeficiente de variação em percentual (CV %), valor de qui-quadrado (χ^2) e significância (P = valor p)..... 46
- Tabela 4** Coeficiente de Correlação de Spearman (r) entre as variáveis ambientais e as principais espécies de lagartas desfolhadoras de noctuóides. Temperatura média, radiação, umidade relativa, vento e precipitação, obtidas na Estação Agrometeorológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil, entre dezembro de 2015 a março de 2016..... 49

Capítulo 3

- Tabela 1** Parasitoides emergidos de *Anticarsia gemmatilis* e *Chrysodeixis includens*, coletadas com o pano-de-batida em cultivar de soja não-*Bt*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil..... 75

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A** Kit comercial “Quickstix” utilizado para avaliação da expressão da toxina Cry1Ac em folhas e sementes de soja. **(a)** Embalagem do Kit comercial “Quickstix, **(b)** Material que compõe o kit, **(c)** Coleta em campo do material para avaliação, **(d)** Amostra de folha coletada com microtubo plástico tipo “Eppendorf”, **(e)** Amostras preparadas em laboratório **(f)** Avaliação através da tira identificadora de expressão *Bt* da toxina Cry1Ac, **(g)** Identificação pela tira marcadora da toxina Cry1Ac (2 linhas), sem expressão (1 linha)..... 91
- Apêndice B** Espécies de lepidópteros pertencentes à superfamília Noctuoidea, encontradas associadas à soja não-*Bt* e *Bt*. **(a)** *Spodoptera albula*, **(b)** *Helicoverpa armigera*, **(c)** *Mocis latipes*, **(d)** *Agrotis ipsilon*, **(e)** *Elaphria agrotina*, **(f)** *Spodoptera eridania*, **(g)** *Spodoptera cosmioides*, **(h)** *Anticarsia gemmatalis*, **(i)** *Elaphria deltoides*, **(j)** *Chrysodeixis includens*, **(l)** *Spodoptera frugiperda*, **(m)** *Utetheisa oratrix*. *A espécie *R. nu* não foi fotografada, mas está registrada neste estudo..... 92
- Apêndice C** Amostragens absolutas de noctuóides realizadas no cultivo das sojas não-*Bt* e *Bt* na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. **(a)** Equipe que iniciou as coletas em Dezembro de 2015; **(b)** Coleta absoluta de um “plot” (1m²) no início do estágio fenológico vegetativo; **(c-d)** Coleta absoluta realizada em diferentes parcelas; **(e)** Lagarta de *Spodoptera eridania* em soja *Bt*; **(f)** Lagarta de *Anticarsia gemmatalis* em soja não-*Bt*; **(g)** Lagarta de *Spodoptera cosmioides* em soja *Bt*; **(h)** Lagarta de *Chrysodeixis includens* em soja *Bt*..... 93
- Apêndice D** Tabela com todos os grupos taxonômicos reconhecidos junto a metodologia de coleta descrita no Capítulo 2, na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina,DF..... 94

LISTA DE FIGURAS - ANEXO A

Figures 1-2	Lateral view: (1) <i>Campoletis soneronsis</i> (Cameron, 1886), female; (2) <i>Archytas marmoratus</i> (Townsend, 1915), male. [scale=5mm].....	104
Figures 3-8	Male terminalia – <i>Archytas marmoratus</i> (Townsend, 1915), (3) Fifth sternite (ventral view), (4) genital complex (lateral view), (5) surstylus e cercus (posterior view); <i>Archytas incertus</i> (Macquart, 1851), (6) Fifth sternite (ventral view), (7) genital complex (lateral view), (8) surstylus and cercus (posterior view).....	105

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE APÊNDICES	VI
LISTA DE FIGURAS ANEXOS.....	VII
INTRODUÇÃO GERAL	1

CAPÍTULO 1. Análise cienciométrica de noctuídeos e toxinas Cry de <i>Bacillus thuringiensis</i>: importância e tendências dos últimos 20 anos	11
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. METODOLOGIA	15
3. RESULTADOS.....	16
4. DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS	24

CAPITULO 2. Noctuídeos (Lepidoptera: Noctuoidea) associados à soja não-<i>Bt</i> e sua isolínea <i>Bt</i> no Cerrado	33
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. METODOLOGIA	36
2.1 Soja não- <i>Bt</i> e <i>Bt</i>	36
2.2 Tratamento e área de cultivo	37
2.3 Desenho experimental.....	38
2.4 Amostras sistematizadas de insetos.....	39
2.5 Triagem e identificação específica.....	41
2.6 Outros parâmetros avaliados na área de cultivo.....	41
2.7 Análise de dados.....	41
3. RESULTADOS.....	42
4. DISCUSSÃO	51
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS	57

CAPITULO 3. Parasitoides associados à <i>Anticarsia gemmatalis</i> Hübner e <i>Chrysodeixis includens</i> (Walker), em um plantio experimental de soja não-Bt e Bt, no Distrito Federal.....		66
RESUMO		66
ABSTRACT		67
1.	INTRODUÇÃO	68
2.	METODOLOGIA	70
	2.1 <i>Área experimental</i>	70
	2.2 <i>Amostragem</i>	70
	2.3 <i>Identificação dos lepidópteros e parasitoides</i>	71
	2.4 <i>Análise dos dados</i>	71
3.	RESULTADOS.....	72
4.	DISCUSSÃO	77
5.	CONCLUSÕES	81
6.	REFERÊNCIAS	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS		89
APÊNDICES.....		90
ANEXO		101

INTRODUÇÃO GERAL

A expansão agrícola no Brasil é favorecida pelas políticas públicas, incentivos fiscais e pelos avanços tecnológicos da agricultura mecanizada, que é responsável pela ampliação da fronteira dos agroecossistemas (Kaimowitz & Smith, 2001; Morton et al., 2006). Relacionados ao agronegócio, estão os impactos ambientais da intervenção humana nos ambientes naturais, reconhecidos no Brasil com maior amplitude nos biomas Amazônico e Cerrado (Smith et al., 1998).

No Cerrado o problema torna-se ainda maior, pois além das taxas de desmatamento serem historicamente superiores às da floresta Amazônica, há apenas 2,2% da sua área legalmente protegida (Klink & Machado, 2005). Além disso, o Cerrado é considerado o bioma mais importante para o desenvolvimento do país, com uma média de 25% na contribuição ao Produto Interno Bruto Brasileiro, que na década passada já somava cerca de US\$ 936 bilhões (Machado et al., 2008).

A economia brasileira é alicerçada pela demanda de produtos cultivados para o comércio internacional (Jales, 2005). O *commodity* da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é a principal oleaginosa cultivada no país, com um crescimento expressivo na área cultivada ao longo de décadas devido à fácil adaptação (Bonato & Bonato, 1987).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos da América com cerca de 33.176,9 milhões hectares de área plantada (Conab, 2016). Em 2016, os maiores estados brasileiros produtores de soja foram: Mato Grosso que é o primeiro produtor nacional de grãos, seguido pelo Paraná e Rio Grande do Sul, que somados representaram mais de 50% da produtividade nacional (Conab, 2016). As áreas mais recentes de cultivo de soja se situam em quase a totalidade na

região do bioma Cerrado principalmente na Bahia, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Maranhão, e mais recentemente no Piauí (Paula & Faveret Filho, 1998).

A demanda crescente de derivados de soja promoveu ainda mais a importância no mercado agrícola internacional e nacional (Brandão et al., 2006). Com o objetivo de aumentar a produtividade e rentabilidade dos cultivos de soja, os setores produtivos demandam constantemente de novas cultivares com características específicas, que são introduzidas em todos os estados produtores (Bacaxixi et al., 2011; Mauro et al., 2015).

Associados ao aumento da produção de soja estão os insetos-pragas que são normalmente categorizados de acordo com as frequências, abrangência geográfica e danos ocasionados em diferentes partes da planta (Hoffmann-Campo et al., 2000; Corrêa-Ferreira, 2012). Entre os insetos que causam desfolha direta estão as lagartas de Noctuidae (Lepidoptera, Noctuoidea), reconhecidas como os mais importantes artrópodes que atacam as folhas da soja (Moscardi et al., 2012; Formentini et al., 2015).

Os noctuídeos possuem aproximadamente 7.090 espécies descritas (Duarte et al., 2012), abrigando a maioria das lagartas de importância econômica (Holloway et al., 1987). O grupo constitui a maior família de macrolepidópteros, com diversas espécies de importância agrícola devido aos danos econômicos causados por suas lagartas. Noctuidae agrupa 48 subfamílias, com 34 destas com ocorrência confirmada para o Brasil, a maioria referente aos insetos-praga de culturas como soja, além de batata, feijão, milho, morango, pimentão, tomate, trigo e várias espécies de plantas, da família Cruciferae (agrião, brócolis, couve-flor, couve, nabo, mostarda e repolho) (Gallo et al., 2002; Duarte et al., 2012).

As comunidades de insetos-praga associadas à soja são beneficiadas pelas amplas áreas de cultivos distribuídas por milhões de hectares ao longo do país. Dentre os lepidópteros destacam-se duas espécies, *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 e

Chrysodeixis includens (Walker, [1858]), sendo esta última considerada de grande importância econômica pelas injúrias provocadas à soja (Moscardi et al., 2012). Entretanto, nos últimos anos, verificou-se o aumento da ocorrência de lagartas do complexo *Spodoptera* Guenée, 1852 atacando a soja na fase reprodutiva e assumindo importância pela destruição do produto comercializável, que são as sementes (Panizzi et al., 2012).

O aumento na oferta de alimento, dentre eles a soja influenciou a densidade populacional de algumas espécies de lepidópteros (Panizzi et al., 2012). Já que os insetos herbívoros possuem os picos de abundância dependentes do período em que os recursos alimentares são fartos (Panizzi et al., 1977; Pinheiro et al., 2002; Oerke, 2006).

Com o incremento dos danos pelos insetos-pragas adoção do controle químico na agricultura convencional também é expandida. Nesse sentido sabe-se que 51% dos inseticidas no Brasil são associados aos cultivos de soja, sendo responsável por impactos ambientais, principalmente pela utilização errônea e abusiva de agroquímicos, o que proporciona desequilíbrios ambientais e biológicos (Panizzi et al., 1977; Chaim et al., 1999; Carson, 2010), e favorece o surgimento de novas pragas agrícolas e doenças fitossanitárias nos agroecossistemas (Brechelt, 2004).

O controle de pragas requer medidas que contribuem com o aumento de gastos financeiros e estão relacionados com prejuízos à economia, ao ambiente e à saúde humana e animal (Oliveira et al., 2014). O Brasil é um dos maiores consumidores de pesticidas, incluindo inseticidas, acaricidas, fungicidas e herbicidas (Dasgupta et al., 2001).

O Manejo Integrado de Pragas - MIP promove a racionalização na utilização de inseticidas, utilizando de diferentes estratégias que favorecem o agroecossistema, através do controle biológico e da conservação de inimigos naturais (Panizzi et al.,

1977; Gravena, 1992; Panizzi, 2013) O monitoramento dos insetos por amostragens periódicas nas lavouras de soja é o componente básico e de fundamental importância nos programas de MIP, visando a avaliação do nível de controle (Panizzi et al., 2012). Uma outra estratégia de controle de pragas-chave associada ao MIP é a utilização de organismos geneticamente modificados (OGM).

Plantas transgênicas que expressam toxinas pelos genes de bactérias como *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) têm entre os principais alvos coleópteros e lepidópteros de importância econômica, o que leva à redução do tamanho das populações de insetos e do consumo de inseticidas (Mendelsohn et al., 2003; Romeis et al., 2006; Roh et al., 2007). Porém, a expansão da tecnologia deve possuir o manejo adequado por meio da adoção de refúgios, caso contrário pode conferir resistência às toxinas expressas (Rose & Dively, 2007; Gassmann et al., 2008; Sanchis & Bourguet, 2008; Tabashnik et al., 2013), o que pode dificultar, ainda mais, o panorama agrícola pela perda da tecnologia associada aos cultivos de interesse.

A necessidade de se identificar as espécies relacionadas às culturas é o ponto inicial para a tomada de decisões que visam a solução de problemas agrícolas (Nakano et al., 1981). O reconhecimento dos lepidópteros-chaves por monitoramentos propicia a diminuição de custos e de efeitos adversos ao homem e ao meio ambiente, pois permite a utilização de medidas menos agressivas e mais específicas, como o controle biológico (Parra, 2002; Specht & Corseuil, 2002).

A partir do plano de fundo percorrido, esta dissertação está didaticamente organizada em três capítulos, com o intuito de proporcionar um melhor cenário para discussão e extrapolação dos resultados obtidos na revisão bibliográfica e nos experimentos desenvolvidos em duas cultivares de soja durante a safra de 2015/2016, em Planaltina, DF.

Desta forma, o Capítulo 1 discorre sobre o panorama do conhecimento, proveniente de pesquisa bibliográfica, relacionado a Noctuidae e às plantas transgênicas com expressão de genes Cry de *Bt*, subsidiado por uma descrição cienciométrica.

O Capítulo 2 contextualiza os fatos observados no campo no decorrer das coletas sistematizadas de imaturos pertencentes à superfamília Noctuoidea associadas às cultivares de soja não-*Bt* e *Bt*.

E, finalmente, o Capítulo 3 caracteriza o controle biológico natural, observado no campo, associado às espécies de noctuídeos reconhecidas junto às cultivares de soja *Bt* e não-*Bt*.

Os capítulos desta dissertação estão de acordo com as normas da Revista Brasileira de Entomologia, porém, com tabelas e figuras dispostas no corpo do texto, como também foram acrescentadas conclusões em cada capítulo.

Além disto, nos apêndices são apresentados dados, figuras e informações complementares como: prancha com as imagens dos adultos dos lepidópteros noctuóides resultantes deste trabalho descrito no Capítulo 2, lista geral dos diferentes táxons coletados nas cultivares de soja não-*Bt* e *Bt*, e o roteiro dos procedimentos utilizados para as análises estatísticas utilizadas nos Capítulos 2 e 3, do programa R (R Development Core Team, 2014).

No anexo, há também uma nota que se encontra com as normas do periódico Neotropical Entomology, com informações novas referente ao parasitismo de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809), encontradas em área de cultivo de algodão no Oeste da Bahia, trabalho este executado em consonância com as atividades decorrentes desta dissertação.

REFERÊNCIAS

- Bacaxixi, P., Rodrigues, L., Brasil, E., Bueno, C., Ricardo, H., Epiphânio, P., Silva, D., Barros, B., Silva, T., Bosquê, G., 2011. A soja e seu desenvolvimento no melhoramento genético. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, N.20.
- Bonato, E.R., Bonato, A.L.V., 1987. A soja no Brasil: história e estatística. Embrapa-CNPSO, Londrina. Documentos.
- Brandão, A.S.P., Rezende, G.C. de, Marques, R.W. da C., 2006. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. *Economia Aplicada* 10, 249–266.
- Brechelt, A., 2004. Manejo ecológico de pragas e doenças. Rede de Ação em Praguicidas e suas Alternativas para a América Latina (RAP-AL). Fundação Agricultura e Meio Ambiente (FAMA). Santa Cruz do Sul: CAPA. pp. 33.
- Carson, R., 2010. Primavera silenciosa.[tradução Claudia Sant’Anna Martins] São Paulo: Gaia. pp. 327.
- Chaim, A., Frighetto, RTS., Valarini, PJ., 1999. Manejo de agrotóxico e qualidade ambiental. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna: pp. 1-34 (Documentos, 5).
- Conab Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Abastecimento da safra brasileira de grãos. V.1, Safra 2015/2016, núm. 9 - nono levantamento. Available at: <https://www.conab.gov.br/> (accessed 8 Out 16).
- Corrêa-Ferreira, B.S., 2012. Amostragem de pragas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F., (Eds.), Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 631–672.

- Dasgupta, S., Mamingi, N., Meisner, C., 2001. Pesticide use in Brazil in the era of agroindustrialization and globalization. *Environment and Development Economics* 6, 459–482.
- Duarte, M., Marconato, G., Specht, A., Casagrande, M.M., 2012. In: Rafael, J.A., Melo, G.A.R., Carvalho, C.J.B., Casari, S.A., Constantino, R., (Eds.), *Lepidoptera. Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Holos, Ribeirão Preto, pp. 625–684.
- Formentini, A.C., Sosa-Gómez, D.R., Paula-Moraes, S.V. de, Barros, N.M. de, Specht, A., 2015. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. *Ciência Rural* 45, 2113–2120.
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R.P.L., Batista, G.C., Berti Filho, E., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B., Vendramin, J.D., Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., Omoto, C., 2002. *Entomologia Agrícola*. FEALQ, São Paulo, pp. 920.
- Gassmann, A.J., Carrière, Y., Tabashnik, B.E., 2008. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 54, 147–163.
- Gravena, S., 1992. Controle biológico no manejo integrado de pragas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27, 281–299.
- Hoffmann-Campo, C.B., Moscardi, F., Corrêa-Ferreira, B.S., Oliveira, L.J., Sosa-Gómez, D.R., Panizzi, A.R., Corso, I.C., Gazzoni, D.L., Oliveira, E. de., 2000. *Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado*. Embrapa Soja, Londrina, pp. 70.
- Holloway, J.D., Bradley, J.D., Carter, D.J., 1987. *Lepidoptera. CIE Guides to insects of importance to man. I*. CAB International Institute of Entomology/ British Museum Natural History.

- Jales, M., 2005. Inserção do Brasil no comércio internacional agrícola e expansão dos fluxos comerciais sul-sul. Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais, Sao Paulo, pp.1-17.
- Kaimowitz, D., Smith, J., 2001. Soybean technology and the loss of natural vegetation in Brazil and Bolivia. In: Angelsen, A., Kaimowitz, D. (Eds.), *Agricultural technologies and tropical deforestation*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.
- Klink, C.A., Machado, R.B., 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1, 147–155.
- Machado, R.B., Aguiar, L.M., Castro, A., Nogueira, C.C., Ramos-Neto, M.B., 2008. Caracterização da fauna e flora do Cerrado. In: Faleiro, F.G., Farias Neto, A.L. (Eds.), *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Embrapa Cerrados, Planaltina, pp. 285-300.
- Mauro, A.O., Costa, L.C., Perecin, D., 2015. Análises genéticas no desenvolvimento de variedades de soja para cultivo em áreas de reforma de canavial. *Ceres* 46,423–433.
- Mendelsohn, M., Kough, J., Vaituzis, Z., Matthews, K., 2003. Are Bt crops safe? *Nature Biotechnology* 21, 1003–1009.
- Morton, D.C., DeFries, R.S., Shimabukuro, Y.E., Anderson, L.O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R., Morissette, J., 2006. Crop land expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 14637–14641.
- Moscardi, F., Bueno, A.F., Sosa-Gómez, D.R., Roggia, S., Hoffmann-Campo, C.B., Pomari, A.F., Corso, I.C., Yano, S.A.C., 2012. Artrópodes que atacam as folhas da soja. *Soja*. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F.,

- (Eds.), Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 211–334.
- Nakano, O., Silveira Neto, S., Zucchi, R.A., 1981. Entomologia Econômica. USP-ESALQ, Departamento de Entomologia. pp. 314.
- Oerke, E-C., 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144, 31–43.
- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R., 2014. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection* 56, 50–54.
- Panizzi, A.R., Corrêa-Ferreira, B.S., Newman, G.G., Turnipseed, S.G., 1977. Efeito de inseticidas na população das principais pragas da soja. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 6, 264–275.
- Panizzi, A.R., Bueno, A.F., Silva, F.A.C., 2012. Insetos que atacam vagens e grãos. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.), Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 335–420
- Panizzi A.R., 2013. History and contemporary perspectives of the integrated pest management of soybean in Brazil. *Neotropical Entomology* 42, 119–127.
- Parra, J.R.P., 2002. Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. Editora Manole Ltda, São Paulo, pp. 559
- Paula, S.R.L. , Faveret Filho, P., 1998. Panorama do complexo soja. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, pp. 119–152.
- Pinheiro, F., Diniz, I.R., Coelho, D., Bandeira, M.P.S., 2002. Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado. *Austral Ecology* 27, 132–136.

- R Core team. 2014. R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>. (accessed 25 Nov 15).
- Roh, J.Y., Choi, J.Y., Li, M.S., Jin, B.R., Je, Y.H., 2007. *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 17, 547–559.
- Romeis, J., Meissle, M., Bigler, F., 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology* 24, 63–71.
- Rose, R., Dively, G.P., 2007. Effects of insecticide-treated and lepidopteran-active Bt transgenic sweet corn on the abundance and diversity of arthropods. *Environmental Entomology* 36, 1254–1268.
- Sanchis, V., Bourguet, D., 2008. *Bacillus thuringiensis*: applications in agriculture and insect resistance management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 11–20.
- Smith, J., Winograd, M., Gallopin, G., Pachico, D., 1998. Dynamics of the agricultural frontier in the Amazon and savannas of Brazil: analyzing the impact of policy and technology. *Environmental Modeling & Assessment* 3, 31–46.
- Specht, A., Corseuil, E., 2002. Avaliação populacional de lagartas e inimigos naturais em azevém, com rede de varredura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37, 1–6.
- Tabashnik, B.E., Brévault, T., Carrière, Y., 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* 31, 510–521.

CAPÍTULO 1

Análise cienciométrica de noctuídeos e toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: importância e tendências dos últimos 20 anos

RESUMO

Plantas transgênicas associadas às “commodities” podem expressar uma ou mais proteínas inseticidas, toxinas denominadas Cry, provenientes de genes do *Bacillus thuringiensis* Berliner. Essa biotecnologia visa reduzir as populações de pragas agrícolas, com ação específica para determinadas ordens de insetos. Algumas destas toxinas têm como alvos um espectro de lepidópteros de importância econômica. Noctuidae (Lepidoptera, Noctuoidea) que constitui a maior família de macrolepidópteros, abrigando a maioria das lagartas de importância econômica. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar de forma qualitativa e quantitativa as pesquisas científicas associadas à Noctuidae e às toxinas Cry provenientes de *Bt*, nos últimos 20 anos (1995-2015), disponíveis no Web of ScienceTM. O levantamento da produção científica foi realizado no banco de dados publicado no site Web of ScienceTM, de janeiro de 1995 a dezembro de 2015. Foram utilizados os descritores de busca ordenando, os termos “Noctuidae and *Bt*”. Foram selecionados os artigos que continham os termos solicitados em seus títulos, sendo os dados encaminhados posteriormente para o HISTCITETM (*Bibliometric Analysis and Visualization Software*). Foram identificados 364 artigos em língua inglesa, 60% destes estavam publicados no periódico “Journal of Economic Entomology”, os anos de 2014 a 2015 apresentaram maior produtividade científica. *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) está entre as espécies-pragas mais pesquisadas e a toxina Cry1Ac foi a mais abordada nos estudos analisados. Conclui-se que foi crescente as pesquisas envolvendo toxinas Cry e os noctuídeos no agronegócio mundial, de 1995 a 2015.

Palavras-chaves: *Bt*, *Helicoverpa armigera*, Lepidoptera, plantas transgênicas, produção científica.

ABSTRACT

Transgenic plants associated with "commodities" may express one or more insecticidal proteins, toxins called Cry, *Bacillus thuringiensis* Berliner genes. This biotechnology aims the reduction of populations of agricultural pests, with a specific action for certain orders of insects. Noctuidae (Lepidoptera: Noctuoidea) is the largest family of macrolepidoptera, comprising most of the caterpillars of economic importance. In this context, the objective of this study was to evaluate qualitatively and quantitatively the scientific researches, available in the Web of Science™, associated with Noctuidae and Cry toxins from *Bt* within the period of 20 years (1995-2015). The search for the scientific production was carried out in the database published on the website of Science™ from January 1995 to December 2015. The descriptors used in the search were the terms "Noctuidae and *Bt*", which were used to select the articles that contained these terms in their titles. After the selection the data were sent to HISTCITE™ (Bibliometric Analysis and Visualization Software). A total of 364 articles written in English were categorized, 60% of them were published in the Journal of Economic Entomology from 2014 to 2015 with the highest scientific impact. *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) was the most studied pest as well the Cry1Ac toxin. It is concluded that research on Cry toxins and noctuids is increasing in the world agribusiness since the last 20 years.

Keywords: *Bt*, *Helicoverpa armigera*, Lepidoptera, Noctuidae, scientific productivity, transgenic plants.

1. INTRODUÇÃO

A família Noctuidae abriga 48 subfamílias. Entre estas Heliiothinae, possui ampla distribuição mundial e uma riqueza estimada em aproximadamente 400 espécies (Mitter et al., 1993). Algumas das pragas mais prejudiciais são noctuídeos, devido à amplitude de dieta das lagartas que podem se alimentar de várias famílias de plantas (polifágas) (Matthews, 1999).

Numerosos estudos sobre noctuídeos estão associados somente à descrição e identificação de lagartas e adultos (Kitching 1984; Poole, 1989). Grande parte destes estudos abarcam informações referentes ao potencial de migração e invasão de espécies com amplo espectro de herbivoria e que promovem perdas significativas na agricultura.

Nas últimas décadas, os principais países que desenvolveram trabalhos sobre às espécies de Noctuidae foram os Estados Unidos da América (Pogue, 2005, 2006; Zahiri et al., 2011, 2013) e China (Feng et al., 2003, 2004; Wu, 2007; Liu et al., 2010).

Grande parte do conhecimento relacionado à migração, dispersão, e monitoramento de espécies de lepidópteros-pragas foram gerados por pesquisadores destes dois países, nas temáticas de taxonomia, morfologia, filogenia, biologia, biologia molecular e ecologia, subsidiadas por museus, universidades e instituições de pesquisas governamentais.

No Brasil são registradas diversas espécies de importância agrícola pertencentes a subfamílias de Noctuidae (Gallo et al., 2002; Venette and Gould, 2006; Duarte et al., 2012). Entretanto, algumas espécies são conhecidas também como indicadores de conservação como é o caso de *Tysania agripina* (Cramer, 1776), identificada como o maior lepidóptero do Globo terrestre, cuja presença funciona como indicador da saúde de biomas como Mata Atlântica e Floresta Amazônica (Duarte et al., 2012).

No Brasil os estudos com Noctuidae foram realizados com maior detalhamento na região sul do Brasil, acompanhando a diversidade regional da família (de Moraes et al., 1991; Specht & Corseuil, 1996, 2002; Busato et al., 2004; Specht et al., 2005; Sosa-Gómez et al., 2010; Formentini et al., 2015). Por outro lado, são poucas as informações em relação ao endemismo de espécies de noctuídeos no bioma Cerrado. Apenas para cinco espécies há informação sobre a amplitude de dieta e identificação das espécies de plantas hospedeiras do Cerrado. Uma destas espécies é *Eloria subapicalis* (Walker, 1855) com especificidade de dieta em *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) no Cerrado de Brasília (Diniz et al., 2011, 2013).

Com o advento da Revolução Verde e o incremento da modernização das técnicas utilizadas na produção, houve um interesse crescente no desenvolvimento das pesquisas sobre o melhoramento genético vegetal (Albergoni & Pelaez, 2007) e na produção dos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) pela tecnologia do DNA recombinante, que agregou-se ao esforço potencial para a maior produtividade às “commodities”. Com isso, a soja, o milho, o algodão e a canola foram reconhecidas como as principais culturas geneticamente modificadas com maior comercialização no mundo (Guerrante, 2003; Alves, 2004; Silveira et al., 2005; James, 2010).

Parte das plantas transgênicas associadas à redução de populações de pragas agrícolas tem relação com as “commodities” que expressam uma ou mais proteínas inseticidas, toxinas denominadas Cry, provenientes de genes do *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Atualmente, existem 428 proteínas descritas e classificadas em 55 classes de Cry, que possuem ampla atividade inseticida e são específicas para determinadas ordens de insetos (Pinto et al., 2003). Algumas destas toxinas têm como alvos um espectro de lepidópteros de importância econômica, o que, potencialmente, reduz o tamanho das

populações e o consumo de inseticidas (Bobrowski et al., 2003; Mendelsohn et al., 2003; Praça et al., 2004; Romeis et al., 2006; Roh et al., 2007; James, 2010).

A expansão da tecnologia de OGMs com expressão de determinadas toxinas *Bt*, deve possuir o manejo adequado por meio da adoção dos refúgios caso contrário pode-se favorecer populações de insetos resistentes à tecnologia (Gassmann et al., 2008; Sanchis & Bourguet, 2008; Tabashnik et al., 2013, 2014; Carrière et al., 2016).

O controle biológico por meio de bioinseticidas contendo toxinas Cry, também possui papel importante, sendo efetivo em áreas agrícolas, o que minimiza a utilização de inseticidas (Monnerat et al., 2000; Constanski et al., 2015).

Muitos estudos evidenciam a relação íntima entre tecnologias *Bt* e o controle efetivo de espécies pertencentes às diferentes subfamílias de Noctuidae. Esta revisão procurou, diante deste contexto elencar pontos nesta temática pela Cienciometria.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar de forma qualitativa e quantitativa as pesquisas científicas associadas à Noctuidae e às toxinas Cry provenientes de *Bt*, dentro do espaço de tempo dos últimos 20 anos (1995-2015), disponíveis no Web of Science™.

2. METODOLOGIA

Nos últimos anos, tornou-se crescente a preocupação com o monitoramento da produção científica e entre os métodos aplicados para avaliação da ciência, destaca-se a Cienciometria, que pode ser definida como a área voltada aos estudos quantitativos das atividades científicas, relacionados à produção, documentação e propagação de informações científicas de maneira global ou por um determinado país, comunidade científica e instituição (Spinak, 1998; Strehl & Dos Santos, 2002; Verbeek et al., 2002).

O levantamento da produção científica foi realizado no banco de dados publicado no sítio Web of Science™, de janeiro de 1995 a dezembro de 2015.

Foram utilizados como tópico da investigação: os descritores de busca ordenando, os termos “Noctuidae and *Bt*”. Foram selecionados os artigos que continham os termos solicitados em seus títulos, sendo os dados encaminhados posteriormente para o HISTCITE™ (*Bibliometric Analysis and Visualization Software*). O fator de impacto (FI) descrito neste estudo foi pesquisado no banco de informações científicas “Journal Impact Factor” para o ano atual de 2016.

Os resultados foram agrupados, dentro do período estipulado como: tipos de documentos, publicação total e média por ano, principais veículos de divulgação (periódicos), principais autores e países de origem, espécies mais documentadas de Noctuidae e principais toxinas estudadas.

3. RESULTADOS

Pela ordenação da pesquisa dos termos “Noctuidae and *Bt*”, foram identificados 749 artigos em língua inglesa, destes 364 foram filtrados porque continham ambos os termos em seus títulos e o espaço de tempo entre 1995 a 2015 (Fig. 1).

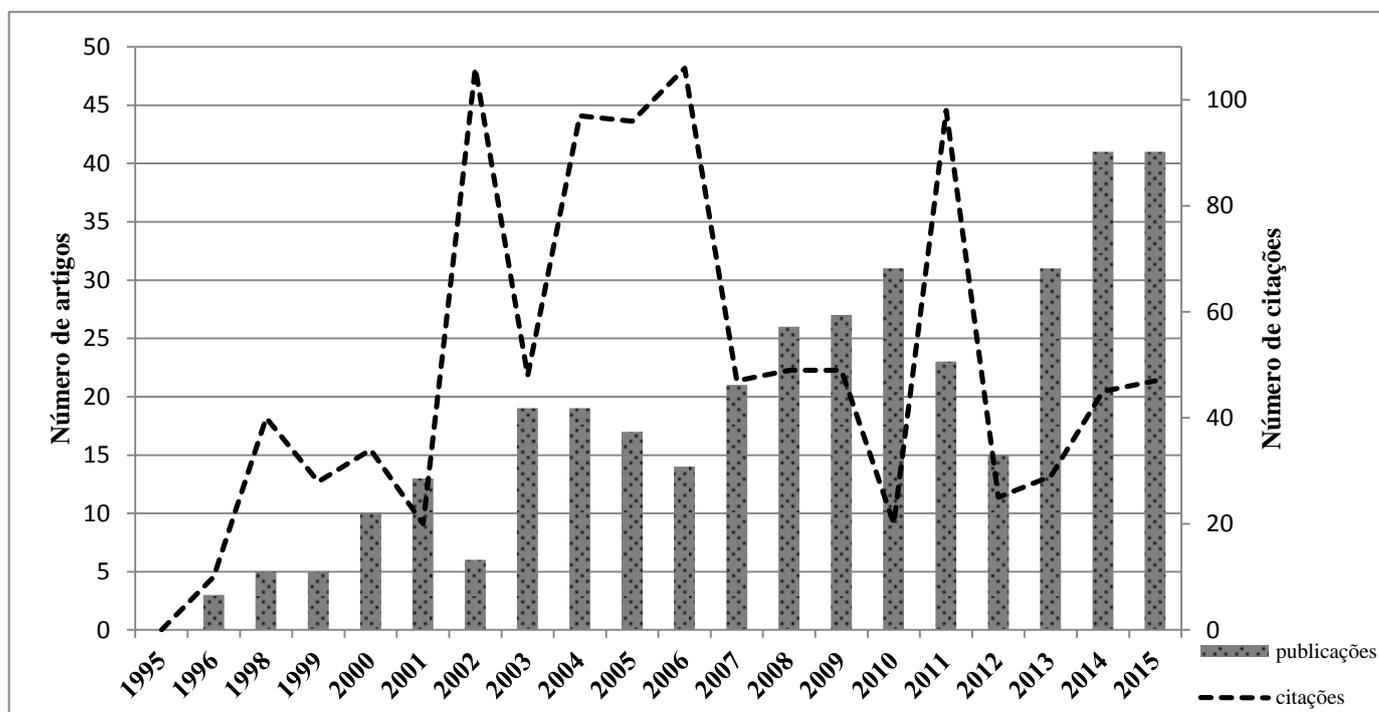


Figura 1. Número de artigos e citações associadas à combinação dos termos Noctuidae e toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* nos últimos 20 anos (1995-2015), registrados no sítio Web of Science™.

É notável o avanço científico com publicações sobre a temática de *Bt* e insetos pragas associados à família Noctuidae, verificando-se os anos de 2014 a 2015 como os de maior produtividade.

Dentre os 364 estudos, 100 relataram a evolução da resistência desenvolvida por alguma espécie de noctuídeo ou contribuíram para o melhor manejo das áreas de cultivo associados à tecnologia *Bt*, descrevendo diferentes estratégias como a piramidização, os refúgios, alta dose de toxinas e o controle biológico por diferentes toxinas de *B. thuringiensis* (Gassmann et al., 1998; Williams et al., 1998; Peck et al., 1999; Buntin et al., 2001; Hardee et al., 2001; Sanchis & Bourguet, 2008; Tabashnik et al., 2013; Criallesi-legori et al., 2014; Praça et al., 2014).

Oito espécies de noctuídeos foram documentadas nos estudos (Fig. 2), associadas às culturas de algodão, milho, soja e tabaco.

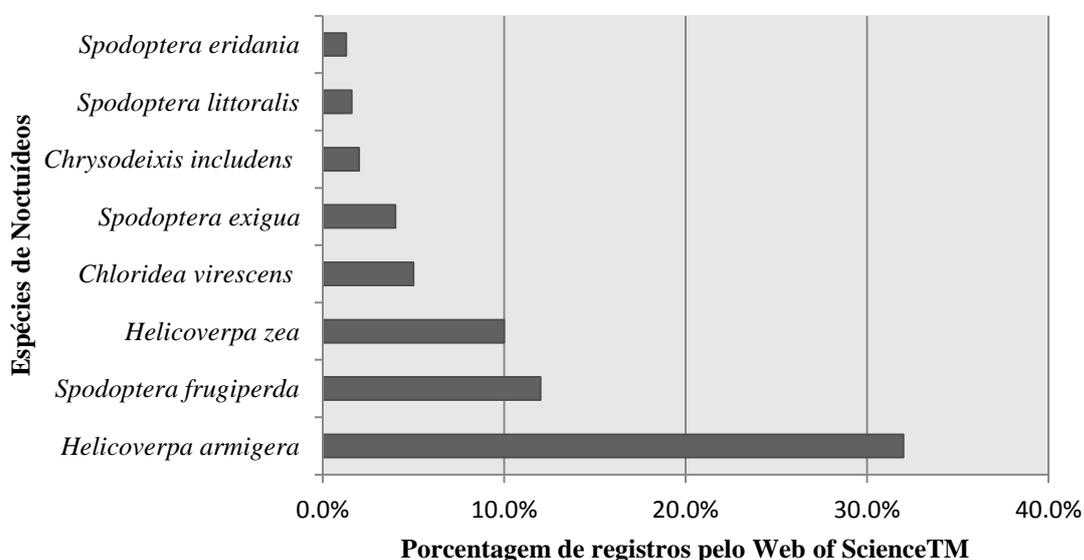


Figura 2. Principais espécies de mariposas Noctuidae registradas no sítio Web of Science™, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015.

Dez espécies de quatro gêneros foram as mais utilizadas como modelos nos estudos de resistência às toxinas. Foram elas: *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) e *H. zea* (Boddie, 1850); *Chloridea virescens* (Fabricius, 1777), *S. frugiperda* (J.E. Smith, 1797); *S. litura* (Fabricius, 1775); *S. cosmioides* (Stoll, [1781]); *S. eridania* (Stoll, [1781]); *S. exigua*; *S. litoralis* e *Chrysodeixis includens* (Walker [1858]) (Ma et al., 2000; Grove et al., 2001; Hardee et al., 2001; Sumerford, 2003; dos Santos et al., 2009; Vélez et al., 2013; Azzouz et al., 2014; Kumar & Grewal, 2015 Sorgatto et al., 2015).

Foram reconhecidos diferentes tipos de toxinas *Bt* que estão associadas aos receptores específicos de ligação em células do intestino dos noctuídeos. Entretanto, a mais utilizada nestes estudos foi a toxina “Cry1Ac”, com um percentual três vezes maior do que as seguintes Cry 2Ab e Cry1F (Fig. 3).

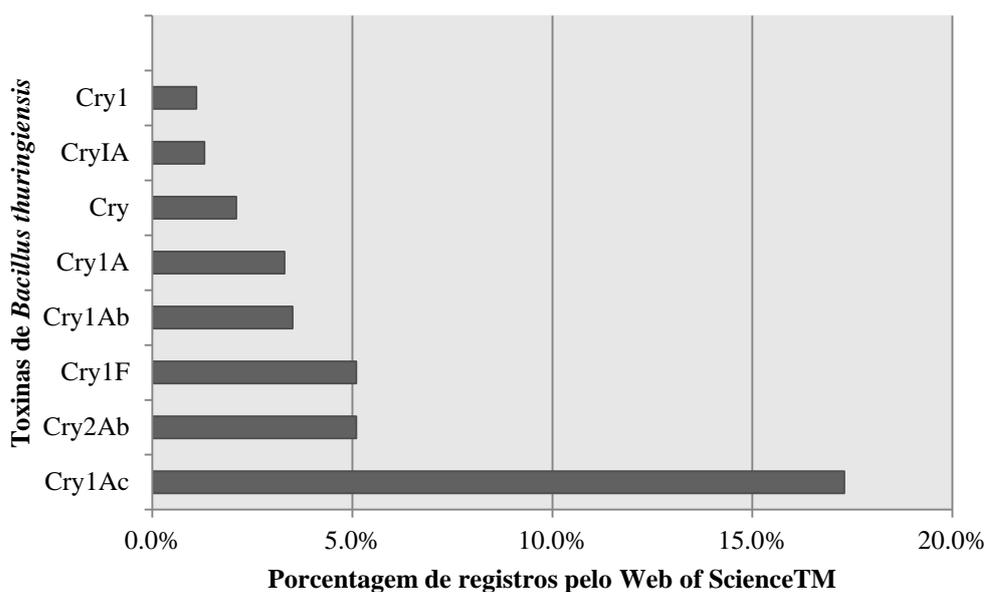


Figura 3. Porcentagem das diferentes toxinas de *Bacillus thuringiensis* citadas nos trabalhos registrados no sítio Web of Science™, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015.

Os estudos destacados foram publicados em 87 periódicos científicos, de distintas nacionalidades, com variados níveis de impacto. Foram elencados os cinco periódicos mais representativos associados às publicações de 364 artigos avaliados (Fig. 4).

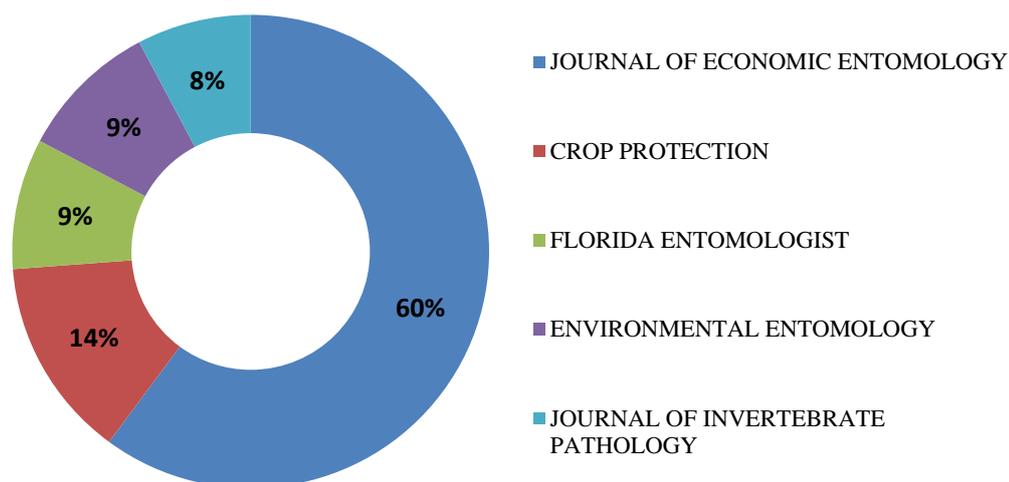


Figura 4. Porcentagem dos principais periódicos científicos com publicações envolvendo os termos “Noctuidae and *Bt*” registrados no sítio Web of Science™, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015.

O FI pertencentes aos cinco principais periódicos em ordem decrescente foram: “Journal of Invertebrate Pathology” (2.198); “Crop Protection” (1.652); “Journal of Economic Entomology” (1.609); “Environmental Entomology” (1.597) e “Florida Entomologist” (0.975).

Verificou-se que o periódico “*Journal of Economic Entomology*”, integrante oficial da Sociedade Entomológica da América (ESA), publicou a maioria dos estudos (60%). Este periódico tem várias seções relacionadas à importância econômica dos insetos nos mais variados enfoques, além de publicar fóruns de discussões acerca dos artigos editados.

Os EUA detêm os cinco autores mais reconhecidos no tema Noctuidae e *Bt*, tanto pelo número de publicações quanto pelas citações, a China vem em segundo lugar com três autores sendo também muito representativa, a Austrália e o Brasil vêm em seguida com o mesmo percentual de publicações, porém cada uma com um autor mais reconhecido (Fig. 5).

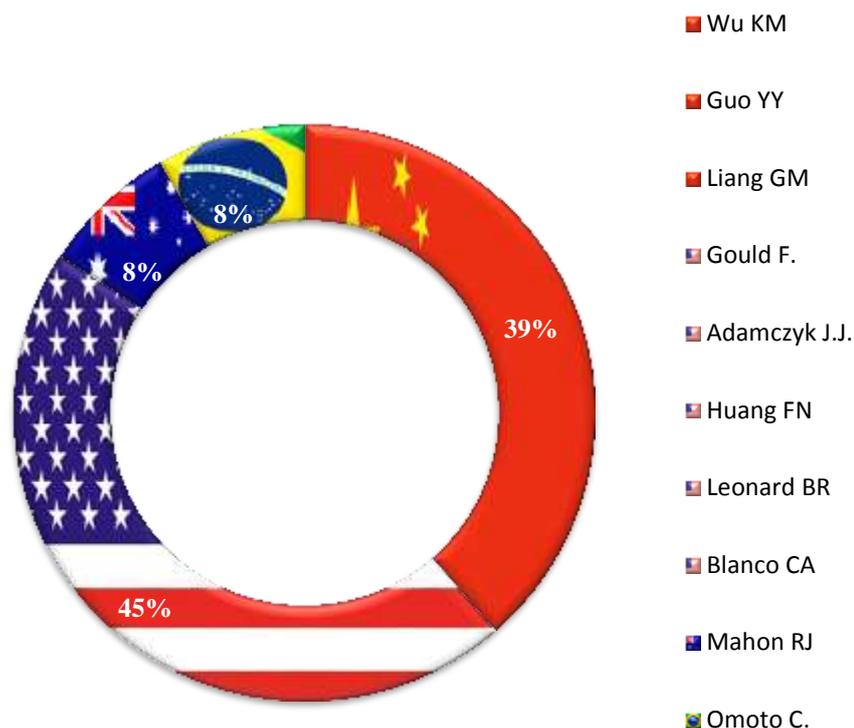


Figura 5. Os dez principais autores relacionados com o tema “Noctuidae and *Bt*” e seus respectivos países associados à produção acadêmica, registrada no sítio Web of Science™, durante o período de janeiro de 1995 a dezembro de 2015.

O artigo com maior citação (21,3%) foi o do autor Fred Gould, pesquisador da Universidade do estado da Carolina do Norte, EUA, que publicou uma revisão sobre a integração da genética com a ecologia de pragas (grande parte associada à família Noctuidae) como também à sustentabilidade de cultivares transgênicas (Gould, 1998).

4. DISCUSSÃO

Na década de 90, mais precisamente em 1996, somente nos Estados Unidos da América já havia 1.8 milhões de hectares cultivados com a tecnologia *Bt* (Gould, 1998). A demanda de informações acerca da utilização desta tecnologia foi ampliada à medida da necessidade de arranjos no campo, proporcionada pelo crescimento das áreas plantadas e pela expansão para outros países. Em 2001 observou-se um aumento das citações, que corrobora com o avanço na produção de “commodities” com *Bt*, que para neste mesmo ano já era subsidiada por, pelo menos 13 países (James, 2003).

Atualmente, após 20 anos da criação da tecnologia *Bt*, 23 países já a utilizam em seus cultivos, associados à produção de diferentes “commodities” (James, 2015). Em 2016 a “National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine” registrou que 70 milhões de hectares nos EUA e 90 milhões de hectares já tinham sido plantados com soja, incluindo países como: Argentina, Brasil, Canadá e Índia.

Parte das pesquisas avaliadas neste estudo referem-se ao impacto comercial, econômico e aos benefícios sociais atrelados às cultivares *Bt*, principalmente com o objetivo de reduzir o consumo de agrotóxicos em amplas áreas de cultivo. Estas pesquisas abriram, discussões relevantes que debateram riscos tanto positivos quanto negativos das culturas transgênicas (Hails, 2000; Pilson & Prendeville, 2004).

A principal espécie documentada nos estudos foi *H. armigera*, a qual é reconhecida pelo potencial destrutivo de suas lagartas, promovendo importantes perdas econômicas em diferentes culturas (Matthews, 1999; Gallo et al., 2002). Dentre as quatro espécies reconhecidas pertencentes ao gênero *Spodoptera* Guenée 1852, duas não foram registradas para o Brasil: *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808) e *S. litorallis* (Boisduval, 1833) (Fig. 2) (Sumerford, 2003; Sedighi et al., 2011).

Duas espécies *H. zea* e *S. frugiperda* possuem grande parte das suas populações resistentes às diferentes toxinas nas culturas de milho e algodão em vários países, porém há relatos do sucesso no manejo de resistência destas e outras espécies, com a utilização da estratégia de expressão de toxinas em altas doses e dos refúgios na América do Norte (Tabashnik et al., 2103).

A toxina *Bt* “Cry1Ac” que é umas das mais incorporadas aos produtos comerciais e que subsidiam a produção local e global de diferentes “commodities” foi tema de 17% das publicações avaliadas (Fernandes et al., 2010; Bernardi et al., 2012). Observou-se, que no decorrer dos últimos anos com o crescimento da biotecnologia, os estudos associados à estratégia de eventos piramidados, que possuem duas ou mais toxinas *Bt* expressas, foram expandidos com o objetivo de aumentar a eficiência na mortalidade de insetos alvos e reduzir o desenvolvimento da resistência à tecnologia (Tabashnik et al., 2014; Crialesi-legori et al., 2014; Carrière et al., 2015, 2016).

O Brasil possui grande importância na produção de grãos no mundo, desta forma as pesquisas desenvolvidas procuram desenvolver técnicas e tecnologias inovadoras que promovem maior produtividade no setor agrícola e que aumentem as possibilidades de exportação e de crescimento econômico expressivo. Assim, os estudos desenvolvidos no Brasil têm repercutido em várias áreas, com artigos publicados em periódicos de alto impacto e com autores reconhecidos mundialmente.

Em relação às pesquisas relacionadas aos noctuídeos e a tecnologia *Bt* não é diferente, os autores que desenvolvem seus trabalhos no Brasil estão bem colocados tanto pelo número de publicações quanto pelas citações. No Brasil, um dos autores líderes nesta área é comparável ao autor Australiano mais citado. Esta comparação é importante porque a Austrália é um país desenvolvido, com um histórico antigo de desempenho e larga produção agrícola com a utilização da tecnologia *Bt* (Fitt, 2003).

O levantamento destes dados sobre genes *Cry* do *Bacillus thuringiensis* e as mariposas pragas (Noctuidae) mostra o estado da arte deste conhecimento no mundo, evidenciando a hegemonia das pesquisas desenvolvidas nos Estados Unidos, seguida pela China. Entretanto, mostra também a presença da pesquisa desenvolvida no Brasil, que necessita de maiores subsídios financeiros em diferentes frentes de estudos, visto a importância do país na economia mundial frente ao agronegócio.

As publicações sobre o binômio “*Bt* and Noctuidae” mostram também o crescimento nos últimos 20 anos tanto nos estudos sobre as espécies-pragas de Noctuidae quanto a ampliação das áreas cultivadas com utilização de *Bt* e toxina Cry1Ac, como também pela mais recente ampliação da gama de espécies com descritores de resistência à tecnologia *Bt*, sendo este último um ponto emergente de discussão, que merece atenção, pois visa melhores percepções na utilização de tecnologias *Bt*, frente à demanda de uma agricultura sustentável global.

5. CONCLUSÕES

- ↪ A análise cienciométrica a partir dos termos “Noctuidae and *Bt*”, nos últimos vinte anos, permitiu verificar a demanda crescente de pesquisa relacionada com toxinas Cry e os noctuídeos;
- ↪ Houve uma relação entre o aumento dos estudos, citações e a cadeia produtiva de “commodities” com constante expansão, em escala global e regional.
- ↪ As espécies pertencentes à subfamília Heliiothinae (*H. armigera*; *H. zea* e *C. virescens*) estão entre as espécies-pragas mais pesquisadas;
- ↪ A toxina Cry1Ac foi a mais estudada;
- ↪ Cinco periódicos dos Estados Unidos foram os que abordaram mais frequentemente os termos “Noctuidae and *Bt*”;

- ☞ Os estudos que foram publicados nos últimos 20 anos tiveram como objetivos a redução do desenvolvimento da resistência das espécies de noctuídeos no panorama agrícola, a implementação de estratégias como piramidização, refúgios, alta dose de toxinas, e o controle biológico por diferentes toxinas de *Bt*.

6. REFERÊNCIAS.

- Albergoni, L., Pelaez, V., 2007. Da revolução verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas. *Revista de Economia* 33, 31–53.
- Alves, G.S., 2004. A biotecnologia dos transgênicos: precaução é a palavra de ordem. *Holos* 20, 1–10.
- Azzouz, H., Kebaili-Ghribi, J., ben Farhat-Touzri, D., Daoud, F., Fakhfakh, I., Tounsi, S., Jaoua, S., 2014. Selection and characterisation of an HD1-like *Bacillus thuringiensis* isolate with a high insecticidal activity against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science* 70, 1192–1201.
- Bernardi, O., Malvestiti, G.S., Dourado, P.M., Oliveira, W.S., Martinelli, S., Berger, G.U., Head, G.P., Omoto, C., 2012. 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* 68,1083–1091.
- Bobrowski, V.L., Fiuza, L.M., Pasquali, G., Bodanese-Zanettini, M.H., 2003. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. *Ciência Rural* 34, 843–850.
- Buntin, G.D., Lee, R.D., Wilson, D.M., McPherson, R.M., 2001. Evaluation of YieldGard transgenic resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) on corn. *Florida Entomologist* 84, 37–42.

- Busato, G.R., Grützmacher, A.D., Oliveira, A.C. de, Vieira, E.A., Zimmer, P.D., Kopp, M.M., Bandeira, J. de M., Magalhães, T.R., 2004. Analysis of the molecular structure and diversity of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) populations associated to the corn and rice crops in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Neotropical Entomology* 33,709–716.
- Carrière, Y., Crickmore, N., Tabashnik, B.E., 2015. Optimizing pyramided transgenic Bt crops for sustainable pest management. *Nat. Biotechnol.* 33, 161–168.
- Carrière, Y., Fabrick, J.A., Tabashnik, B.E., 2016. Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? *Trends in Biotechnology* 34, 291–302.
- Constanski, K.C., Zorzetti, J., Boas, G.T.V., Ricietto, A.P.S., Fazon, F.A.P., Boas, L.V., Monnerat, R.G., Neves, P.M.O.J., 2015. Seleção e caracterização molecular de isolados de *Bacillus thuringiensis* para o controle de *Spodoptera* spp. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50,730–733.
- Crialesi-Igori, P.C.B., Davolos, C.C., Lemes, A.R.N., Marucci, S.C., Lemos, M.V.F., Fernandes, O.A., Desidério, J.A., 2014. Interação de proteínas Cry1 e Vip3A de *Bacillus thuringiensis* para controle de lepidópteros-praga. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49, 79–87.
- de Moraes, R.R., Loeck, A.E., Belarmino, L.C., 1991. Flutuação populacional de Plusiinae e *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) em soja no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 26, 51–56.
- Diniz, I.R., Lepesqueur, C., Milhomen, M.S., Bandeira, F.C., Morais, H.C., 2011. *Eloria subapicalis* (Lepidoptera: Noctuidae: Lymantriinae): rare and specialist species on *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) in the cerrado. *Zoologia (Curitiba)* 28, 58–62.

- Diniz, I.R., Braga, L., Lepesqueur, C., Silva, N., Morais, H., 2013. Lagartas do Cerrado: guia de campo. Technical books, Rio de Janeiro. pp. 207.
- dos Santos, K.B., Neves, P., Meneguim, A.M., dos Santos, R.B., dos Santos, W.J., Boas, G.V., Dumas, V., Martins, E., Praça, L.B., Queiroz, P., 2009. Selection and characterization of the *Bacillus thuringiensis* strains toxic to *Spodoptera eridania* (Cramer), *Spodoptera cosmioides* (Walker) and *Spodoptera frugiperda* (Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). Biological Control 50, 157–163.
- Duarte, M., Marconato, G., Specht, A., Casagrande, M.M., 2012. In: Rafael, J.A., Melo, G.A.R, Carvalho, C.J.B., Casari, S.A., Constantino, R., (Eds.), Lepidoptera. Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. Holos, Ribeirão Preto, pp. 625–684.
- Feng, H.-Q., Wu, K.-M., Cheng, D.-F., Guo, Y.-Y., 2003. Radar observations of the autumn migration of the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in northern China. Bull. Entomol Research 93, 115–124.
- Feng, H.-Q., Wu, K.-M., Cheng, D.-F., Guo, Y.-Y., 2004. Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China. Journal of Economic Entomology 97, 1874–1883.
- Fernandes, O.D., Parra, J.R., Neto, A.F., Pícoli, R., Borgatto, A.F., Demétrio, C.G., 2010. Efeito do milho geneticamente modificado MON810 sobre a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae). Revista Brasileira de Milho e Sorgo 2, 25–35.
- Fitt, G.P., 2003. Implementation and impact of transgenic *Bt* cottons in Australia. The ICAC Recorded. 21, 14–119.

- Formentini, A.C., Sosa-Gómez, D.R., Paula-Moraes, S.V. de, Barros, N.M. de, Specht, A., 2015. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. *Ciência Rural* 45, 2113–2120.
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R.P.L., Batista, G.C.; Berti Filho, E., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B.; Vendramin, J.D.; Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., Omoto, C., 2002. *Entomologia Agrícola*. FEALQ, São Paulo, pp. 920
- Gassmann, A.J., Carrière, Y., Tabashnik, B.E., 2008. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 54,147-163.
- Gould, F., 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology* 43,701–726.
- Grove, M., Kimble, W., McCarthy, W.J., 2001. Effects of individual *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins on adult *Heliothis virescens* (F.) and *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control* 46, 321–335.
- Guerrante, R.D.S., 2003. *Transgênicos: uma visão estratégica*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, pp.173
- Hails, R.S., 2000. Genetically modified plants—the debate continues. *Trends Ecology Evolution* 15, 14–18.
- Hardee, D.D., Adams, L.C., Solomon, W.L., Sumerford, D.V., 2001. Tolerance to Cry1Ac in populations of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae): three-year summary. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 18,187–197.
- James, C., 2003. *Global review of commercialized transgenic crops: 2002 feature: Bt maize*. Isaaa Ithaca, NY.

- James, C., 2010. A global overview of biotech (GM) crops: adoption, impact and future prospects. *GM Crops* 1, 8–12.
- James, C., 2015. ISAAA Brief 49–2014: Executive summary. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2014. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.
- Kitching, I.J., 1984. An historical review of the higher classification of the Noctuidae (Lepidoptera). *Bulletin of the British Museum. Natural History. Entomol* 49, 153–234.
- Kumar, V., Grewal, G.K., 2015. Laboratory evaluation of transgenic *Bt* cotton (cry1Ac+ cry2Ab genes) and non-*Bt* Cotton against neonates, first and second instar larvae of *Spodoptera litura* Fab. *Phytoparasitica* 43,177–187.
- Liu, F., Xu, Z., Zhu, Y.C., Huang, F., Wang, Y., Li, H., Li, H., Gao, C., Zhou, W., Shen, J., 2010. Evidence of field-evolved resistance to Cry1Ac-expressing Bt cotton in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in northern China. *Pest Management Science* 66, 155–161.
- Ma, D.L., Gordh, G., Zalucki, M.P., 2000. Toxicity of biorational insecticides to *Helicoverpa* spp.(Lepidoptera: Noctuidae) and predators in cotton field. *Int. J Pest Management* 46, 237–240.
- Matthews, M., 1999. Heliothine moths of Australia. A guide to pest bollworms and related noctuid groups. CSIRO Publishing, Melbourne.
- Mendelsohn, M., Kough, J., Vaituzis, Z., Matthews, K., 2003. Are Bt crops safe? *Nature Biotechnology* 21, 1003–1009.
- Mitter, C., Poole, R.W., Matthews, M., 1993. Biosystematics of the Heliothinae (Lepidoptera: Noctuidae). *Annu Review Entomology* 38, 207–225.

- Monnerat, R.G., Bravo, A., Melo, I.S., 2000. Proteínas bioinseticidas produzidas pela bactéria *Bacillus thuringiensis*: modo de ação e resistência. Controle Biológico, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, pp.163–200.
- Peck, S.L., Gould, F., Ellner, S.P., 1999. Spread of resistance in spatially extended regions of transgenic cotton: implications for management of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal Economic Entomology 92, 1–16.
- Pilson, D., Prendeville, H.R., 2004. Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild populations. Annual Review Ecology, Evolution Systematics 149–174.
- Pinto, L.M.N., Berlitz, D.L., Castilhos-Fortes, R., Fiuza, L.M., 2003. Toxinas de *Bacillus thuringiensis*. Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento 38, 24–31.
- Pogue, M.G., 2005. The Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) of Great Smoky Mountains National Park. Zootaxa 1032, 1–28.
- Pogue, M.G., 2006. Nomenclatural validation of three North American species of Heliiothinae (Lepidoptera: Noctuidae) and the adult description of *Heliolonche joaquinensis* Hardwick. Zootaxa 1283, 25–36.
- Poole, R.W., 1989. Noctuidae 1-3. HEPPNER Lepidopterorum Catalogus. New Yourk: Brill 2,501–1013
- Praça, L.B., Batista, A.C., Martins, E.S., Siqueira, C.B., Dias, D. de S., Gomes, A., Falcão, R., Monnerat, R.G., 2004. Estirpes de *Bacillus thuringiensis* efetivas contra insetos das ordens Lepidoptera, Coleoptera e Diptera. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39, 11–16.
- Roh, J.Y., Choi, J.Y., Li, M.S., Jin, B.R., Je, Y.H., 2007. *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. Journal of Microbiology and Biotechnology 17, 547–559.

- Romeis, J., Meissle, M., Bigler, F., 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology* 24, 63–71.
- Sanchis, V., Bourguet, D., 2008. *Bacillus thuringiensis*: applications in agriculture and insect resistance management. A review *Agronomy Sustainable Development* 28, 11–20.
- Sedighi, L., Rezapanah, M., Aghdam, H. R., 2011. Efficacy of *Bt* transgenic sugar beet lines expressing cry1Ab gene against *Spodoptera littoralis* Bois. (Lepidoptera: Noctuidae). *Jornal Entomological Research Society* 13, 61-69.
- Silveira, J.M.F.J. da, Borges, I. de C. Buainain, A.M., 2005. Biotecnologia e agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. *São Paulo Em Perspect.* 19, 101–114.
- Sorgatto, R.J., Bernardi, O., Omoto, C., 2015. Survival and Development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt Cotton and Implications for Resistance Management Strategies in Brazil. *Environmental Entomology* 44, 186–192.
- Sosa-Gómez, D.R., Corrêa-Ferreira, B.S., Hoffmann-Campo, C.B., Corso, I.C., Oliveira, L.J., Moscardi, F., Panizzi, A.R., Bueno, A. DE F., Hirose, E., 2010. Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja. Embrapa Soja, Londrina , pp. 90.
- Specht, A., Corseuil, E., 1996. Lista documentada dos noctuídeos (Lepidoptera: Noctuidae) ocorrentes no Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências* 4,131–170.
- Specht, A., Corseuil, E., 2002. Diversity of owlet-moth (Lepidoptera, Noctuidae) in Salvador do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 19, 281–298.

- Specht, A., Teston, J.A., Di Mare, R.A., Corseuil, E., 2005. Noctuídeos (Lepidoptera, Noctuidae) coletados em quatro áreas estaduais de conservação do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 49,130–140.
- Spinak, E., 1998. Cienciometricos. *Ci Inf* 27,141–148.
- Strehl, L., Dos Santos, C.A., 2002. Indicadores de qualidade da atividade científica. *Ciência Hoje* 31(186),34–39.
- Sumerford, D.V., 2003. Larval development of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on artificial diet and cotton leaves containing a *Bacillus thuringiensis* toxin: heritable variation to tolerate Cry1Ac. *Florida Entomology* 86, 295–299.
- Tabashnik, B.E., Brévault, T., Carrière, Y., 2013. Insect resistance to *Bt* crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* 31,510–521.
- Tabashnik, B.E., Mota-Sanchez, D., Whalon, M.E., Hollingworth, R.M., Carrière, Y., 2014. Defining terms for proactive management of resistance to *Bt* crops and pesticides. *Journal Economic Entomology* 107, 496–507.
- Vélez, A.M., Spencer, T.A., Alves, A.P., Moellenbeck, D., Meagher, R.L., Chirakkal, H., Siegfried, B.D., 2013. Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bull. Entomological Research* 103,700–713.
- Venette, R.C., Gould, J.R., 2006. A pest risk assessment for *Copitarsia* spp., insects associated with importation of commodities into the United States. *Euphytica* 148, 165–183.
- Verbeek, A., Debackere, K., Luwel, M., Zimmermann, E., 2002. Measuring progress and evolution in science and technology—I: The multiple uses of bibliometric indicators. *Int. Journal Management Reviews* 4, 179–211.

- Williams, W.P., Buckley, P.M., Sagers, J.B., Hanten, J.A., 1998. Evaluation of Transgenic Corn for Resistance to Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae), Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), and Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae) in a Laboratory Bioassay, 2. *Journal of Agricultural Entomology* 15, 105–112.
- Wu, K., 2007. Monitoring and management strategy for *Helicoverpa armigera* resistance to Bt cotton in China. *Journal. Invertebrate Pathology* 95, 220–223.
- Zahiri, R., Kitching, I.J., Lafontaine, J.D., Mutanen, M., Kaila, L., Holloway, J.D., Wahlberg, N., 2011. A new molecular phylogeny offers hope for a stable family level classification of the Noctuoidea (Lepidoptera). *Zoologica Scripta* 40, 158–173.
- Zahiri, R., Lafontaine, D., Schmidt, C., Holloway, J.D., Kitching, I.J., Mutanen, M., Wahlberg, N., 2013. Relationships among the basal lineages of Noctuidae (Lepidoptera, Noctuoidea) based on eight gene regions. *Zoologica Scripta* 42, 488–507.

CAPÍTULO 2

Noctuóides (Lepidoptera: Noctuoidea) associados à soja não-*Bt* e sua isolínea *Bt* no Cerrado

RESUMO

Na tentativa de minimizar o dano de soja pelas lagartas (Lepidoptera: Noctuoidea), o uso de culturas GM com tolerância a herbicidas e expressando a toxina *Bt* tem sido intensificado. Neste estudo foi comparada a riqueza e a abundância de Noctuoidea associada à soja não-*Bt* e sua isolínea *Bt*. Foi verificada variações temporais destes lepidópteros em função da fenologia da soja e analisada a correlação das variações populacionais das espécies mais comuns com as variáveis meteorológicas. A pesquisa foi realizada na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. A coleta foi realizada semanalmente e consistiu de 10 sub-amostras aleatórias e supressivas de 1m². Um total de 13 espécies foram coletadas, das quais apenas oito ocorreram em soja *Bt*. Os taxa mais representativos foram *Chrysodeixis includens*, *Anticarsia gemmatalis* e o complexo de *Spodoptera* spp. O maior número de lagartas / m² foi de aproximadamente 10 lagartas / m², coletadas na soja não-*Bt* no estágio reprodutivo. O número de lagartas pertencentes às espécies alvo da tecnologia *Bt* (*C. includens* e *A. gemmatalis*) foi 10 vezes menor em *Bt* do que em soja não-*Bt*. *Utetheisa ornatix* e *Elaphria deltoides* foram registradas na soja pela primeira vez. Somente as lagartas de *A. gemmatalis* se correlacionaram ($p < 0,05$) negativamente com a precipitação. O experimento ocorreu durante condições climáticas atípicas, sob grande influência do El Niño. Apesar das diferenças de infestação entre as cultivares, não houve necessidade de aplicação de inseticidas e a produtividade da soja não-*Bt* e *Bt* não diferiram significativamente entre si.

Palavras-chave: *Anticarsia gemmatalis*, *Chrysodeixis includens*, Distrito Federal, *Spodoptera* spp., toxina Cry1Ac.

ABSTRACT

In an attempt to minimize soy damage by caterpillars (Lepidoptera: Noctuoidea), the use of GM crops with herbicide tolerance and expressing the *Bt* toxin has been intensified. In this study we compared the richness and abundance of Noctuoidea associated with non-*Bt* soy and its *Bt* isolate. We ascertained the temporal variations as a function of phenology, and correlated the population variations of the most common species with meteorological variables. The research was conducted in the experimental area of Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. The experimental design was a randomized block with three replications. Collection was conducted weekly and consisted of 10 random and suppressive 1m² sub-samples. A total of 13 species were collected, of which only eight occurred on *Bt* soybeans. The most representative taxa were *Chrysodeixis includens*, *Anticarsia gemmatalis* and *Spodoptera* complex of species. The highest number of caterpillars/m² was approximately 10 caterpillars/m², collected on non-*Bt* soybeans in the early reproductive stage. The number of caterpillars belonging to species targeted by the *Bt* technology (*C. includens* and *A. gemmatalis*) was 10 times lower on *Bt* than on non-*Bt* soybeans. *Utetheisa ornatrix* and *Elaphria deltoides* were recorded for the first time on soybean. Only *A. gemmatalis* caterpillars correlated ($p < 0.05$) negatively with precipitation. The experiment took place during atypical weather conditions, under great influence of the El Niño. Despite the differences in infestation between cultivars, there was no need to apply insecticides, and the productivity of non-*Bt* and *Bt* crops was not significantly different.

Keywords: *Anticarsia gemmatalis*; *Chrysodeixis includes*; Cry1Ac toxin; Federal District; *Spodoptera spp.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior exportador de soja do mundo (Hirakuri & Lazzarotto, 2014). Na safra 2015/2016 foram produzidas 95.418,9 milhões de toneladas das quais, pelo menos a metade, é oriunda de Savanas (Cerrado Brasileiro) convertidas em áreas agrícolas (Conab, 2016). Atualmente, o cultivo da soja ocupa 3,5% do território nacional, observando-se, na última década, um aumento na produção, superior a 60%, devido aos avanços tecnológicos (Hirakuri & Lazzarotto, 2014).

Entre os insetos que prejudicam a cultura da soja destacam-se os lepidópteros (Moscardi et al., 2012). São listadas 69 espécies nocivas à cultura da soja em quatro países da América do Sul (Argentina, Brasil, Chile e Uruguai), com destaque para os representantes da superfamília Noctuoidea (Formentini et al., 2015).

No Brasil, para diminuir os danos dos lepidópteros pragas, em diversas regiões há um aumento da produção de soja transgênica com cultivares que expressam a toxina Cry1Ac (Moriconi et al., 2014). A toxina Cry1Ac expressa na soja tem como pragas-alvos primárias as espécies denominadas como a lagarta da soja - *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) e a falsa-medideira *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]). Como resultado ocorre a redução das densidades populacionais destas duas espécies, e conseqüentemente a diminuição do uso de inseticidas (Mendelsohn et al., 2003; Romeis et al., 2006; Miklos et al., 2007; Roh et al., 2007).

Para ter eficácia contra os insetos-alvo a adoção da tecnologia *Bt* demanda o manejo adequado das culturas de forma a reduzir o desenvolvimento de populações resistentes (Bates et al., 2005; Gould, 1998; Tabashnik et al., 2013).

O manejo de resistência de insetos pressupõe estratégias, como a expressão de toxinas em alta dose e a adoção de refúgios estruturados (Caprio, 1998; Gould, 1998; Martinelli & Omoto, 2006). Além disso, a adoção da tecnologia *Bt* pode desencadear

mudança do status de pragas por suprimir as populações das principais espécies-alvo (Catarino et al., 2015). Dessa forma, o reconhecimento dos lepidópteros pelo monitoramento é essencial para o estabelecimento de medidas de manejo das áreas de plantio, permitindo a racionalização do uso de inseticidas (Specht & Corseuil, 2002).

A racionalização do uso de produtos fitossanitários contribui para redução dos efeitos adversos ao homem e meio ambiente, pois permite a utilização de medidas menos agressivas e mais específicas como o controle biológico (Dasgupta et al., 2001; Oliveira et al., 2014; Parra, 2014).

Os objetivos deste estudo foram (a) comparar a riqueza, abundância e as variações temporais dos noctuóides nos diferentes estádios fenológicos da soja não-*Bt* e *Bt* e (b) correlacionar as variáveis meteorológicas com os resultados das três espécies mais abundantes de noctuóides.

2. METODOLOGIA

2.1 Soja não-*Bt* e *Bt*

As cultivares de soja selecionadas eram tolerantes ao herbicida Roundup (RR), de ciclo longo determinado BRS Sambaíba RR (não-*Bt*) e sua isolínea BRS 9180 IPRO RR (*Bt*) que expressa a proteína Cry1Ac foram cultivadas na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Estas cultivares se destacam pela rusticidade e pelo potencial de rendimento de grãos, possuindo estabilidade de produção em áreas de Cerrado, especialmente nas temperaturas mais altas e na escassez de água.

A expressão da toxina *Bt* foi confirmada com o Kit comercial “Quickstix”, marca Envirologix® para toxina Cry1Ac, considerando um total de 84 pontos amostrados, as avaliações foram divididas entre os estádios vegetativo e reprodutivo, na soja não-*Bt* e na sua isolínea *Bt* (Apêndice A).

2.2 Tratamento e área de cultivo

O cultivo da soja foi realizado na área experimental da Embrapa Cerrados, localizada na rodovia BR-020, km 18, Planaltina, DF (Lat. 15°36'4''19' Sul, Long. 47°42'38'49' Oeste, altitude de 1.208 metros), safra 2015/2016.

As condições de preparo do solo, controle de plantas invasoras e doenças fúngicas seguiram as recomendações técnicas para a região (Embrapa, 2011).

O tratamento das sementes foi feito por Carboxin + Thiram 200 SC (300 ml/100 kg de sementes) e do Inoculante turfoso Soja - Embrapa Cerrados (1 kg/100 kg de sementes).

Os herbicidas utilizados foram Paraquat dichloride 276 g/L (1,5L/ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) e o Glifosato 480 g/L (2 L/ ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5L/ha) aplicados em 15 de novembro e em 12 de dezembro de 2015, respectivamente.

Os fungicidas empregados foram: a) Picoxistrobina 200,0 g/L+ Ciproconazole 80,0 g/L (0,4 L/ha)+ Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) em 6 de janeiro de 2016, Azoxistrobina 200 g/L + Ciproconazol 80 g/L (0,3 L /ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) aplicado em 15 de janeiro de 2016; Trifloxistrobina 150,0 g/L + Tiofanato-Metílico 500 g/L (0,3 L/ha) + Protioconazol 175,0 g/L(0,7 L/ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) aplicado em 3 de fevereiro de 2016; Piraclostrobina 133 g/L + Epoxiconazol 50 g/L (0,6 L/ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) aplicado em 17 e 18 de fevereiro de 2016 e Trifloxistrobina 150,0 g/L + Protioconazol 175,0 g/L (0,3 L/ha) + Óleo Mineral 760 g/L (0,5 L/ha) aplicado em 24 de fevereiro de 2016.

A semeadura da soja foi realizada em 11 de novembro de 2015. O espaçamento entre linhas de 50 cm, com 11 plantas por metro linear, resultando em 220.000 plantas ha⁻¹.

A tomada de decisão para o controle de pragas baseou-se nas amostragens semanais. Assim, o nível de controle, considerado foi de 30% de desfolha ou densidade populacional de 20-40 lagartas > 1,5cm por m² no período vegetativo e de 15-40 lagartas > 1,5cm por m² no período reprodutivo (Hoffmann-Campo et al., 2000; Praça et al., 2006; Conte & Corrêa-Ferreira, 2014). Entretanto, como não houve injúria maior que 15% nem mais de 15 lagartas por m², não foram realizadas pulverizações de inseticidas (Apêndice B).

2.3 Desenho experimental

O estudo foi conduzido em blocos de delineamento casualizados (DBC), com três repetições, no esquema de parcelas subdivididas, com dimensões de 2,1 a 2,5ha, dispostas em forma de mosaico alternado (três parcelas para soja não-*Bt* e soja *Bt*). No interior de cada parcela (cuja bordadura mínima foi de 24 metros) foi delimitada uma área amostral de 1ha (10.000m²) (Fig. 1), subdividida em 100 subparcelas de 10x10m (100m²), para as amostragens aleatorizadas de caráter supressivo. Nos casos em que houve o sorteio da mesma subparcela, a amostragem (1m²) foi efetuada em área adjacente para evitar sobreposição.

Ao longo da área experimental total, foram realizados sulcos para escoamento d'água, junto às curvas de nível.



Figura 1. Cultivo de soja não-*Bt* e *Bt* dividido em três repetições das cultivares BRS Sambaíba RR (não-*Bt*) e sua isolínea BRS 9180 IPRO RR (*Bt*), dispostas em forma alternada na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil. Nota: o quadrante pontilhado delimita a área central de amostragens com dimensão de 1ha.

2.4 Amostras sistematizadas de insetos

As amostragens das lagartas, realizadas semanalmente, constaram de 10 amostragens no interior de cada parcela, através do sorteio de 10 subparcelas aleatorizadas. Foram realizadas 18 coletas, iniciadas 19 dias após o plantio, estendendo-se até final do ciclo fenológico da soja (Tabela 1).

As 10 amostragens foram absolutas, porque houve a remoção de todas as plantas delimitadas dentro de um “plot” de 1m². Após a remoção das plantas a superfície do solo foi inspecionada para retirada de eventuais insetos que caíram no solo (Apêndice C). No total por coleta eram amostrados 60 m² (plot n = 60).

As plantas com os insetos foram acondicionadas em sacos de polietileno (50 a 200 litros de capacidade) e transportadas ao laboratório de Entomologia da Embrapa Cerrados, onde foram mantidas sob refrigeração (T= -6° C) até a triagem.

Os dados foram registrados em planilhas eletrônicas e os insetos foram etiquetados, fotografados e acondicionados em microtubos plásticos tipo “Eppendorf” em álcool 70% como material testemunho da pesquisa.

Tabela 1. Descrição dos estádios de desenvolvimento e datas das coletas da soja não-*Bt* e *Bt* para avaliação dos Noctuoidea na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil na safra 2015/2016.

Data da Coleta	Estádio de desenvolvimento da soja (Ritchie, 1985)¹
01/12/2015	V ₃ . Terceiro nó; segundo trifólio aberto.
08/12/2015	V ₄ . Quarto nó; terceiro trifólio aberto.
15/12/2015	V ₅ . Quinto nó; quarto trifólio aberto.
22/12/2015	V ₆ .V ₇ . Sexto e sétimo nó; quinto e sexto trifólio aberto.
29/12/2015	V ₈ .V ₁₀ . Oitavo a décimo nó; sétimo a décimo trifólio aberto.
05/01/2016	V ₁₁ .V ₁₅ . Décimo primeiro a décimo quinto nó; Décimo quarto trifólio aberto.
12/01/2016	V ₁₆ .V ₁₉ . Décimo sexto a décimo nono nó; Décimo quinto a décimo oitavo trifólio aberto.
19/01/2016	V ₂₀ .V ₂₁ . Vigésimo a vigésimo primeiro nó; último trifólio aberto antes da floração.
26/01/2016	R ₁ . Início da floração: até 50% das plantas com flor.
02/02/2016	R ₂ . Floração plena.
09/02/2016	R ₃ .R ₄ . Final da floração: flores e vagens com até 1,5-3 cm.
16/02/2016	R ₄ . R _{5.1} . Maioria das vagens no terço superior com 4 cm, com grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
23/02/2016	R _{5.2} . Maioria das vagens com granação de 10%-25%.
01/03/2016	R _{5.3} . Maioria das vagens entre 25% a 75% de granação.
08/03/2016	R _{5.5} . Maioria das vagens entre 75% e 100% de granação.
15/03/2016	R ₆ . Vagens com granação de 100% e folhas verdes.
22/03/2016	R ₇ . Início a 50% - 76% de amarelecimento de folhas e vagens.
29/03/2016	R ₈ . Mais de 50% de desfolha, pré-colheita.

¹ Adaptado de: Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Thompson, H.E., 1985. How a soybean plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service.

2.5 Triagem e identificação específica

Cada planta foi cuidadosamente vistoriada incluindo folhas (faces adaxial e abaxial), ramos, hastes, flores e vagens, quando presentes.

As lagartas encontradas foram identificadas até o menor nível taxonômico possível seguindo bibliografias especializadas (Angulo et al., 2008; Caballero et al., 1994; Passoa, 1991; Zenker et al., 2007) e em relação ao tamanho, foram classificadas em pequenas (<1,5cm), médias (>1,5cm<2,5cm) e grandes (>2,5cm) (Specht & Corseuil 2002). Foram coletados outros táxons nas amostragens absolutas, estes foram individualizados, montados, identificados e contabilizados (Apêndice D – Tabela 5).

2.6 Outros parâmetros avaliados na área de cultivo

Os dados meteorológicos, temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin); radiação (Rad), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vel Vento) e precipitação (Prec), foram obtidos junto à Estação Agrometeorológica da Embrapa Cerrados, compreendendo todo o período de cultivo de soja de novembro de 2015 a abril de 2016.

A produtividade de cada cultivar foi avaliada, considerando a heterogeneidade da área experimental, em 72 parcelas aleatórias, com maquinário (*Wintersteiger*) de 10m de comprimento por 1m de largura.

2.7 Análise de dados

O desenho experimental permitiu a análise e comparação dos seguintes fatores: cultivares da soja (2 níveis) e o estágio fenológico (9 níveis), com três repetições. O fator “cultivar” foi composto pelos tratamentos *Bt*: (BRS 9180 IPRO RR) e não-*Bt*: (BRS Sambaíba RR). O fator “estádio fenológico” (Tabela 1) foi composto por: E1:V₂₀-V₂₁, E2: R₁, E3: R₂, E4: R₃-R₄, E5:R₄-R_{5,1}, E6:R_{5,2}, E7:R_{5,3} E8:R_{5,4} e E9:R₆.

Apesar das coletas terem sido realizadas desde a segunda semana após a germinação, foram excluídas aquelas que obtiveram carência de dados, e assim as análises dos dados concentraram-se entre os estádios V₂₀-V₂₁ a R₆.

Modelos Lineares Generalizados (GLMs) foram utilizados para dados com distribuição discreta determinados por contagem, com o programa R versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014).

Quatro táxons *A. gemmatalis*, *C. includens*, *Spodoptera* spp. e Noctuoidea (todas as espécies) foram comparados entre os dois tratamentos, cultivares e períodos. Devido ao pequeno número de insetos e à semelhança de comportamento das espécies na soja os representantes das quatro espécies de *Spodoptera* foram reunidos no táxon *Spodoptera* spp. (Bergamasco et al., 2013). Os dados destes táxons foram submetidos à análise residual, com o teste Qui-quadrado χ^2 , para se avaliar a adequação da distribuição dos erros (Crawley, 2007).

A correlação entre as variáveis climáticas e as principais espécies de Lepidoptera encontradas, foi verificada pela análise da correlação de Spearman com o programa R versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014).

A produtividade média da soja não-*Bt* e *Bt*, foram estimadas e comparadas pelo do teste *t* - *Student* para amostras independentes.

3. RESULTADOS

No total foram coletadas 1.150 lagartas pertencentes a 13 espécies, nove gêneros e seis subfamílias de Erebidae e Noctuidae (Lepidoptera: Noctuoidea). Todas as 13 espécies foram coletadas na soja não-*Bt*. Entretanto, na soja *Bt*, cinco destas espécies não foram encontradas *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766), *Elaphria deltoides* (Möschler, 1880), *Mocis latipes* Gueneé, 1852, *Spodoptera albula* (Walker, 1857) e *Rachiplusia nu* Gueneé, 1852 (Tabela 2).

O número de lagartas coletadas na soja não-*Bt* correspondeu a 92% dos indivíduos (Tabela 2). Esta diferença foi significativa do estágio V₂₀-V₂₁ a R₆, quando foram observadas elevações populacionais com pico de aproximadamente 10 lagartas por metro quadrado em R₄-R_{5.1} (Fig.2A).

Tabela 2. Número de lagartas de lepidópteros (Noctuoidea) coletadas em soja não-*Bt* (BRS Sambaíba RR) e *Bt* (BRS 9180 IPRO RR) com expressão da toxina CRY1Ac, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal.

Táxon	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Família Erebidae		
Subfamília Eulepidotinae		
<i>Anticarsia gemmatalis</i> Hübner, 1818	192	17
Subfamília Erebinae		
<i>Mocis latipes</i> Gueneé, 1852	8	0
Subfamília Arctiinae		
<i>Utetheisa ornatrix</i> (Linnaeus, 1758)	12	4
Família Noctuidae		
Subfamília Heliothinae		
<i>Helicoverpa armigera</i> Hübner, 1809	6	1
Subfamília Noctuinae		
<i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel, 1766)	2	0
<i>Elaphria agrotina</i> (Gueneé, 1852)	6	2
<i>Elaphria deltoides</i> (Möschler, 1880)	1	0
<i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith, 1797)	4	2
<i>Spodoptera cosmioides</i> (Walker, 1858)	5	3
<i>Spodoptera eridania</i> (Stoll, 1782)	28	10
<i>Spodoptera albula</i> (Walker, 1857)	8	0
Subfamília Plusiinae		
<i>Chrysodeixis includens</i> (Walker, [1858])	785	53
<i>Rachiplusia nu</i> Gueneé, 1852	1	0
Total	1058	92

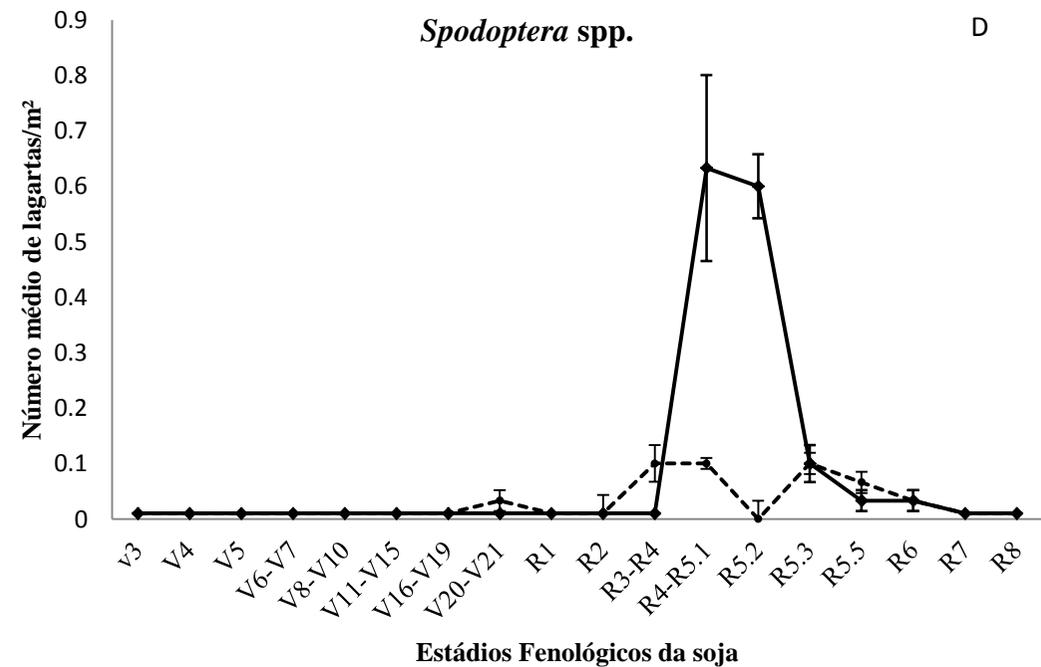
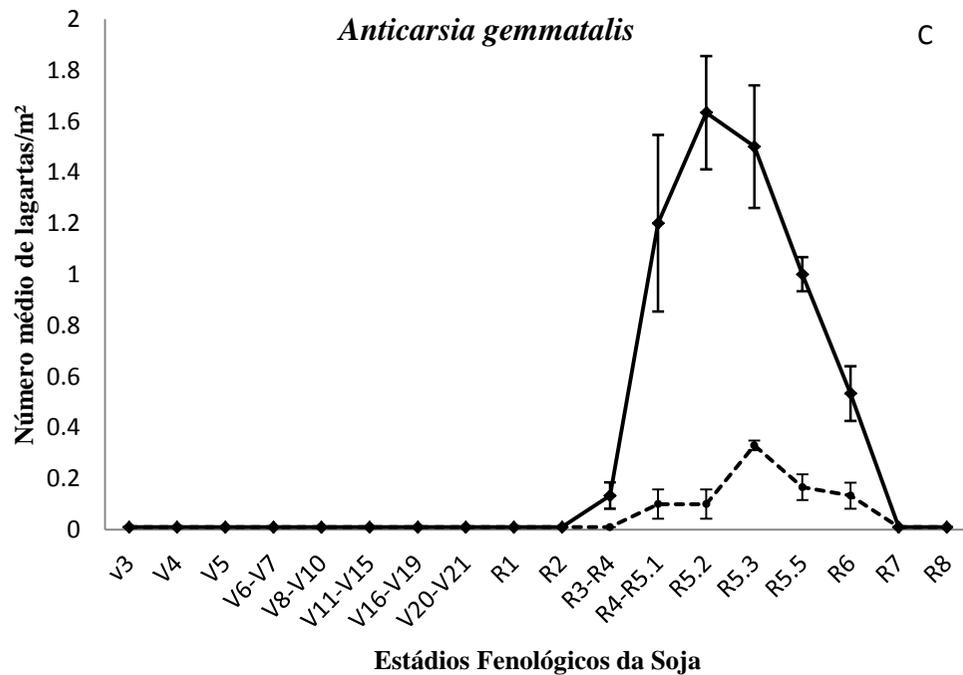
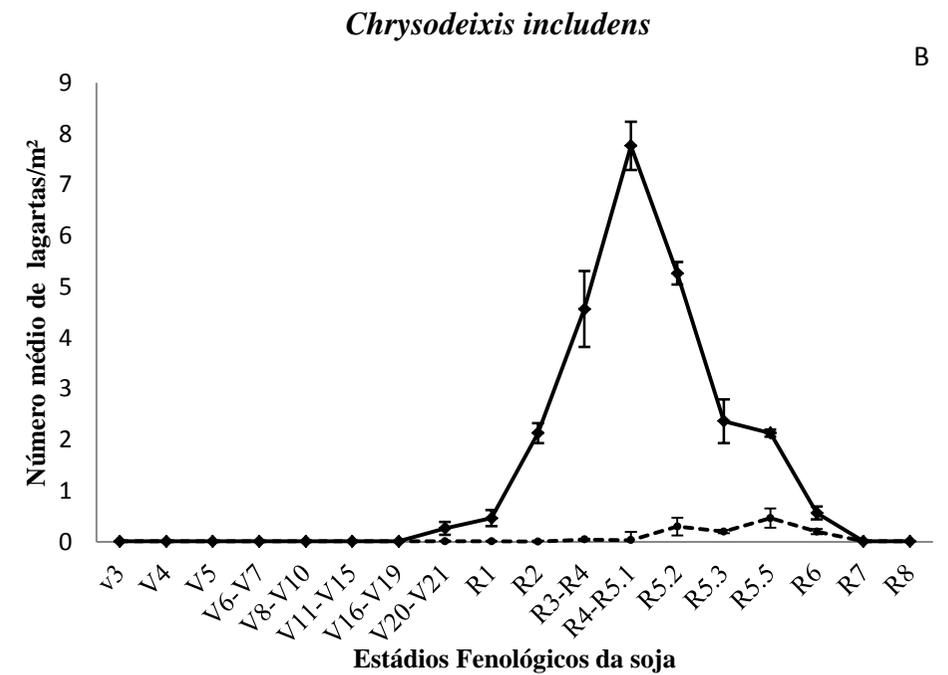
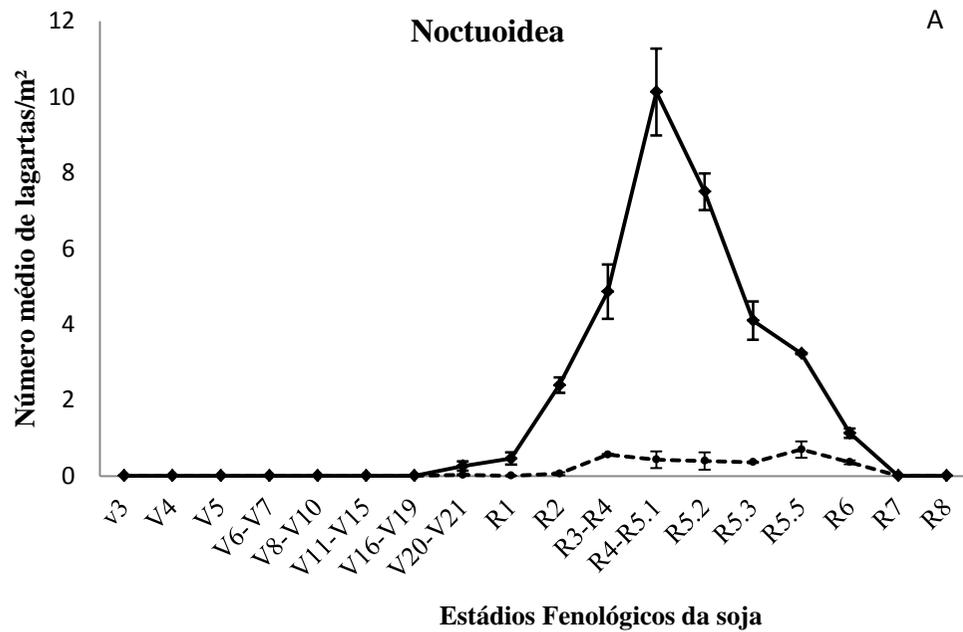


Figura 2. Número médio de lagartas por metro quadrado e respectivo erro padrão, coletadas em soja não-Bt (BRS Sambaíba RR) e Bt (BRS 9180 IPRO RR). (A) todas as espécies, (B) *Chrysodeixis includens*, (C) *Anticarsia gemmatilis* e (D) *Spodoptera spp.*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Os valores de número médio de lagartas/m² estão relacionados no eixo direito representados no gráfico por linha preta contínua na soja não-Bt e a linha preta tracejada na soja Bt. Nota: as figuras apresentam diferentes escalas.

Chrysodeixis includens foi à espécie mais abundante em ambas as cultivares. Entretanto, na soja não-*Bt* o número médio de lagartas foi praticamente 11,5 vezes maior do que o observado na soja *Bt*. *Chrysodeixis includens* na soja não-*Bt*, representou 74% do número total de lagartas coletadas, enquanto na soja *Bt* a representatividade foi de 58% de todos indivíduos coletados (Tabela 2). Devido à maior representatividade de *C. includens*, em ambas as cultivares ela influenciou os números médios de lagartas coletadas e foi responsável pelo resultado expresso na Figura 2A. Houve um pico populacional de 7,8 lagartas/m² ($p < 0,001$) na soja não-*Bt* no estágio reprodutivo R₄-R_{5,1} (Fig. 2B) (Tabela 3).

A lagarta-da-soja (*A. gemmatilis*) foi a segunda espécie mais abundante tanto na soja não-*Bt* como na *Bt*. Entretanto, na soja não-*Bt* o número médio de lagartas foi praticamente 11 vezes maior do que o observado na soja *Bt*. As lagartas foram coletadas a partir do estágio R₃-R₄. Com relação ao total de lagartas de todas as espécies, tanto na soja não-*Bt* quanto na soja *Bt*, a representatividade *A. gemmatilis* foi de 18%. Na soja não-*Bt* houve um pico populacional com aproximadamente 1,5 lagartas/m² ($p < 0,001$), no estágio reprodutivo R_{5,2} e R_{5,3} (Fig. 2C) (Tabela 3).

Quatro espécies de *Spodoptera* (n=60) corresponderam a pouco mais de 5% do total das lagartas coletadas. Na soja não-*Bt* o número médio de lagartas foi três vezes maior do que o coletado na soja *Bt*.

Na soja não-*Bt* o total de lagartas das espécies de *Spodoptera* representaram 4,2% dos indivíduos enquanto que na soja *Bt* sua representatividade aumentou para 16,3%. No estágio reprodutivo R₃-R₄ foi observado um número significativamente maior de lagartas na soja *Bt*. Nas duas semanas seguintes (R₄-R_{5,1} e R_{5,2}) houve uma inversão e o número médio de lagartas na soja não-*Bt* foi significativamente maior que na *Bt*, com um pico populacional de 0,6 lagartas/m² ($p < 0,001$) (Fig. 2D) (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação do número de lagartas coletadas por metro quadrado por estágio fenológico entre soja não-*Bt* e *Bt*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil: média e desvio padrão ($\bar{X} \pm SD$), coeficiente de variação em percentual (CV %), valor de qui-quadrado (χ^2) e significância (P = valor p).

Estádio Fenológico da Soja	<i>Todas as espécies</i>						
	Não- <i>Bt</i>			<i>Bt</i>			
	($\bar{X} \pm DP$)	(CV %)	χ^2	($\bar{X} \pm DP$)	(CV %)	χ^2	P
V20-V21	0,266 ± 0,378	141	6,1977	0,033 ± 0,057	173,21	3,506	*
R1	0,466 ± 0,472	101	19,408	0,000	0	0,000	**
R2	2,400 ± 0,608	25	84,197	0,066 ± 0,115	173	3,299	**
R3-R4	4,866 ± 2,157	44	116,946	0,566 ± 0,057	10	3,296	**
R4-R5.1	10,133 ± 3,435	33	330,95	0,433 ± 0,665	153	24,800	**
R5.2	7,500 ± 1,452	19	233,574	0,400 ± 0,692	173	29,735	**
R5.3	4,100 ± 1,513	36	109,693	0,366 ± 0,057	15	1,830	**
R5.5	3,233 ± 0,057	1	53,065	0,700 ± 0,655	93	11,156	**
R6	1,133 ± 0,378	33	12,330	0,366 ± 0,152	41	3,146	**
<i>Chrysodeixis includens</i>							
V20-V21	0,266 ± 0,378	141	11,09	0,000	0	0,000	**
R1	0,466 ± 0,472	101	19,4081	0,000	0	0,000	**
R2	2,133 ± 0,585	27	79,776	0,003 ± 0,057	173	1,634	**
R3-R4	4,566 ± 2,236	48	116,080	0,046 ± 0,057	12	3,425	**
R4-R5.1	7,766 ± 1,422	18	253,477	0,033 ± 0,493	147	16,021	**
R5.2	5,266 ± 0,665	12	161,431	0,300 ± 0,519	173	20,704	**
R5.3	2,366 ± 1,289	54	64,600	0,200 ± 0,100	50	0,859	**
R5.5	2,133 ± 0,208	9	34,715	0,466 ± 0,568	121	15,390	**
R6	0,566 ± 0,378	66	5,4824	0,200 ± 0,000	0	1,220	*
<i>Anticarsia gemmatalis</i>							
R3-R4	0,133 ± 0,115	86	5.5452	0	0	0,000	*
R4-R5.1	1,200 ± 1,039	86	32.913	0,100 ± 0,173	173	9,696	**
R5.2	1,633 ± 0,665	40	49.148	0,100 ± 0,173	173	9,443	**

			54,134			1,322	**
R5.3	1,500 ± 0,721	48		0,033 ± 0,057	173		
			19,812			4,333	**
R5.5	1,000 ± 0,200	20		0,166 ± 0,152	91		
			7,709			5,196	*
R6	0,533 ± 0,321	60		0,133 ± 0,152	114		
<i>Spodoptera spp.</i>							
	0,000		1,386			0,000	ns
V20-V21		0		0,033 ± 0,057	173		
	0,000		1,7578e-24			3,3474e-10	ns
R1		0		0,0000	0		
	0,000		1,7578e-24			3,3474e-10	ns
R2		0			0		
	0,000		4,158			0,000	*
R3-R4		0		0,100 ± 0,100	100		
			26,340			0,000	**
R4-R5.1	0,633 ± 0,503	79		0,100 ± 0,100	100		
			24,953			0,000	**
R5.2	0,600 ± 0,173	28		0,066 ± 0,057	86		
			0,0000			0,000	ns
R5.3	0,100 ± 0,100	100		0,100 ± 0,100	100		
			0,339			1,046	ns
R5.5	0,033 ± 0,057	173		0,066 ± 0,057	86		
R6			0,000			0,000	ns
	0,033 ± 0,057	173		0,033 ± 0,057	173		

χ^2 – valor do qui-quadrado calculado, P – probabilidade de significância, ns – Não significativo, * – significativo ao nível de 5%, ** – significativo ao nível de 1%.

A proporção de lagartas de diferentes tamanhos foi similar entre as cultivares, mas distinta entre as espécies. *Chrysodeixis includens* foi representada por 22% de lagartas pequenas, 26% de lagartas médias e 52% de lagartas grandes, *A. gemmatalis*, por 11% de pequenas, 52% de médias e 37% de grandes e *Spodoptera* spp. 15%, 30% e 55% de lagartas pequenas, médias e grandes, respectivamente (Fig. 3).

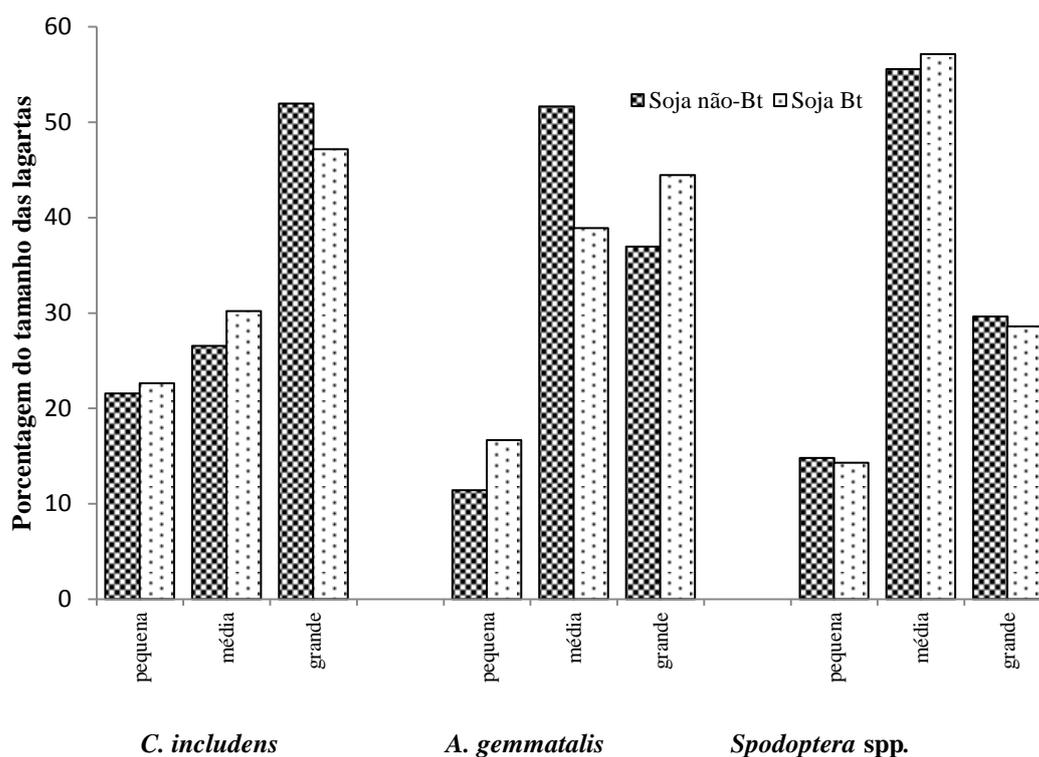


Figura 3. Porcentagem de lagartas de tamanho grande (>2,5cm), médio (>1,5cm<2,5cm) e pequeno (<1,5cm) pertencentes a *Chrysodeixis includens*, *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera* spp., coletadas em soja não-Bt e Bt, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.

A precipitação, cujos valores semanais cumulativos encontram-se representados na Figura 4, foi a única variável meteorológica que se correlacionou negativamente com os números de lagartas de *A. gemmatalis* ($p < 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente de Correlação de Spearman (r) entre as variáveis ambientais e as principais espécies de lagartas desfolhadoras de noctuóides. Temperatura média, radiação, umidade relativa, vento e precipitação, obtidas na Estação Agrometeorológica da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil, entre dezembro de 2015 a março de 2016.

Espécies	Variáveis				
	Temp. média	Radiação	U.R.	Vento	Precipitação
<i>Anticarsia gemmatalis</i>	0,270 ^{ns}	0,292 ^{ns}	-0,252 ^{ns}	-0,065 ^{ns}	-0,509*
<i>Chrysodeixis includens</i>	-0,254 ^{ns}	-0,041 ^{ns}	0,220 ^{ns}	0,143 ^{ns}	-0,141 ^{ns}
<i>Spodoptera</i> spp.	0,201 ^{ns}	0,284 ^{ns}	-0,196 ^{ns}	-0,105 ^{ns}	-0,289 ^{ns}

* – significativo ao nível de 5%, ns – não significativo.

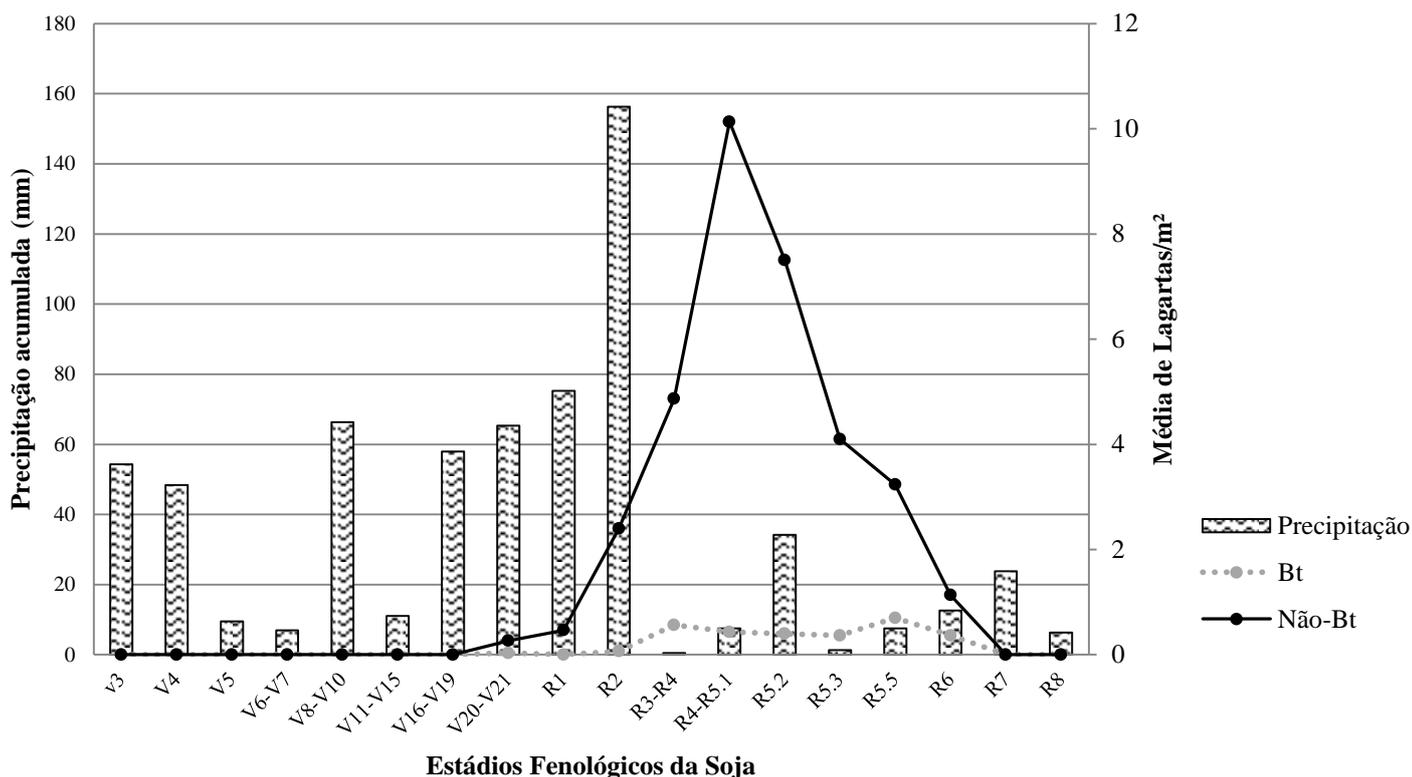


Figura 4. Precipitação acumulada (mm/semana) e número médio de lagartas coletadas por metro quadrado por semana, em soja não-*Bt* e *Bt*, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Os valores do eixo esquerdo correspondem a precipitação (mm), representados no gráfico por colunas. Os valores de número médio de lagartas estão relacionados no eixo direito representados no gráfico por linha preta contínua na soja não-*Bt* e a linha cinza pontilhada na soja *Bt*. No eixo horizontal estão relacionados os estádios fenológicos da soja, de acordo com cada semana de coleta.

As avaliações da expressão da toxina Cry1Ac confirmaram a expressão da toxina apenas no cultivo de soja *Bt*.

Verificou-se que a produtividade média foi de 40,5 sacas/ha sem haver diferenças significativas ($P = 0,680$) entre a soja não-*Bt* e *Bt*.

4. DISCUSSÃO

O número de lagartas coletado durante o experimento (Tabela 2) foi muito inferior ao esperado, uma vez que nem na soja não-*Bt* quanto na sua isolínea *Bt*, as populações não atingiram o Nível de controle (Hoffmann-Campo et al., 2000; Praça et al., 2006; Conte & Corrêa-Ferreira, 2014) que demandasse a aplicação de inseticidas.

Da mesma forma o número de espécies de Noctuoidea foi menor (13 espécies de Noctuoidea - Tabela 2) quando comparado às 31 espécies registradas na soja na América do Sul (Formentini et al., 2015). Por outro lado, destaca-se o primeiro registro de duas espécies, *E. deltoides* e *U. ornatix*, como herbívoros de soja, o que revela a necessidade de levantamentos em diferentes regiões onde a soja é cultivada.

Uma das possíveis explicações a respeito deste número reduzido de indivíduos pode ser devido ao fenômeno do El Niño, que teve sua expressão máxima entre setembro de 2015 e março de 2016 (Center Noaa, 2016). Outra explicação climática pode ser a estiagem de inverno que durou mais de cinco meses, com baixa precipitação registrada no período da safra de apenas um terço do esperado para a área, com chuvas irregulares, mas com prolongado período chuvoso seguido de estiagem (Fig. 4) (Silva et al., 2014).

O fato das lagartas pequenas de todas as espécies (<1,5 cm) representarem a menor proporção dos lepidópteros coletados (Fig. 3) contrasta com resultados obtidos tanto em soja como em outras culturas (Specht & Corseuil 2002). O número mais baixo de lagartas (pequenas) pode ser atribuído às variações de fatores abióticos como temperatura, precipitação, radiação, vento e U.R. (Silveira Neto et al., 1976), e bióticos como o controle biológico e entomopatógenos que podem afetar negativamente a sobrevivência dos primeiros instares (Silva, 1993; Foerster & Avanci, 1999; Sujii et al., 2002; Sosa-Gómez et al., 2003).

O fato da soja não-*Bt* estar relacionada à 92% das lagartas e ainda as cinco espécies não coletadas na soja *Bt* (Tabela 2) certamente está relacionado à expressão da toxina Cry1Ac, cujos efeitos sobre o controle de lepidópteros-praga já foram comprovados em estudos realizados em diversos países e espécies de lepidópteros (Walker et al., 2000; Ali et al., 2006; Miklos et al., 2007; Homrich et al., 2008; Viana et al., 2014).

O número de lagartas de *C. includens*, correspondeu a $\frac{3}{4}$ das lagartas coletadas no presente trabalho (Tabela 2, Apêndice B – Tabela 5), o que contrasta com outros estudos feitos em áreas do Cerrado em décadas anteriores que mostraram *A. gemmatalis* como a espécie mais importante (Castiglioni & Vendramim, 1996; Hoffmann-Campo et al., 2000; Moscardi et al., 2012). Entretanto, a partir do final do século XX os resultados já indicavam, *C. includens* como lagarta causadora de constante problema econômico, considerada como praga-chave, o que requer controle em quase todas as safras de soja (Sosa-Gómez et al., 2003, 2010; Moscardi et al., 2012; Yano et al., 2015).

O número máximo de lagartas de *C. includens* por m² encontrado neste trabalho sempre esteve abaixo do nível de controle, durante todo o período, exceto com um pico populacional entre R₄-R_{5,1} e R_{5,2}, sendo coletadas, principalmente, a partir do estágio reprodutivo da soja não-*Bt* (Tabela 3, Fig. 2B), diferindo de várias observações referentes às infestações precoces, três ou quatro semanas após a germinação, com pelo menos dois incrementos populacionais por safra (Didonet et al., 2003; Lo, 2010; Conte & Corrêa-Ferreira, 2014).

Na soja *Bt*, o número reduzido de lagartas coletadas indica a suscetibilidade de *C. includens* à toxina Cry1Ac (Bernardi et al., 2012; Viana et al., 2014; Sorgatto et al., 2015; Yano et al., 2015).

Os baixos números de outra espécie, *A. gemmatalis*, com no máximo 1,63 lagartas/m² e restrita aos estádios R_{5.2} e R_{5.3} (Fig. 2C; Tabela 3), contrastam diferentemente com a maioria das publicações que relacionam esta espécie com altos índices de infestação e desfolha (Walker et al., 2000; Gallo et al., 2002; Bueno et al., 2011). A observação de que o número de lagartas de *A. gemmatalis* coletadas na soja *Bt* corresponderam a menos de $\frac{1}{10}$ daquelas da soja não-*Bt*, certamente está relacionada à suscetibilidade à toxina Cry1Ac (Walker et al., 2000; Homrich et al., 2008; Bernardi et al., 2012).

Neste sentido, o presente estudo também foi o que documentou a menor incidência e proporção de *A. gemmatalis* em relação à *C. includens*, corroborando com as observações de Moscardi et al. (2012) de que esta espécie deixou de ser o lepidóptero-praga mais importante da soja. Considerando que a safra 2015/2016 ocorreu em condições meteorológicas atípicas, sob forte influência do fenômeno El Niño (Center Noaa, 2016), cabem estudos complementares para avaliar diferentes locais e condições ambientais para possíveis generalizações.

Neste estudo foi mostrada a correlação negativa entre densidade populacional de *A. gemmatalis* e a precipitação (Tabela 4), o que reforça a indicação de que anos com precipitação baixa ou irregular desencadeiam o aumento das densidades populacionais desta espécie (Sujii et al., 2002). O estabelecimento de correlação entre variáveis climáticas e a ocorrência de lepidópteros são importantes para previsões de ocorrência de cada espécie em função das condições meteorológicas atuais e futuras (Oliveira & Frizzas, 2008; DeLucia et al., 2012).

Neste estudo foram coletadas quatro das cinco espécies de *Spodoptera* cujas lagartas se alimentam de soja na América do Sul (Formentini et al., 2015; Montezano et al., 2015). Sua representatividade foi pequena uma vez que suas lagartas

corresponderam a praticamente 5% dos indivíduos coletados (Tabela 2). Este resultado difere dos resultados de outros estudos que registraram o aumento da representatividade de espécies de *Spodoptera* spp. nos cultivos de soja no Brasil, com ataque às folhas e vagens (Bueno et al., 2011; Moscardi et al., 2012; Panizzi et al., 2012).

Mais de 50% das lagartas de *Spodoptera* foram identificadas como *S. eridania*, reconhecida como uma das espécies de maior importância tanto para a soja quanto para o algodão, em diferentes sistemas agrícolas (Santos et al., 2005; Sujii et al., 2006). Apesar da pequena representatividade, com relação às lagartas coletadas na soja não-*Bt* e *Bt*, destaca-se para as espécies de *Spodoptera*, três indivíduos de *S. eridania* para uma das outras espécies o que difere da proporção entre *C. includens* e *A. gemmatalis* (Tabela 3, Fig. 2B, C, D). Deve-se lembrar que as espécies de *Spodoptera* não são pragas alvo da tecnologia *Bt* e esta proporção encontrada mesmo que pequena, é importante ser relatada, pois estas espécies são reconhecidas como tendo baixa suscetibilidade à toxina Cry1Ac (Souza, 2011; Bernardi et al., 2014; Sorgatto et al., 2015).

Este estudo mostrou a eficiência da tecnologia *Bt* e da toxina Cry1Ac para o manejo de espécies alvo, como *C. includens* e *A. gemmatalis*, corroborando com o reportado por diferentes autores em estudos de laboratório e de campo (Walker et al., 2000; Homrich et al., 2008; Viana et al., 2014; Bernardi et al., 2014; Sorgatto et al., 2015; Yano et al., 2015). Há uma crescente utilização da tecnologia *Bt* em soja no Brasil (Moriconi et al., 2014), como muitos incluindo o presente estudo mostraram resultados variáveis conforme as condições de campo, faz-se necessário mais estudos que avaliem e comparem a ação da tecnologia em diferentes cultivares, regiões, condições climáticas e sistemas de cultivo.

A abundância/ocorrência e a suscetibilidade diferencial dos principais representantes de Noctuoidea associados à soja (*C. includens*, *A. gemmatalis* e *Spodoptera* spp.) mostram a importância de se avaliar, em campo, parâmetros populacionais que auxiliem na tomada de decisão e a eficácia da tecnologia em condições naturais. O presente estudo, além de considerar os lepidópteros-alvo e não alvo, propiciou a identificação de espécies polífagas como, por exemplo, *U. ornatrix* (Tabela 2) que ocorreu em ambas as cultivares e ainda não havia sido citada ocorrente na soja (Formentini et al. 2015).

No conjunto, tais avaliações permitem avaliar o status de cada espécie no agroecossistema e a possível substituição das pragas alvo, controladas pela tecnologia *Bt*, por pragas secundárias ou outras espécies que possam vir a utilizar o recurso e espaço disponível, promovendo os fenômenos de ressurgência ou surtos de pragas secundárias (Hardin et al., 1995; Moscardi et al., 2012; Catarino et al., 2015).

O método de coleta empregado no presente estudo teve a desvantagem de suprimir as plantas. Entretanto, favoreceu o encontro de espécies como *A. ipsilon* que tem por hábito ficar junto ao solo (Costa & Link, 1984) além da vantagem da avaliação de área/volume mais preciso, que facilitou também a coleta de todos os insetos, incluindo os que estavam nos ramos e tecidos mais duros como também os insetos pequenos (praticamente inconspícuos), independentemente do espaçamento de plantio entre linhas. Neste sentido, recomenda-se a realização de estudos comparativos relacionados à eficiência de diferentes métodos de amostragem não supressivos (Corrêa-Ferreira, 2012; Riffel et al., 2012; Stürmer et al., 2013, 2014), com relação às amostragens absolutas.

Os resultados do presente trabalho mostraram que as lagartas ocorrem apenas após o final da fase vegetativa em baixas densidades o que não justificou nenhuma

utilização de controle. Este resultado reforça a importância do monitoramento de insetos, visto que para cada cultivo e condições dos fatores bióticos e abióticos a situação pode se apresentar de forma singular. Como por exemplo, outro estudo efetuado em áreas de Cerrado teve resultados diferentes do presente Didonet et al., (2003) assim como o desenvolvimento em diferentes áreas e safras no Paraná (Conte & Correa-Ferreira et al., 2014).

Apesar de este estudo ter documentado um maior número de lagartas das espécies alvo da tecnologia na soja não-*Bt* (Fig. 2A, Tabela 2), para informações mais precisas sugere-se estudos mais aprofundados, que incluam elaboração de tabelas de vida para que sejam validados o número de insetos adultos, que é importante ao Manejo de Resistência à Tecnologia *Bt*, especialmente com o foco em retardar a evolução de resistência das pragas alvo (Gould, 1998; Carriere et al., 2005; Martinelli & Omoto, 2006; Tabashnik et al., 2013).

5. CONCLUSÕES

- ✧ Das 13 espécies de Noctuoidea coletadas na soja cinco foram encontradas somente na soja não-*Bt*: *A. ipsilon*, *E. deltoides*, *M. latipes*, *S. albula* e *R. nu*;
- ✧ *Elaphria deltoides* e *U. ornatix* foram registradas pela primeira vez associadas à soja;
- ✧ Os táxons mais abundantes foram *Anticarsia gemmatalis*, *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera* spp., especialmente no período reprodutivo da soja;
- ✧ *Chrysodeixis includens* foi a espécie mais representativa tanto na soja não-*Bt* como na *Bt*;
- ✧ O efeito da toxina Cry1Ac sobre as espécies de noctuóideos em campo foi evidenciado pela maior proporção de lagartas coletadas na soja não-*Bt* que correspondeu a 11,5 vezes o número presente na soja *Bt*;

- ✧ Houve diferenças significativas na abundância e nas variações temporais dos noctuóideos presentes na soja não-*Bt* e *Bt*;
- ✧ A precipitação correlacionou-se negativamente com a abundância de *A. gemmatalis*;
- ✧ A baixa incidência de lagartas no experimento, sem atingir Nível de Dano Econômico, foi atribuída a ocorrência do fenômeno El Niño durante safra 2015/2016.

6. REFERÊNCIAS

- Ali, M.I., Luttrell, R.G., Young, S.Y., 2006. Susceptibilities of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) populations to Cry1Ac insecticidal protein. *Journal of Economic Entomology* 99, 164–175.
- Angulo, A.O., Olivares, T.S., Weigert, G.T., 2008. Estados inmaduros de lepidópteros noctuidos de importancia agrícola y forestal en Chile y claves para su identificación (Lepidoptera: Noctuidae), 3rd Ed. Universidad de Concepción, Concepción.
- Bates, S.L., Zhao, J.Z., Roush, R.T., Shelton, A.M., 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nature Biotechnology* 23, 57–62.
- Bergamasco, V.B., Mendes, D.R.P., Fernandes, O.A., Desidério, J.A., Lemos, M.V.F., 2013. *Bacillus thuringiensis* Cry1Ia10 and Vip3Aa protein interactions and their toxicity in *Spodoptera* spp. (Lepidoptera). *Journal Invertebrate Pathology* 112, 152–158.
- Bernardi, O., Malvestiti, G.S., Dourado, P.M., Oliveira, W.S., Martinelli, S., Berger, G.U., Head, G.P., Omoto, C., 2012. 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* 68, 1083–1091.
- Bernardi, O., Sorgatto, R.J., Barbosa, A.D., Domingues, F.A., Dourado, P.M., Carvalho, R.A., Martinelli, S., Head, G.P., Omoto, C., 2014. Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. *Crop Protection*. 58, 33–40.
- Bueno, R.C., Bueno, A.F., Moscardi, F., Parra, J.R., Hoffmann-Campo, C.B., 2011. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. *Pest Management Science* 67, 170–174.
- Caballero, R., Habeck, D.H., Andrews, K.L., 1994. Chave ilustrada para larvas de noctuidos de importancia economica de El Salvador, Honduras y Nicaragua. *Ceiba* 35, 225–237.
- Caprio, M.A., 1998. Evaluating resistance management strategies for multiple toxins in the presence of external refuges. *Journal of Economic Entomology* 91, 1021–1031.
- Carriere, Y., Eilers-Kirk, C., Kumar, K., Heuberger, S., Whitlow, M., Antilla, L., Dennehy, T.J., Tabashnik, B.E., 2005. Long-term evaluation of compliance with refuge requirements for *Bt* cotton. *Pest Management Science* 61, 327–330.
- Castiglioni, E.A., Vendramim, J.D., 1996. Desenvolvimento da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis* Hübner) em cultivares de soja com diferentes densidades larvais de criação. *Scientia Agricola* 53, 146–151.
- Catarino, R., Ceddia, G., Areal, F.J., Park, J., 2015. The impact of secondary pests on *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) crops. *Plant Biotechnology Journal* 13, 601–612.

- Center Noaa, 2016. Climate Prediction Center. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Historical El Niño and La Niña episodes based on the ONI computed using ERSST Natl. Ocean. Atmos. Adm. Available at: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf. (Accessed 22 Set 16).
- Conab Companhia Nacional de Abastecimento, 2016. Abastecimento da safra brasileira de grãos. V. 3, Safra 2015/2016, N. 9 - nono levantamento. Available at: <https://www.conab.gov.br/> (accessed 8 Nov 16).
- Conte, O., Corrêa-Ferreira, B.S., 2014. Resultados do Manejo Integrado de Pragas da Soja na Safra 2013/14 no Paraná. Embrapa Soja, Londrina. pp.56.
- Corrêa-Ferreira, B.S., 2012. Amostragem de pragas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.), Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 631–672.
- Costa, E.C., Link, D., 1984. Estimativa de danos e estudo sobre o comportamento de *Agrotis ipsilon* Hufnagel. Ciência Rural 14, 9-17.
- Crawley, M.J., 2007. The R Book. John Wiley & Sons, Chichester.
- Dasgupta, S., Mamingi, N., Meisner, C., 2001. Pesticide use in Brazil in the era of agroindustrialization and globalization. Environment and Development Economics 6, 459–482.
- DeLucia, E.H., Nabity, P.D., Zavala, J.A., Berenbaum, M.R., 2012. Climate change: resetting plant-insect interactions. Plant Physiology 160, 1677–1685.
- Didonet, J., Sarmiento, R. de A., Aguiar, R.W.D.S., Santos, G., Erasmo, E.A.L., 2003. Abundância de pragas e inimigos naturais em soja na região de Gurupi, Brasil. Manejo Integr. Plagas Agroecol 69, 50–57.

- Embrapa, 2011. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013. Embrapa Soja, Londrina. pp. 261.
- Foerster, L.A., Avanci, M.R., 1999. Egg parasitoids of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in soybeans. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil 28, 545–548.
- Formentini, A.C., Sosa-Gómez, D.R., Paula-Moraes, S.V. de, Barros, N.M. de, Specht, A., 2015. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. Ciência Rural 45, 2113–2120.
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R.P.L., Batista, G.C., Berti Filho, E., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B., Vendramin, J.D., Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., Omoto, C. 2002. Entomologia Agrícola. FEALQ, São Paulo.
- Gould, F., 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. Annual Review of Entomology 43, 701–726.
- Hardin, M.R., Benrey, B., Coll, M., Lamp, W.O., Roderick, G.K., Barbosa, P., 1995. Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms. Crop Protection. 14, 3–18.
- Hirakuri, M.H., Lazzarotto, J.J., 2014. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Embrapa Soja, Londrina.
- Hoffmann-Campo, C.B., Moscardi, F., Corrêa-Ferreira, B.S., Oliveira, L.J., Sosa-Gómez, D.R., Panizzi, A.R., Corso, I.C., Gazzoni, D.L., Oliveira, E. de, 2000. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. Embrapa Soja, Londrina.
- Homrich, M.S., Passaglia, L.M.P., Pereira, J.F., Bertagnolli, P.F., Pasquali, G., Zaidi, M.A., Altosaar, I., Bodanese-Zanettini, M.H., 2008. Resistance to *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae) in transgenic soybean (*Glycine*

- max* (L.) Merrill Fabales, Fabaceae) cultivar IAS5 expressing a modified Cry1Ac endotoxin. *Genetics and Molecular Biology* 31, 522–531.
- Lo, T.I., 2010. Flutuação populacional de insetos-praga na cultura da soja no Estado de Roraima. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais* 8, 71–76.
- Martinelli, S., Omoto, C., 2006. Resistencia de lepidópteros-praga a inseticidas na cultura do algodão no Brasil. *Rev Bras Ol Fibras* 10, 1167–82.
- Mendelsohn, M., Kough, J., Vaituzis, Z., Matthews, K., 2003. Are *Bt* crops safe? *Nature Biotechnology* 21, 1003–1009.
- Miklos, J.A., Alibhai, M.F., Bledig, S.A., Connor-Ward, D.C., Gao, A.-G., Holmes, B.A., Kolacz, K.H., Kabuye, V.T., MacRae, T.C., Paradise, M.S., Toedebusch, A.S., Harrison, L.A., 2007. Characterization of soybean exhibiting high expression of a synthetic transgene that confers a high degree of resistance to Lepidopteran pests. *Crop Science* 47, 148–157.
- Montezano, D.G., Sosa-Gómez, D.R., Paula-Moraes, S.V., Roque-Specht, V.F., Fronza, E., Barros, N.M., Specht, A., 2015. Biotic potential and reproductive parameters of *Spodoptera dolichos* (Lepidoptera: Noctuidae) in the laboratory. *Zoologia (Curitiba)* 32, 485–491.
- Moriconi, P.R., de Oliveira Tonietti, P., Moreno, L.Z., Matté, G.R., 2014. Regulação de organismos geneticamente modificados de uso agrícola no Brasil e sua relação com os modelos normativos europeu e estadunidense. *Revista Direito Sanitário* 14, 112–131.
- Moscardi, F., Bueno, A.F., Sosa-Gómez, D.R., Roggia, S., Hoffmann-Campo, C.B., Pomari, A.F., Corso, I.C., Yano, S.A.C., 2012. Artrópodes que atacam as folhas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.),

- Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 211–334.
- Oliveira, C.M., Frizzas, M.R., 2008. Insetos de Cerrado: distribuição estacional e abundância. Embrapa Cerrados, Planaltina.
- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R., 2014. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection* 56, 50–54.
- Panizzi, A.R., Bueno, A.F., Silva, F.A.C., 2012. Insetos que atacam vagens e grãos. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.), *Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Embrapa, Brasília, pp. 335–420.
- Parra, J.R.P., 2014. Biological control in Brazil: an overview. *Sci. Agric.* 71, 420–429.
- Passoa, S., 1991. Color identification of economically important *Spodoptera* larvae in Honduras (Lepidoptera: Noctuidae). *Insecta Mundi* 5, 185-196.
- Praça, L.B., da Silva Neto, S.P., Monnerat, R.G., 2006. *Biologia, Amostragem e Métodos de Controle*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília.
- R Core team, 2014. R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>. (Accessed 25 Nov 15).
- Riffel, C.T., Garcia, M.S., Santi, A.L., Basso, C.J., Flora, L.P.D., Cherubin, M.R., Eitelwein, M.T., 2012. Sample density applied to the georeferenced monitoring of defoliating caterpillars in soybean crop. *Ciência Rural* 42, 2112–2119.
- Roh, J.Y., Choi, J.Y., Li, M.S., Jin, B.R., Je, Y.H., 2007. *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *Journal Microbiology and Biotechnology* 17, 547-559.

- Romeis, J., Meissle, M., Bigler, F., 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology* 24, 63–71.
- Santos, K.B., Meneguim, A.M., Neves, P.M., 2005. Biology and consumption of *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae) in different hosts. *Neotropical Entomology* 34, 903–910.
- Silva, M.T.B., 1993. Control of the soybean caterpillar (*Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 - Lepidoptera: Noctuidae). IV. Natural Biological Control. *Ciência Rural* 23, 127–132.
- Silva, F.A.M., Evangelista, B.A., Malaquias, J.V., 2014. Normal climatológica de 1974 a 2003 da estação principal da Embrapa Cerrados. Embrapa Cerrados, Planaltina.
- Silveira Neto, S., Nakano, O., Barbin, D., Nova, N.A., 1976. Manual de ecologia dos insetos. Editora Agronômica Ceres, São Paulo.
- Sorgatto, R.J., Bernardi, O., Omoto, C., 2015. Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on *Bt* Cotton and Implications for Resistance Management Strategies in Brazil. *Environmental Entomology* 44, 186–192.
- Sosa-Gómez, D.R., Delpin, K.E., Moscardi, F., Nozaki, M. de H., 2003. The impact of fungicides on *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson epizootics and on populations of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), on soybean. *Neotropical Entomology*. 32, 287–291.
- Sosa-Gómez, D.R., Lastra, C.C.L., Humber, R.A., 2010. An overview of arthropod-associated fungi from Argentina and Brazil. *Mycopathologia* 170, 61–76.
- Specht, A., Corseuil, E., 2002. Avaliação populacional de lagartas e inimigos naturais em azevém, com rede de varredura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37, 1–6.

- Stürmer, G.R., Cargnelutti Filho, A., Guedes, J.V.C., Stefanelo, L.S., 2013. Sample size for estimate the average of caterpillars in soybean. *Bioscience Journal* 29, 1596–1605.
- Stürmer, G.R., Cargnelutti Filho, A., Sari, B.G., Burtet, L.M., Guedes, J.V.C., 2014. Eficiência do pano-de-batida na amostragem de insetos-praga de soja em diferentes espaçamentos entre linhas e cultivares. *Seminário Ciências Agrárias* 35, 1177–1186.
- Sujii, E.R., Tigano, M.S., Sosa-Gomes, D., 2002. Simulação do impacto do fungo *Nomuraea rileyi* em populações da lagarta da soja, *Anticarsia gemmatalis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37, 1551–1558.
- Sujii, E.R., Lövei, G.L., Sétamou, M., Silvie, P., Fernandes, M.G., Dubois, G.S.J., Almeida, R.P., 2006. Non-target and biodiversity impacts on non-target herbivorous pests. In: Hilbeck, A., Andow, D.A., Fontes, E.M.G. (Eds.), *Environmental risk assessment of genetically modified organisms. Volume 2. Methodologies for assessing Bt cotton in Brazil*. Wallingford, CBA International. Wallingford, pp. 133–154.
- Tabashnik, B.E., Brévault, T., Carrière, Y., 2013. Insect resistance to *Bt* crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* 31, 510–521.
- Viana, D.D.L., Netto, J.C., Aguirre-Gil, O.J., Busoli, A.C., 2014. Biological parameters of soybean looper in cotton cultivars with the Cry1Ac and Cry1F proteins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49, 569–572.
- Walker, D.R., All, J.N., McPherson, R.M., Boerma, H.R., Parrott, W.A., 2000. Field evaluation of soybean engineered with a synthetic cry1Ac transgene for resistance to corn earworm, soybean looper, velvetbean caterpillar (Lepidoptera:

- Noctuidae), and lesser cornstalk borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* 93, 613–622.
- Yano, S.A., Specht, A., Moscardi, F., Carvalho, R.A., Dourado, P.M., Martinelli, S., Head, G.P., Sosa-Gómez, D.R., 2015. High susceptibility and low resistance allele frequency of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) field populations to Cry1Ac in Brazil. *Pest Management Science* 72, 1578-1584.
- Zenker, M.M., Specht, A., Corseuil, E., 2007. Immature stages of *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 24, 99–107.

CAPÍTULO 3

Parasitoides associados à *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Chrysodeixis includens* (Walker), em um plantio experimental de soja não-*Bt* e *Bt*, no Distrito Federal

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, com cerca de 33.176,9 milhões hectares de área plantada, grande parte associadas com cultivares que expressam toxinas denominadas Cry, provenientes de genes do *Bacillus thuringiensis* Berliner. Estimasse que apenas 35% das áreas utilizam estratégias baseadas no modelo do Manejo Integrado de Pragas (MIP), que auxilia a racionalização do uso de agrotóxicos e promove o equilíbrio nos agroecossistemas. Este estudo teve como objetivo avaliar o parasitismo natural de lagartas desfolhadoras, capturadas pelo pano-de-batida, em cultivares de soja não-*Bt* e sua isolínea *Bt*. As amostragens (n=192) foram realizadas com o pano-de-batida, em quatro estádios fenológicos da soja distintos, durante a safra 2015/2016 na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. A área de soja não-*Bt* e *Bt* (16 ha), foi conduzida sem a utilização de inseticidas. Verificou-se o parasitismo das lagartas coletadas e realizou-se uma análise de Correspondência (CA), utilizando-se como variáveis o parasitismo, o tamanho das lagartas (pequenas (<1,5cm), médias (>1,5cm<2,5cm) e grandes (>2,5cm)) e as espécies de lepidópteros coletadas nas sojas não-*Bt* e *Bt*. Foram coletadas 280 lagartas na soja não-*Bt* das espécies *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818, *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]), *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782) e *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858). Na soja *Bt* foram coletadas 11 lagartas desfolhadoras das espécies *S. eridania* e *S. cosmioides* em baixa densidade por metro quadrado. Verificou-se 30% de parasitismo associado à *C. includens* relacionado às famílias Braconidae, Ichneumonidae e Tachinidae e 8% em *A. gemmatalis*, sendo grande parte relacionada aos braconídeos. A análise de correspondência (CA) mostrou preferência dos parasitoides por lagartas de ínstares iniciais de *C. includens* que foi a espécie mais abundante coletada na área de soja não-*Bt*. O estudo confirma que o manejo sem utilização de inseticidas beneficiou toda a cadeia trófica associada à área experimental.

Palavras-chave: Ichneumonidae, lagartas, MIP, pano-de-batida, soja, Tachinidae.

ABSTRACT

Brazil is the second largest soybean producer in the world, with about 33,176.9 million hectares of planted area, largely associated with cultivars expressing toxins called Cry from *Bacillus thuringiensis* Berliner genes. It is estimated that only 35% of the areas used are based on the Integrated Pest Management (IPM) model, which helps to rationalize the use of agrochemicals and promote equilibrium in agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the natural parasitism of caterpillars caught in the non-*Bt* soybean cultivars and their *Bt* isoline with beating cloth. Samplings (n = 192) were carried out in four different soybean phenological stages during a 2015/2016 crop in the Experimental area of the Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. The non-*Bt* and *Bt* soybean area (16ha) was conducted without the use of insecticides. Correspondence (CA) analysis was used to compare the parasitism of caterpillars collected on non-*Bt* and *Bt* soybeans in three caterpillars sizes: small <1.5cm, medium > 1.5cm <2cm, and large > 2.5cm of the lepidopteran species. I collected 280 caterpillars on non-*Bt* soybean of the following species *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818, *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]), *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782), and *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858). On *Bt* soybean only 11 caterpillars of *S. eridania* and *S. cosmioides* were collected, and in low density per square meter, o A 30% of parasitism were associated with *C. includens*, being related to Braconidae, Ichneumonidae and Tachinidae families, and 8% occurred in *A. gemmatalis* caused by braconids. The results of the correspondence analysis showed preference of parasitoids for *C. includens* caterpillars of early instars which was the highest abundant species in the area of non-*Bt* soybean. In conclusion, the management without the use of insecticides benefited an entire trophic levels associated to the evaluated experimental area.

Keywords: Beating cloth, caterpillars, Ichneumonidae, IPM, soybean, Tachinidae.

1. INTRODUÇÃO

As lagartas desfolhadoras mais importantes da cultura da soja são *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818, *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]) e algumas espécies de *Spodoptera* Guenée, 1852. Apesar dos representantes de *Spodoptera* serem considerados pragas-secundárias, alterações do manejo da cultura vêm fazendo com que a representatividade de suas populações venha aumentando a cada safra (Moscardi et al., 2012; Formentini et al., 2015).

Intimamente relacionados aos lepidópteros-praga, especialmente em condições naturais, estão os inimigos naturais como predadores e parasitoides, de grande importância para a agricultura (Waage et al., 1988). O controle biológico é seguro ambientalmente e contribui com a redução dos danos de espécies fitófagas e, conseqüentemente, diminui os danos econômicos no panorama agrícola (Parra, 2001; Van Lenteren, 2012).

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) constitui um plano de medidas voltadas para diminuir o uso de agrotóxicos em agroecossistemas, com o emprego de vários métodos de controle associados (Gallo et al., 2002). O Brasil teve inúmeros modelos associados à cultura da soja, que permearam um período de sucesso do controle biológico no país (Hoffmann-Campo et al., 2000), como, por exemplo, a utilização em larga escala na década de 90 do Baculovirus anticarsia (AgMNPV), para o manejo da lagarta-da-soja, *A. gemmatalis* (Bueno et al., 2012). Entretanto, nos últimos anos apenas 35% das áreas cultivadas tem adotado práticas de produção sustentáveis (Schünemann et al., 2014).

Há mais de 10 anos existe a preocupação e a necessidade de se reintegrar o manejo de pragas à produção do país (Panizzi, 2012) e, atualmente, torna-se emergencial pois as espécies exóticas introduzidas exigem a adoção de decisões mais

estratégicas com o objetivo de solucionar problemas agrícolas e garantir o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável (Parra, 2014; Formentini et al., 2015).

O fortalecimento de ambientes equilibrados favorece o controle biológico. Assim, há a necessidade de pesquisas que incluam a identificação taxonômica das espécies de inimigos naturais exóticos/nativos associados às espécies-praga de cultivos, o que pode promover uma maior eficiência ao controle biológico e contribuir para o desenvolvimento de estudos em todas as demais áreas biológicas (Parra, 2001).

A utilização de plantas transgênicas que expressam toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* Berliner, favorece a redução do consumo de inseticidas em amplas áreas agrícolas, porém a expansão da tecnologia deve possuir o manejo adequado por meio da adoção dos refúgios, caso contrário pode-se provocar a seleção de populações resistentes (Gassmann et al., 2008; Tabashnik et al., 2013).

Na soja *Bt* a toxina expressa Cry1Ac possui um efeito negativo sobre lepidópteros-praga alvo como *A. gemmatalis* e *C. includens* (Bernardi et al., 2012) e menor em espécies praga não alvo como os representantes de *Spodoptera* (Bernardi et al., 2014). Em função disso, é provável que a ação da toxina *Bt* afete também a associação trófica entre parasitoides e hospedeiro. Neste sentido, espera-se que abundância específica das espécies de lagartas desfolhadoras associadas à soja não-*Bt* sejam maiores do que as encontradas na soja *Bt* influenciando as interações tróficas.

Os parasitoides podem atacar as lagartas de lepidópteros em diferentes estádios de desenvolvimento, preferindo ínstaes iniciais, visando contornar todas as defesas (físicas e imunológicas) dos hospedeiros (Cruz et al., 1997; Pascua & Pascua, 2004). Desta forma, lagartas menores como o primeiro e segundo ínstaes, são mais suscetíveis

ao parasitismo, bem como apresentam alta mortalidade por diferentes fatores bióticos e abióticos.

Este estudo objetivou avaliar o parasitismo natural de lagartas desfolhadoras, capturadas pelo pano-de-batida, em cultivares de soja não-*Bt* e sua isolínea *Bt*.

2. METODOLOGIA

2.1 Área experimental

A soja foi cultivada na Área Experimental da Embrapa Cerrados, próxima a rodovia BR-020, km 18, Planaltina, DF (Lat. 15°36'4''19' Sul, Long. 47°42'38'49' Oeste, altitude de 1.208 metros), safra 2015/2016. Foram cultivadas as cultivares de soja de ciclo longo determinado BRS Sambaíba RR (não-*Bt*) e sua isolínea BRS 9180 IPRO RR (*Bt*), que expressa a proteína Cry1Ac de *B. thuringiensis*.

O delineamento, plantio e condução do cultivo da soja *Bt* e não-*Bt* já foi descrita no Capítulo 2. Ressalta-se, que não foram realizadas pulverizações de inseticidas na área experimental.

2.2 Amostragem

O pano-de-batida é o método de coleta mais empregado no monitoramento de pragas em áreas de soja (Corrêa-Ferreira, 2012). Consistiu em um plástico branco de 1m de comprimento por 1m de largura, tendo em suas bordas uma bainha onde foram inseridos dois cabos de madeira. O pano-de-batida foi estendido sobre o solo sempre entre duas fileiras de soja para evitar possível perturbação do deslocamento dos insetos no plástico

Foram realizadas oito amostragens em cada parcela totalizando 48 amostras (24 em área cultivada com soja não-*Bt* e 24 em *Bt*), durante quatro períodos distintos, entre os estádios fenológicos da soja vegetativo (V₇-V₈ e V₁₉-V₂₁) e reprodutivo (R₃-R₄ e R₅), totalizando 192 amostras.

As lagartas coletadas no pano-de batida foram medidas no Laboratório de Entomologia da Embrapa Cerrados e mantidas em condições controladas ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ UR e fotofase de 14 horas) até a emergência das mariposas ou de parasitoides, para posterior identificação. A criação foi feita em potes plásticos de polietileno de 30ml etiquetados e contendo dieta artificial modificada de Parra (2001) e descrita em Morando (2014).

2.3 Identificação dos lepidópteros e parasitoides

As lagartas foram identificadas até o menor nível taxonômico possível seguindo bibliografia especializada (Passoa, 1991; Caballero et al., 1994; Zenker et al., 2007; Angulo et al., 2008) e classificadas em pequenas ($<1,5\text{cm}$), médias ($>1,5\text{cm}<2,5\text{cm}$) e grandes ($>2,5\text{cm}$) (Specht & Corseuil, 2002a).

Após a emergência, os adultos foram identificados por comparações diretas com espécimes depositados na Coleção Entomológica da Embrapa Cerrados e em referências bibliográficas (Hoffmann-Campo et al., 2000; Sosa-Gómez and Bassoi, 2010; Duarte et al., 2012; Moscardi et al., 2012; Panizzi et al., 2012).

Os parasitoides que emergiram das lagartas foram fotografados e armazenados em álcool 70%. Inicialmente foram identificados ao nível de família pela análise das estruturas morfológicas (Guimarães & Guimarães, 1961; Goulet & Huber, 1993; Fernando Fernández, 2006) e, posteriormente, com o suporte de especialistas tentou-se chegar até o menor nível taxonômico.

2.4 Análise dos dados

A Análise de Correspondência (CA) foi executada utilizando o software R versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014). Esta análise é uma técnica multivariada para determinação de um sistema de associação entre elementos de dois ou mais conjuntos de dados, que tenta explicar a estrutura da associação dos fatores (Lucio

et al., 1999) e que permite revelar relações e interpretações entre os conjuntos, que não teriam sido pontuadas entre pares de variáveis (Czermainski, 2004) e, além disso, não é necessário a utilização de nenhum modelo teórico de distribuição de probabilidade.

Neste estudo utilizou-se como variáveis para o CA, o parasitismo (sim e não), o tamanho das lagartas (pequenas (<1,5cm), médias (>1,5cm<2,5cm) e grandes (>2,5cm)) e as espécies de lepidópteros coletadas nas sojas não-*Bt* e *Bt*.

3. RESULTADOS

Durante o experimento foram coletadas 291 lagartas, sendo 280 amostradas na área de cultivo de soja não-*Bt*, pertencentes às espécies *C. includens* (n=178), *A. gemmatalis* (n=90), *Spodoptera eridania* (Stoll, 1782) (n=11) e *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858) (n=1). Na área *Bt* foram amostradas apenas 11 lagartas de duas espécies *S. eridania* (n=10) e *S. cosmioides* (n=1).

Houve baixa densidade por metro quadrado de lagartas desfolhadoras nos estádios fenológicos vegetativos (V₇-V₈ e V₁₉-V₂₁ - 17,52%) em relação aos reprodutivos (R₃-R₄ e R₅ - 82,48%). Referente ao tamanho das lagartas foram coletadas na soja não-*Bt*, 84 lagartas pequenas, 117 médias e 79 grandes. Já na soja *Bt* foram oito lagartas pequenas, duas médias e uma grande.

O percentual total do tamanho das lagartas de ambas as cultivares foi de 31,61% de lagartas pequenas, 40,89% médias e 27,49% grandes de todas as espécies. Houve emergência de parasitoides apenas de lagartas oriundas das áreas de cultivo de soja não-*Bt*.

Os parasitoides emergiram apenas das lagartas de *A. gemmatalis* e *C. includens* provenientes do pano de batida na cultivar de soja não-*Bt*.

Em 30,33% das lagartas criadas de *C. includens* houve emergência de parasitoides enquanto o parasitismo de *A. gemmatalis* foi de 8%.

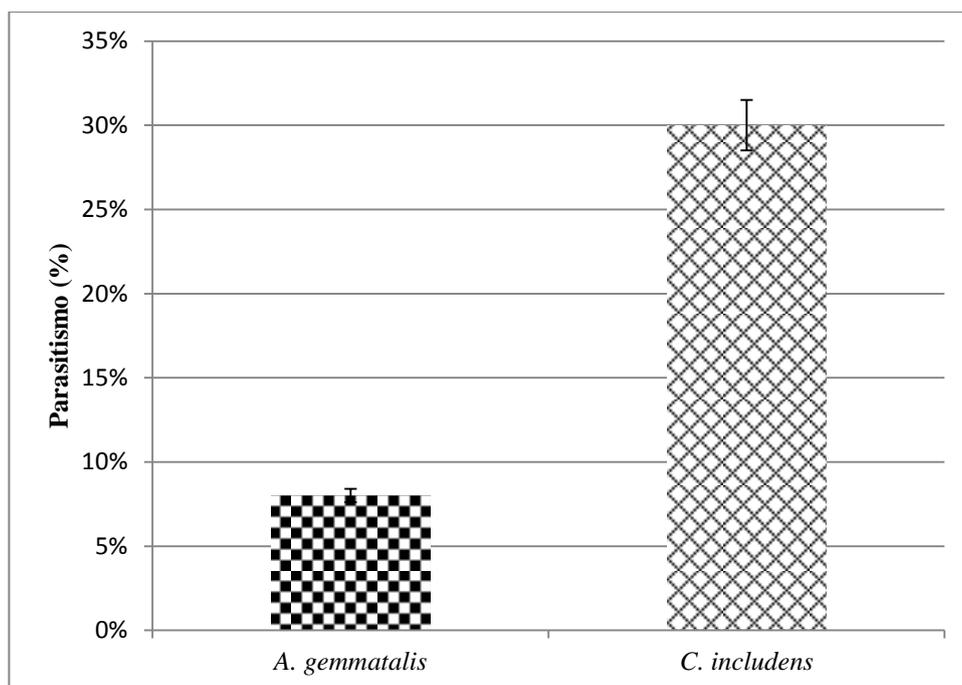


Figura 1. Percentuais de parasitismo de lagartas de *Anticarsia gemmatalis* e *Chrysodeixis includens* em áreas de cultivo de soja não-*Bt* na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.

Os parasitoides emergidos da espécie *C. includens*, pertenceram à duas famílias de Hymenoptera e uma de Diptera (Figura 2).

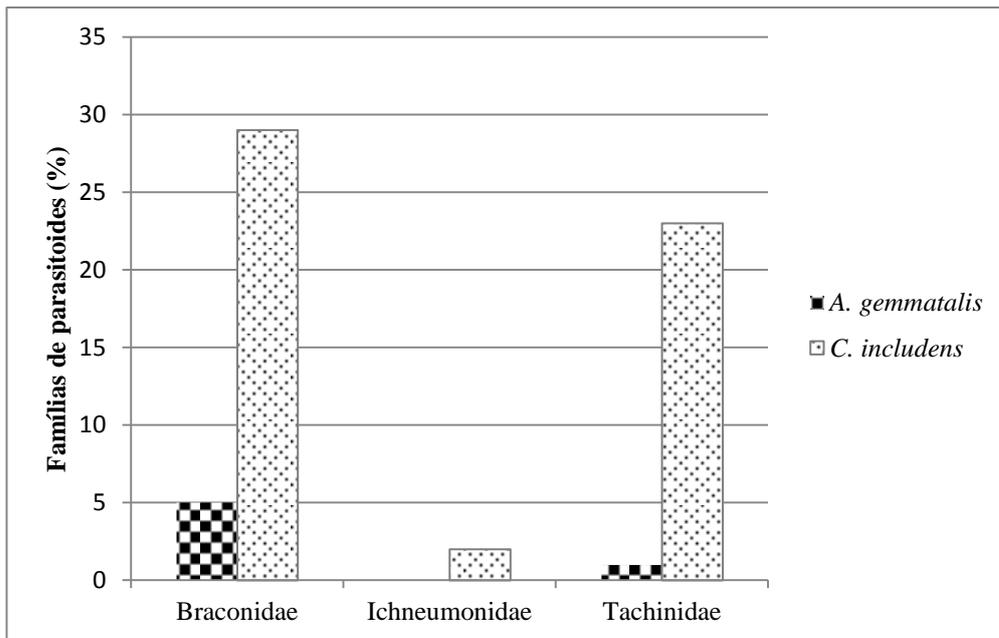


Figura 2. Percentuais de parasitismo causadas por representantes das ordens Hymenoptera (Braconidae, Ichneumonidae) e Diptera (Tachinidae) nas lagartas de *Anticarsia gemmatalis* e *Chrysodeixis includens* em áreas de cultivo de soja não-Bt na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.

Foram identificadas 10 espécies inseridas em seis sub-famílias, totalizando 61 exemplares de parasitoides emergidos de *A. gemmatalis* e *C. includens* (Tabela 1).

Até o momento não foi possível identificar todos os representantes de Tachinidae. Assim, a espécie de Diptera mais abundante foi reconhecida como *Patelloa* sp. e os demais exemplares foram designados como morfoespécies (sp1, sp2, sp3 e sp4), com apenas uma delas (sp3) associada à ambas as espécies *A. gemmatalis* e *C. includens*, as demais foram associadas à *C. includens*, totalizando nove indivíduos (Tabela 1).

Tabela 1. Parasitoides emergidos de *Anticarsia gemmatalis* e *Chrysodeixis includens* coletadas com o pano-de-batida em cultivar de soja não-Bt, entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil.

Táxon	<i>Anticarsia gemmatalis</i>	<i>Chrysodeixis includens</i>
	Ichneumonoidea: Braconidae	
Orgilinae		
<i>Orgilus</i> sp.	0	1
Meteorinae		
<i>Meteorus</i> sp.	0	20
Microgastrinae		
<i>Protapanteles</i> sp.	4	8
Macrocentrinae		
<i>Dolichozele</i> sp.	2	0
Ichneumonoidea: Ichneumonidae		
Campopleginae		
<i>Campoletis</i> sp.	0	2
Oestroidea		
Tachinidae		
Morfoespécie Sp1	0	3
Morfoespécie Sp2	0	1
Morfoespécie Sp3	1	4
Morfoespécie Sp4	0	5
<i>Patelloa</i> sp.	0	10
Total	7	54

As lagartas de tamanho médio de *C. includens* encontradas em soja não-*Bt*, foram as que tiveram maior parasitismo em relação às demais. A Análise de Correspondência explicou 22,36% da variabilidade total (Fig. 3). Não houve emergência de parasitoides das lagartas grandes (últimos instares) de *A. gemmatalis*. O número reduzido de lagartas dificultou as análises, porém os resultados mostraram que as lagartas de tamanho médio foram as mais parasitadas dentre todos os tamanhos. Em contrapartida, não houve emergência de parasitoides nas amostras de soja *Bt*, cuja fauna era representada, em parte, por lagartas pequenas de *S. eridania* e uma lagarta grande de *S. cosmioides* (Fig. 3).

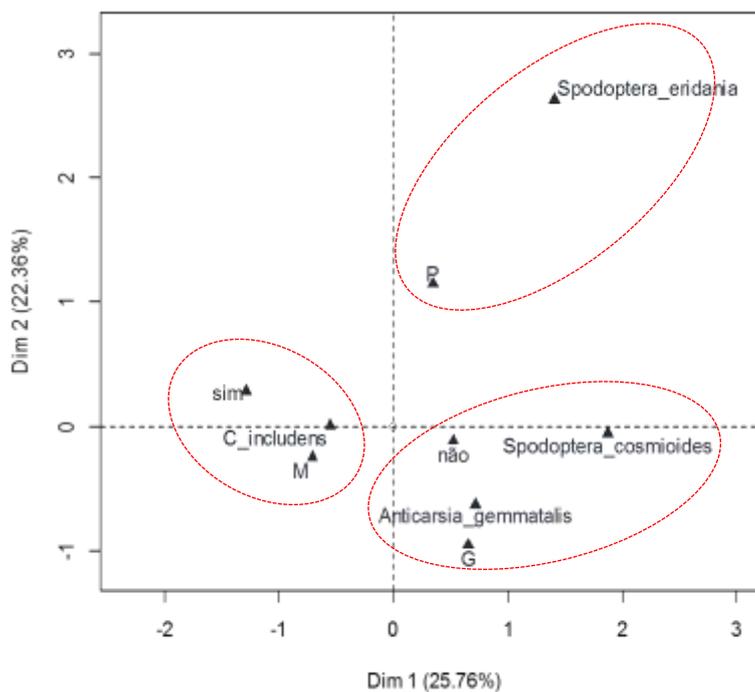


Figura 3. Análise de correspondência da relação entre o tamanho das lagartas coletadas na soja não-*Bt* e *Bt* e o parasitismo em *Anticarsia gemmatalis*, *Chrysodeixis includens*, *Spodoptera cosmioides* e *Spodoptera eridania* (soja não-*Bt*), entre dezembro de 2015 e março de 2016, na área Experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. Parasitismo (Dim1 e Dim2). Legenda do tamanho das lagartas: (P) pequena, (M) média e (G) grande, parasitada = sim, não parasitada = não.

4. DISCUSSÃO

Chrysodeixis includens e *A.gemmatalis* foram mais abundantes na cultivar não-*Bt*, ambas espécies são popularmente reconhecidas como as principais desfolhadoras da soja na atualidade e pragas alvo da tecnologia *Bt* (Bernardi et al., 2012; Moscardi et al., 2012). Os poucos indivíduos associados à soja *Bt* foram *S. eridania* e *S. comioides* que são espécies reconhecidas como pouco suscetíveis à toxina Cry1Ac (Bernardi et al., 2014).

A baixa incidência de lagartas, no estágio vegetativo e alta no estágio reprodutivo da soja observado neste estudo, já foi reportado em outra área de cultivo de soja no Cerrado (Didonet et al., 2003). Porém, o presente estudo foi feito no período de grande influência do fenômeno El Niño, desta forma o resultado pode estar relacionado ao efeito do clima atípico reportado para esta safra (Center Noaa, 2016; Conab, 2016).

A maior porcentagem de parasitismo foi associada à *C. includens* na soja não-*Bt*, que foi também a espécie mais abundante, sendo indiscutível que a proporção de parasitoides pode ser resultado da maior abundância do hospedeiro (Stireman & Singer, 2003a).

A riqueza e abundância de espécies de parasitoides de Braconidae no presente estudo foram superiores aos da família Ichneumonidae. Parasitoides destas famílias são comumente relatados no Bioma Cerrado do Distrito Federal, como também em outras regiões, em uma ampla cultivar de culturas (Parra, 2001; Rodvalho et al., 2007).

A identificação dos parasitoides em nível genérico e de morfoespécies deixou de permitir a comparação da gama de hospedeiros reconhecidos para determinadas espécies. Entretanto, as espécies de parasitoides mais abundantes neste estudo, *Meteorus* sp. e *Patelloa* sp., foram verificados associados apenas à *C. includens*, que

também foi o lepidóptero mais abundante. Isso pode levar à duas hipóteses, uma delas que estes parasitoides são oportunistas e atacam simplesmente as lagartas das espécies mais disponíveis e a outra de que elas possuem preferência por este lepidóptero. Ambos os gêneros de parasitoides possuem espécies consideradas generalistas (Avalos et al., 2004; Luna & Sánchez, 1999; Maruyama et al., 2001), mas, também há registros de associação um pouco mais restrita como com a subfamília Plusiinae em agroecossistemas de soja (Grant & Shepard, 1984).

Protapanteles sp. (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) foi associada às duas principais espécies registradas na soja, *A. gemmatalis* e *C. includens*. As espécies deste gênero são comuns e já documentadas associadas às lagartas de macrolepidópteros das famílias Bombycidae, Sphingidae, Papilionidae, Nymphalidae, Arctiidae e Noctuidae (Gupta, 2012), o que traduz o comportamento generalista do gênero

Com relação ao parasitoide do gênero *Campoletis* (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) registrado para *C. includens* (Tabela 1) deve-se considerar também que espécies deste gênero tem reconhecida incidência em lepidópteros-pragas em diferentes agroecossistemas (Loibel et al., 2010). No presente trabalho foi detectada (Anexo A) a associação de um dos representantes deste gênero com *Helicoverpa armigera* Hübner, 1809 no sistema de cultivo de algodão no Oeste da Bahia.

Os cinco táxons pertencentes aos 24 exemplares de Tachinidae (Tabela 1), ilustram a diversidade desta família com muitas espécies atuando no controle natural (Feener Jr & Brown, 1997). A riqueza para a região Neotropical é estimada em 2.864 espécies, porém reconhecidamente existem vários problemas taxonômicos, principalmente, a deficiência de material bibliográfico de espécimes depositados em coleções de referência (Guimarães & Papavero, 1971; Toma, 2013).

Representantes do gênero *Dolichozele* sp. (Hymenoptera: Braconidae: Macrocentrinae) foi associado apenas à *A. gemmatalis*. Considerando-se que uma espécie deste gênero foi registrada como parasitoide de *S. frugiperda* (Silva et al., 2014), pode-se presumir que este grupo possa agir no controle biológico de lagartas de diversas espécies.

Embora não tenham sido coletadas lagartas parasitadas durante este estudo na cultivar *Bt*, é reconhecida a presença de parasitoides associados às espécies *S. eridania* e *S. cosmioides* (Capinera, 1999; Lingren & Noble, 1972; Pomari et al., 2012; Torres, 1992).

A alta proporção de parasitismo encontrada neste estudo (>30%) indicou o efeito da densidade ou abundância dos hospedeiros na incidência dos parasitoides, associado ao manejo da área de cultivo, que neste caso não houve emprego de inseticidas.

Os resultados deste trabalho corroboram que o período reprodutivo da soja é quando ocorre maior número de hospedeiros (lagartas) disponíveis promovendo o maior parasitismo (Sheehan, 1994).

A incidência de parasitoides reportada neste estudo certamente está associada à não utilização de inseticidas, o que permitiu o controle biológico natural. Neste sentido, outras medidas relacionadas a racionalização na utilização de inseticidas, incluindo estratégias como o uso de moléculas inseticidas seletivas e o controle com produtos de diferentes modos de ação, podem auxiliar na manutenção do equilíbrio dos agroecossistemas de soja, conseqüentemente favorecendo o controle biológico inimigos naturais (Panizzi et al., 1977; Corso et al., 1999; Foerster and Avanci, 1999; Maruyama, 2009).

As lagartas de tamanho médio (< 2,5cm) foram aquelas com maior incidência de parasitismo na soja não-*Bt* (>40%), reforçando a hipótese de que as lagartas são

mais atacadas nos primeiros instares. Estas lagartas médias estiveram disponíveis para os parasitoides desde a eclosão dos ovos e ainda tiveram um tempo de desenvolvimento larval, no campo e no laboratório, suficiente para que os parasitoides pudessem também emergir. Neste sentido a literatura cita a relação entre o tamanho do hospedeiro e a ocorrência de parasitoides, o que afeta a eficiência e especificidade do parasitismo (Stireman & Singer, 2003b, Gentry & Dyer, 2002). No caso deste estudo, apesar do maior parasitismo ocorrer em lagartas de tamanho médio, há indicações de maior ataque nos instares iniciais.

Para os noctuóides (*H. armigera* e *S. frugiperda*) já se reconhece a preferência de algumas espécies de parasitoides pertencentes a família Ichneumonidae, por lagartas de primeiro e segundo instar. Já foi registrado inclusive o comportamento agressivo das lagartas de últimos instares em relação aos parasitoides, exibindo mecanismos de defesa (Cruz et al., 1997; Pascua & Pascua, 2004). Neste sentido, a permanência de lagartas durante todo o ciclo de desenvolvimento, na área com parasitoides, aumenta a probabilidade desta ser parasitada. Porém, o comportamento agressivo das mesmas impede a aproximação dos parasitoides. Assim como, adaptações do sistema imunológico de lagartas mais desenvolvidas como o “encapsulamento” desfavorecem o parasitismo (Ueara, 1981; Blumberg & Ferkovich, 1994). No entanto, para representantes de Tachinidae o tamanho das lagartas não limita o parasitismo e mesmo sem a bioecologia totalmente reconhecida, o generalismo é recorrente para as diferentes espécies (Feener & Brown, 1997).

O fato da coleta de lagartas na soja *Bt* ter sido incipiente (Tabela 1) limitou inferir questões referentes ao parasitismo. Até o momento, não há relatos de prejuízo direto às espécies de parasitoides utilizados em controle biológico associados às culturas comerciais de plantas transgênicas, que expressam toxinas (*Bt*), pois estas têm como

alvos apenas a redução de populações de lepidópteros de importância econômica, no entanto, considera-se a redução da oferta de hospedeiros.

5. CONCLUSÕES

- ↻ *Chrysodeixis includens* foi a espécie mais abundante em área de soja não-Bt, na avaliação do pano-de-batida;
- ↻ Verificou-se um parasitismo superior a 35% em *Chrysodeixis includens* e *Anticarsia gemmatalis*;
- ↻ Aponta-se uma preferência do parasitismo nos primeiros instares das lagartas de *Chrysodeixis includens*;
- ↻ O manejo da área sem utilização de inseticidas beneficiou toda a cadeia trófica associada à área experimental avaliada.

6. REFERÊNCIAS

- Angulo, A.O., Olivares, T.S., Weigert, G.T., 2008. Estados inmaduros de lepidópteros noctuidos de importancia agrícola y forestal en Chile y claves para su identificación (Lepidoptera: Noctuidae), 3rd Ed. Universidad de Concepción, Concepción.
- Avalos, S., Mazzuferi, V., La Porta, N., Serra, G., Berta, C., 2004. El complejo parasítico (Hymenoptera y Diptera) de larvas de *Anticarsia gemmatalis* Hüb. y *Rachiplusia nu* Guen.(Lepidoptera: Noctuidae) en alfalfa y soja. Agriscientia 2,67 –75
- Bernardi, O., Malvestiti, G.S., Dourado, P.M., Oliveira, W.S., Martinelli, S., Berger, G.U., Head, G.P., Omoto, C., 2012. 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* 68, 1083–1091.
- Bernardi, O., Sorgatto, R.J., Barbosa, A.D., Domingues, F.A., Dourado, P.M., Carvalho, R.A., Martinelli, S., Head, G.P., Omoto, C., 2014. Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. *Crop Protection* 58, 33–40.
- Bueno, F.A., Sosa-Gómez, D. R., Corrêa-Ferreira, B. S., Moscardi, F., Bueno, R. C. O., 2012. Inimigos naturais das pragas da soja. Inimigos naturais das pragas de soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F., (Eds.), *Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Embrapa, Brasília, pp. 493–629.
- Blumberg, D., Ferkovich, S.M., 1994. Development and encapsulation of the endoparasitoid, *Microplitis croceipes* (Hym.:Braconidae), in six candidate host species (Lep.). *Entomophaga* 39, 293–302.
- Caballero, R., Habeck, D.H., Andrews, K.L., 1994. Chave Ilustrada para larvas de Noctuidos de importancia economica de El Salvador, Honduras y Nicaragua. *Ceiba* 35, 225–237.
- Capinera, J.L., 1999. Southern armyworm, *Spodoptera eridania* (Cramer)(Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.
- Center Noaa, 2016. Climate Prediction Center. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Historical El Niño and La Niña Episodes Based on the ONI computed using ERSST Natl. Ocean. Atmos. Adm. Available at:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf. (accessed 22 Set 16).

Conab Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Abastecimento da safra brasileira de grãos. V. 3, Safra 2015/2016, N. 9 - nono levantamento. Available at: <https://www.conab.gov.br/> (accessed 8 Nov 16).

Corrêa-Ferreira, B.S., 2012. Amostragem de pragas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F., (Eds.), Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Embrapa, Brasília, pp. 631–672.

Corso, I.C., Gazzoni, D.L., Nery, M.E., 1999. Efeito de doses e de refúgio sobre a seletividade de inseticidas a predadores e parasitóides de pragas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34, 1529–1538.

Cruz, I., Figueiredo, M.L., Gonçalves, E.P., Lima, D.A., Diniz, E.E., 1997. Efeito da idade de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) no desempenho do parasitóide *Campoletis flavicincta* (Ashmead)(Hymenoptera: Ichneumonidae) e consumo foliar por lagartas parasitadas e não parasitadas. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*. 26, 229–234.

Czermainski, A.B., 2004. Análise de correspondência. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Didonet, J., Sarmiento, R. de A., Aguiar, R.W.D.S., Santos, G., Erasmo, E.A.L., 2003. Abundância de pragas e inimigos naturais em soja na região de Gurupi, Brasil. *Manejo Integr Plagas Agroecol* 69, 50–57.

Duarte, M., Marconato, G., Specht, A., Casagrande, M.M., 2012. In: Rafael, J.A., Melo, G.A.R, Carvalho, C.J.B., Casari, S.A., Constantino, R., (Eds.), *Lepidoptera. Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Holos, Ribeirão Preto, pp. 625–684.

- Feener Jr, D.H., Brown, B.V., 1997. Diptera as parasitoids. Annual. Review.of Entomology. 42, 73–97.
- Fernando Fernández., 2006. Sistemática de los himenópteros de la Región Neotropical: Estado del conocimiento y perspectivas. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoz., pp. 211-231
- Foerster, L.A., Avanci, M.R., 1999. Egg parasitoids of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in soybeans. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil 28,545–548.
- Formentini, A.C., Sosa-Gómez, D.R., Paula-Moraes, S.V. de, Barros, N.M. de, Specht, A., 2015. Lepidoptera (Insecta) associated with soybean in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay. Ciência Rural 45, 2113–2120.
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R.P.L., Batista, G.C., Berti Filho, E., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B., Vendramin, J.D., Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., Omoto, C., 2002. Entomologia Agrícola. FEALQ, São Paulo, pp. 920.
- Gassmann, A.J., Carrière, Y., Tabashnik, B.E., 2008. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annual Review of Entomology 54,147-163.
- Gentry, G.L., Dyer, L.A., 2002. On the conditional nature of neotropical caterpillar defenses against their natural enemies. Ecology 83, 3108–3119.
- Goulet, H., Huber, J.T., 1993. Hymenoptera of the world: an identification guide to families. Research Branch, Agriculture Canada, pp.668
- Grant, J.F., Shepard, M., 1984. Laboratory biology of *Meteorus autographae* (Hymenoptera: Braconidae), an indigenous parasitoid of soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. Environment Entomology 13, 838–842.
- Guimarães, J.H., Guimarães, J.H., 1961. Segunda contribuição ao conhecimento do gênero *Archytas* Jaennecke, 1867: (Diptera, Tachinidae). Mem. Inst. Oswaldo

- Cruz 59,163–179. Guimarães JH, Papavero N (1971) “A catalogue of the Diptera of the Americas South of the United States”. In Guimarães, J.H., (eds) A catalogue of the Diptera of the America South of the United States. Museu de Zoologia Universidade de São Paulo, 104, 1–333
- Gupta, A., 2012. Three new species of reared parasitic wasps (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) from India. *Zootaxa* 3701, 365–380.
- Hoffmann-Campo, C.B., Moscardi, F., Corrêa-Ferreira, B.S., Oliveira, L.J., Sosa-Gómez, D.R., Panizzi, A.R., Corso, I.C., Gazzoni, D.L., Oliveira, E. de., 2000. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. Embrapa Soja, Londrina.
- Lingren, P.D., Noble, L.W., 1972. Preference of *Campoletis perdistinctus* for certain noctuid larvae. *Journal of Economic Entomology* 65,104–107.
- Loibel S.D., Onody, H.C., Penteado-Dias, A.M., 2010. Fauna de Campopleginae (Hymenoptera, Ichneumonidae) em hortas orgânicas em Araraquara e São Carlos, SP, Brasil. *Biota Neotropical* 10,1–5.
- Lucio, P.S., de Toscano, E.M.M., de Abreu, M.L., 1999. Caracterização de séries climatológicas pontuais via análise canônica de correspondência, estudo de caso: Belo Horizonte -MG (Brasil). *Brazilian Journal of Geophys.* 17, 193–207.
- Luna, M.G., Sánchez, N.E., 1999. Parasitoid assemblages of soybean defoliator Lepidoptera in north-western Buenos Aires province, Argentina. *Agricultural and Forest Entomology* 1,255–260.
- Maruyama, W.I., Gravena, S., Pinto, A. de S., 2001. Parasitóides e *Nomuraea rileyi* (FARLOW) Samson em lagartas desfolhadoras (Lepidoptera) na Cultura da Soja. *Boletim de Sanidad Vegetal Plagas* 27, 561–567.

- Maruyama, W.I., 2009. Inseticidas no controle de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) e impacto sobre aranhas predadoras em soja. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4, 128–132.
- Morando, R., 2014. Resistência de genótipos de feijoeiro a *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). Dissertação de mestrado Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Moscardi, F., Bueno, A.F., Sosa-Gómez, D.R., Roggia, S., Hoffmann-Campo, C.B., Pomari, A.F., Corso, I.C., Yano, S.A.C., 2012. Artrópodes que atacam as folhas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.), *Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Embrapa, Brasília, pp. 211–334.
- Panizzi, A.R., Bueno, A.F., Silva, F.A.C., 2012. Insetos que atacam vagens e grãos. In: Hoffmann-Campo, C.B., Corrêa-Ferreira, B.S., Moscardi, F. (Eds.), *Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Embrapa, Brasília, pp. 335–420.
- Panizzi, A.R., Bueno, A.F., Silva, F.A.C., 2012. Insetos que atacam vagens e grãos. *Soja Manejo Integrado Insetos E Outros Artrópodes* Embrapa, Brasília, pp.335–420
- Parra, J.R.P., 2001. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. ESALQ/FEALQ.
- Parra, J.R.P., 2014. Biological control in Brazil: an overview. *Sci Agric* 71, 420–429.
- Pascua, L.T., Pascua, M.E., 2004. The preference, acceptability and suitability of ichneumonid wasp, *Eriborus argenteopilosus* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) on the different larval stages of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). *Philippine Journal Science* 2,103–108.

- Passoa, S., 1991. Color identification of economically important *Spodoptera* larvae in Honduras (Lepidoptera: Noctuidae). *Insecta Mundi*, 5,185–195
- Pomari, A.F., Bueno, A.D.F., Bueno, R.C.O.D.F., Menezes, A.D.O., 2012. Biological characteristics and thermal requirements of the biological control agent *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) reared on eggs of different species of the genus *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America* 105,73–81.
- R Core team, 2014. R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>. (accessed 25 Nov 15).
- Rodvalho, S.R., Laumann, R.A., Diniz, I.R., 2007. Ecological aspects of lepidopteran caterpillar parasitoids from *Caryocar brasiliense* Camb.(Caryocaraceae) in a cerrado sensu stricto of Central Brazil. *Biota Neotropical* 7,239–243.
- Schünemann, R., Knaak, N., Cassal, M.C., Fiuza, L.M., 2014. Pest Management of Soybean: Sustainable Production Techniques, in: *Basic and Applied Aspects of Biopesticides*. Springer, pp. 357–373.
- Sheehan, W., 1994. Parasitoid community structure: effects of host abundance, phylogeny, and ecology. *Parasit. Community Ecol. Oxf. Univ. Press Oxf.* pp.90–107.
- Silva, R.B., Cruz, I., Pentead-Dias, A.M., 2014. First report of *Dolichozele koebele* Viereck, 1911 (Hymenoptera: Braconidae) on larvae of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae) in maize (*Zea mays* L.) under different cropping systems. *Brazilian Journal of Biology* 74,218–222.
- Sosa-Gómez, D.R., Bassoi, M.C., 2010. Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja. Embrapa Soja, Londrina

- Specht, A., Corseuil, E., 2002. Avaliação populacional de lagartas e inimigos naturais em azevém, com rede de varredura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37,1–6.
- Stireman, J.O., Singer, M.S., 2003a. What determines host range in parasitoids? An analysis of a tachinid parasitoid community. *Oecologia* 135,629–638.
- Stireman, J.O., Singer, M.S., 2003b. Determinants of parasitoid–host associations: insights from a natural tachinid–lepidopteran community. *Ecology* 84,296–310.
- Tabashnik, B.E., Brévault, T., Carrière, Y., 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology* 31, 510–521.
- Toma, R., 2013. Tachinidae: una discusión sobre el problema de la identificación de los taxones de la Región Neotropical. *Entomotropica* 27,145–152.
- Torres, J.A., 1992. Lepidoptera outbreaks in response to successional changes after the passage of Hurricane Hugo in Puerto Rico. *Journal Tropical Ecology* 8,285–298.
- Uehara, M.T., 1981. Estratégias de parasitismo da vespa parasitóide *Cotesia flavipes*, Cameron, (Hymenoptera: Braconidae). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 126
- Van Lenteren, J.C., 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl* 57,1–20.
- Waage, J.K., Greathead, D.J., Brown, R., Paterson, R.R.M., Haskell, P.T., Cook, R.J., Krishnaiah, K., 1988. Biological control: challenges and opportunities [and discussion]. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol Sci* 318,111–128.
- Zenker, M.M., Specht, A., Corseuil, E., 2007. Immature stages of *Spodoptera cosmioides* (Walker)(Lepidoptera, Noctuidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 24,99–107.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o apresentado nesta dissertação, é amplamente difundido, que o reconhecimento e monitoramento dos lepidópteros-praga associados aos cultivos de soja não-*Bt* e *Bt* otimizam a gestão das áreas agrícolas contribuindo para estratégias no MIP e no manejo de resistência . A avaliação de insetos-praga em áreas agrícolas, a partir de diferentes métodos tem como consequência a racionalização na utilização de inseticidas, promovendo o controle biológico natural e o equilíbrio dos agroecossistemas.

Como perspectiva deste trabalho aponta-se a necessidade de reconhecer os lepidópteros denominados como pragas-secundárias, além de estudos visando a ampliação do conhecimento a respeito de sua suscetibilidade a toxinas Cry e inseticidas. Outro ponto a elencar é a importância de trabalhos relacionados a identificação específica de parasitoides e a quantificação da sua contribuição no controle biológico natural dos noctuóides.

APÊNDICES

APÊNDICE (A)



Kit comercial “Quickstix” utilizado para avaliação da expressão da toxina Cry1Ac em folhas e sementes de soja. (a) Embalagem do Kit comercial “Quickstix”, (b) Material que compõe o kit, (c) Coleta em campo do material para avaliação, (d) Amostra de folha coletada com microtubo plástico tipo “Eppendorf”, (e) Amostras preparadas em laboratório (f) Avaliação através da tira identificadora de expressão *Bt* da toxina Cry1Ac, (g) Identificação pela tira marcadora da toxina Cry1Ac (2 linhas), sem expressão (1 linha).

APÊNDICE (B)



Espécies de lepidópteros pertencentes a superfamília Noctuoidea, associadas às sojas não-Bt e Bt. (a) *Spodoptera albula*, (b) *Helicoverpa armigera*, (c) *Mocis latipes*, (d) *Agrotis ipsilon*, (e) *Elaphria agrotina*, (f) *Spodoptera eridania*, (g) *Spodoptera cosmioides*, (h) *Anticarsia gemmatalis*, (i) *Elaphria deltoides*, (j) *Chrysodeixis includens*, (l) *Spodoptera frugiperda*, (m) *Utetheisa ornatrix*. *A espécie *R. nu* não foi fotografada, mas está registrada neste estudo.

APÊNDICE (C)



Amostragens absolutas de noctuóides realizadas no cultivo dassojas não-*Bt* e *Bt* na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. **(a)** Equipe que iniciou as coletas em Dezembro de 2015; **(b)** Coleta absoluta de um “plot” (1m²) no início do estágio fenológico vegetativo; **(c-d)** Coleta absoluta realizada em diferentes parcelas; **(e)** Lagarta de *Spodoptera eridania* em soja *Bt*; **(f)** Lagarta de *Anticarsia gemmatalis* em soja não-*Bt*; **(g)** Lagarta de *Spodoptera cosmioides* em soja *Bt*; **(h)** Lagarta de *Chrysodeixis includens* em soja *Bt*.

APÊNDICE (D)

Tabela 5. Tabela com todos os grupos taxonômicos reconhecidos junto a metodologia de coleta descrita no Capítulo 2, na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Ordem família	Espécie	Cultivar BRS Sambaíba RR		Cultivar 9180 IPRO RR		Total
		Vegetativo	Reprodutivo	Vegetativo	Reprodutivo	
<u>Lepidoptera</u>						
Hesperiidae						
Pyrginae	<i>Urbanos cf. proteus</i>	1	4	0	0	5
<u>Noctuoidea</u>						
Erebidae						
Eulepidotinae	<i>Anticarsia gemmatalis</i>	1	190	1	17	209
Erebinae	<i>Mocis latipes</i>	0	8	0	0	8
Noctuidae						
Arctiinae	<i>Utetheisa ornatrix</i>	5	7	1	3	16
Heliiothinae	<i>Helicoverpa armigera</i>	1	5	1	0	7
Noctuinae						
	<i>Agrotis ipsilon</i>	0	2	0	0	2
	<i>Elaphria agrotina</i>	0	6	0	2	8
	<i>Elaphria deltoides</i>	0	1	0	0	1
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	1	3	1	1	6
	<i>Spodoptera cosmioides</i>	2	3	2	1	8
	<i>Spodoptera eridania</i>	0	27	0	11	38
	<i>Spodoptera albula</i>	0	8	0	0	8
Plusiinae						
	<i>Chrysodeixis includens</i>	8	777	1	5	838
	<i>Rachiplusia nu</i>	0	1	0	0	1
Pyrilidae						
	<i>Elasmopalpus lignosellus</i>	1	4	1	0	6
<u>Hemiptera</u>						
Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	490	446	183	157	1276

Cicadellidae	<i>Cicadellidae</i> sp.1	2	2	0	1	5
	<i>Cicadellidae</i> sp.2	2	2	1	0	5
	<i>Cicadellidae</i> sp.3	0	1	0	0	1
Coreidae	<i>Coreidae</i> sp.	0	8	0	5	13
	<i>Niesthrea</i> sp.	0	21	3	2	26
Dictyopharidae	<i>Dictyopharidae</i> sp.	0	2	0	0	2
<u>Pentatomoidea</u>						
Pentatomidae	<i>Edessa maditabunda</i>	0	16	3	10	29
	<i>Nezaria viridula</i>	0	11	0	1	12
	<i>Neomegalotomus parvus</i>	0	12	0	5	17
	<i>Euchistus heros</i>	1	245	16	239	501
	<i>Dichelops</i> spp.	0	22	2	14	38
	<i>Piezodorus guildinii</i>	0	98	2	83	183
	<i>Chinavia</i> spp.	0	36	3	15	54
	<i>Podisus maculiventris</i>	0	10	0	9	19
	<i>Podisus discintus</i>	0	2	0	1	3
Pseudococcidae	Pseudococcidae	23	65	13	7	108
Reduviidae	<i>Reduviidae</i> sp.1	0	2	5	1	8
	<i>Reduviidae</i> sp.2	0	1	0	0	1
	<i>Reduviidae</i> sp.3	0	1	0	0	1
<u>Hymenoptera</u>						
Apidae	<i>Apis mellifera</i>	0	2	0	1	3
Apinae						
Meliponini	<i>Trigona spinipes</i>	0	1	0	1	2
	<i>Paratrigona lineata</i>	0	1	0	0	1
Exomalopsini	<i>Exomalopsis cf. analis</i>	0	0	0	1	1
<u>Polistinae</u>	<i>Brachygastra lecheguana</i>	0	0	0	1	1
Vespidae	<i>Vespidae</i> sp.	0	1	1	0	2
Formicidae	<i>Formicidae</i> sp.1	0	4	0	0	4

	<i>Formicidae</i> sp.2	1	1	0	1	3
	<i>Formicidae</i> sp.3	0	1	0	0	1
Myrmicinae	<i>Atta</i> spp.	1	1	1	1	4
Ichneumonidae	<i>Ichneumonidae</i> sp.	1	0	0	0	1
Braconidae	<i>Braconidae</i> sp.	0	0	1	0	1
<u>Orthoptera</u>	<i>Acrididae</i> sp.1	0	0	1	0	1
Acrididae						
	<i>Acrididae</i> sp.2	1	2	1	0	4
	<i>Orphulella</i> sp.	0	0	0	1	1
Tettigoniidae	<i>Tettigoniidae</i> sp.	0	3	0	0	3
<u>Phasmatodea</u>						
Phasmatidae	<i>Phasmatidae</i> sp.	1	0	0	0	1
<u>Coleoptera</u>						
Chrysomelidae	<i>Diabrotica speciosa</i>	3	8	2	4	17
	<i>Cerotoma tingomariana</i>	3	2	1	5	11
	<i>Maecolaspis calcarifera</i>	1	1	0	0	2
	<i>Chrysomelidae</i> sp.1	0	4	0	0	4
	<i>Chrysomelidae</i> sp.2	10	2	8	1	21
	<i>Chrysomelidae</i> sp.3	3	6	4	0	13
Melyridae	<i>Astylus variegatus</i>	0	2	0	26	28
	<i>Astylus</i> sp.	0	9	0	4	13
Coccinellidae	<i>Eriopis</i> sp.	0	3	0	0	3
	<i>Cycloneda sanguinea</i>	1	8	0	4	13
	<i>Coccinellidae</i> sp.	0	1	0	0	1
Tenebrionidae						
	<i>Tenebrionidae</i> sp.1	2	5	1	3	11
	<i>Tenebrionidae</i> sp.2	1	0	0	0	1
	<i>Tenebrionidae</i> sp.3	1	0	0	0	1
	<i>Tenebrionidae</i> sp.4	16	9	4	5	34
Lagriinae	<i>Lagria villosa</i>	9	92	33	53	186

Cettonidae	<i>Gymnetis flavomarginata</i>	0	1	0	0	1
Staphylinidae						
Staphylininae	<i>Belonuchus</i> sp.	0	1	0	0	1
	<i>Plochionocerus</i> sp.	0	1	0	0	1
Paederinae	<i>Paederus</i> sp.	0	2	0	0	2
Curculionidae	<i>Aracanthus</i> sp.	0	2	2	0	4
	<i>Sternechus subsignatus</i>	0	0	1	0	1
Carabidae	<i>Calosoma granulatum</i>	0	2	0	2	4
	<i>Lebia conccina</i>	0	0	3	5	8
	<i>Lebia</i> sp.	0	0	0	2	2
	<i>Notiobia chalcites</i>	1	0	1	0	2
Scarabaeidae	<i>Scarabaeidae</i> sp.1	2	0	0	0	2
	<i>Scarabaeidae</i> sp.2	3	1	1	2	7
	<i>Scarabaeidae</i> sp.3	0	1	0	0	1
	<i>Ataenius spretulus</i>	2	0	0	0	2
Melolonthidae	<i>Macroductylus</i> sp.	0	0	1	0	1
Rutelinae	<i>Leucothyreus</i> sp.	2	3	0	1	6
Elateridae	<i>Elateridae</i> sp.1	0	0	2	0	2
<u>Diptera</u>						
Syrphidae	<i>Syrphidae</i> sp.	0	1	0	0	1
Tachinidae	<i>Tachinidae</i>	0	2	0	1	3
Drosophilidae	<i>Drosophilidae</i> sp.	1	0	0	2	3
Muscidae	<i>Muscidae</i> sp.	1	1	1	1	4
<u>Araneae</u>						
Theridiidae	<i>Latrodectus geometricus</i>	2	3	2	4	11
	<i>Steatoda ancorata</i>	0	1	0	0	1
	<i>Theridiidae</i> sp. 2	0	0	0	1	1
	<i>Theridiidae</i> sp. 3	0	1	0	0	1
	<i>Theridiidae</i> sp. 4	0	1	0	0	1
Eutichuridae						

	<i>Cheiracanthium inclusum</i>	6	8	3	8	25
Oxyopidae	<i>Oxyopes salticus</i>	2	9	2	2	15
Salticidae	<i>Salticidae</i> sp.	2	1	0	0	3
	<i>Frigga</i> sp.	0	1	0	0	1
	<i>Chira gounellei</i>	0	1	0	0	1
	<i>Chira</i> sp.	0	1	0	0	1
Lycosidae	<i>Lycosidae</i> sp.	1	1	0	0	2
Araneidae	<i>Araneidae</i> sp.	0	1	0	0	1
	<i>Argiope argentata</i>	0	1	0	0	1
Philodromidae	<i>Tibellus</i> sp.	0	1	0	1	2
Thomisidae	<i>Thomisidae</i> sp.	0	0	1	1	2
Sparassidae	<i>Sparassidae</i> sp.	0	2	0	0	2
<u>Isopoda</u>	<i>Isopoda</i> sp.	1	1	0	1	3

APÊNDICE (E)

PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA R – (SCRIPTS)

B1 – Capítulo 02

#Carregando o pacote (gplots)

```
library("gplots")
```

#Importando as planilhas

```
banco <- read.table("clipboard",h=T)  
banco$Bloco<-factor(banco$Bloco)  
banco$Coleta<-factor(banco$Coleta)
```

#avaliação por coleta

```
Coleta08 <- subset(banco,Coleta==8)  
Coleta09 <- subset(banco,Coleta==9)  
Coleta10 <- subset(banco,Coleta==10)  
Coleta11 <- subset(banco,Coleta==11)  
Coleta12 <- subset(banco,Coleta==12)  
Coleta13 <- subset(banco,Coleta==13)  
Coleta14 <- subset(banco,Coleta==14)  
Coleta15 <- subset(banco,Coleta==15)  
Coleta16 <- subset(banco,Coleta==16)  
summary(banco)
```

#Análise dos dados pela Distribuição de Poisson e avaliação dos resíduos pelo χ^2

Dados Gerais (tratamento e coletas)

```
model_Spodoptera<-glm(Spodoptera~Bloco+Trat,family=poisson, data=banco)  
summary(model_Spodoptera)  
anova(model_Spodoptera,test="Chisq")
```

```
model_Anticarsia<-glm(Anticarsia~Bloco+Trat,family=poisson, data=banco)  
summary(model_Anticarsia)  
anova(model_Anticarsia,test="Chisq")
```

```
model_Chrysodeixis<-glm(Chrysodeixis~Bloco+Trat,family=poisson, data=banco)  
summary(model_Chrysodeixis)  
anova(model_Chrysodeixis,test="Chisq")
```

```
model_Total_Geral<-glm(Total_Geral~Bloco+Trat,family=poisson, data=banco)  
summary(model_Total_Geral)  
anova(model_Total_Geral,test="Chisq")
```

Dados por coleta/estádio fenológico (coleta 8,9,10,11,12,13,14,15 e 16)

```
model_Spodoptera<-glm(Spodoptera~Bloco+Trat,family=poisson, data=Coleta08)
summary(model_Spodoptera)
anova(model_Spodoptera,test="Chisq")
```

```
model_Anticarsia<-glm(Anticarsia~Bloco+Trat,family=poisson, data=Coleta08)
summary(model_Anticarsia)
anova(model_Anticarsia,test="Chisq")
```

```
model_Chrysodeixis<-glm(Chrysodeixis~Bloco+Trat,family=poisson, data=Coleta08)
summary(model_Chrysodeixis)
anova(model_Chrysodeixis,test="Chisq")
```

```
model_Total_Geral<-glm(Total_Geral~Bloco+Trat,family=poisson, data=Coleta08)
summary(model_Total_Geral)
anova(model_Total_Geral,test="Chisq")
```

B2 – Capítulo 03

#Carregando o pacote (FactoMineR)

```
library(FactoMineR)
```

#Importando as planilhas

```
banco1 <- read.table("clipboard",h=T)
```

#Análise de correspondência

```
res.mca = MCA (banco1, quanti.sup = 1, graph=FALSE)
```

```
plot(res.mca)
```

```
plot(res.mca,invisible="ind")
```

ANEXO

ANEXO A

Parasitoid of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton, in Western Bahia, Brazil

ABSTRACT

Natural biological control is one of the main components responsible for population reduction pests in agricultural ecosystem; however, its importance is usually minimized by not being estimated. This study reports a parasitoidism rate of up to 41% of *Helicoverpa armigera* caterpillars in unsprayed intensive cotton crops. Parasitoid species found were *Campoletis sonorensis* (Ichneumonidae: Campopleginae), *Archytas marmoratus* and *A. incertus* (Tachinidae: Tachininae).

KEY WORDS *Archytas*, biological control, *Campoletis sonorensis*, natural control, parasitoid.

Helicoverpa armigera (Hübner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliiothinae) has great destructive potential commercial on cultures worldwide (Matthews 1999). Although it was reported on 2012/2013 (Czepak *et al* 2013, Specht *et al* 2013), Sosa-Gómez *et al* (2016) tracked down its occurrence in Brazil since 2008.

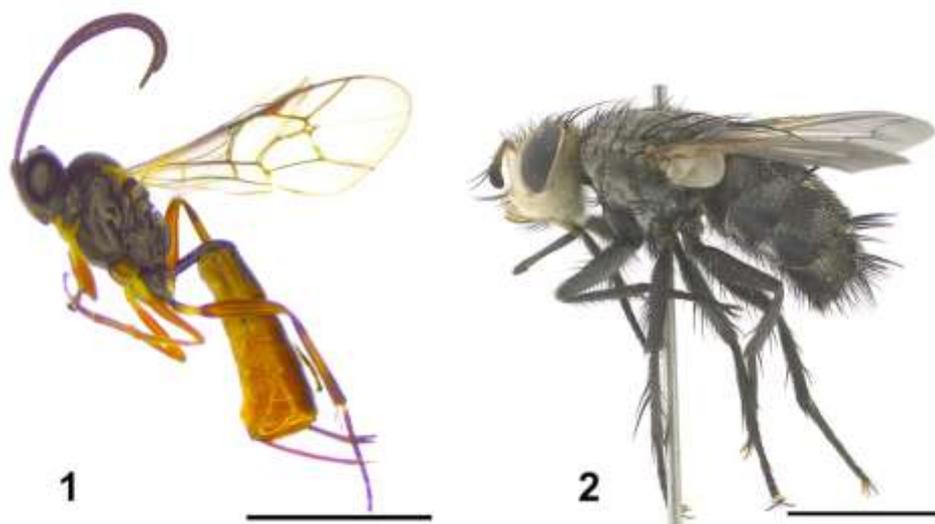
Despite the high diversity of parasitoids infesting noctuid caterpillars, their role in integrated pest management programs is underestimated. At least 35 parasitoid species were reported as natural enemies of Heliiothinae (e.g. *Chloridea*, *Helicoverpa* and *Heliiothis*), belonging to several families of Hymenoptera and one of Diptera (Tachinidae) (Fathipour & Sedaratian 2013). Beyond the diversity, parasitoid rates recorded in cotton range from 7% (Shepard & Sterling 1972) up to 76% (Obopile & Mosinkie 2007).

Biological control in cotton is favored by several natural enemies (e.g. Milward-de-Azevedo *et al* 1991, Tingle *et al* 1994, Mensah 1999, Bastos & Torres 2005, Barros *et al* 2006, Silva *et al* 2009, Diamantino *et al* 2014). However, the bionomics and ecology of natural enemies is still unknown for most of the species associated with cotton, making difficult its implementation in integrated pest management programs (Bastos & Torres 2005).

Here we report the occurrence of larval-pupal parasitoids on *H. armigera* in intensive cotton farming systems in Correntina municipality, Western Bahia, Brazil.

Caterpillars were sampled in commercial areas of intensive cotton crops during 2014/2015 and 2015/2016 crop seasons, in structured refuge areas, without insecticides spraying until collection dates. The caterpillars were collected manually (n = 301) from plants where they were observed, in a random transversal “zigzag” sampling, representing the best possible way to sample the whole area as described by Corrêa-Ferreira *et al* (2014). They were individually maintained in polyethylene cups (80 ml) with artificial diet (Parra 2001), under controlled conditions ($25 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ RH, 14:10 L: D) at the Entomology Laboratory in Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Daily observations were done to assess the development and survival until the emergence of lepidopteran adults or parasitoids. The emerged parasitoids from caterpillars were kept in 70% alcohol or pinned. Tachinid flies were identified according to Curran (1928) and Guimarães (1961), and wasps according to Aguirre *et al* (2015) and Goulet *et al* (1993). Voucher specimens were housed in the Entomological Collection of the Department of Zoology in the Universidade de Brasília (DZUB), and in the Department of Ecology and Evolutionary Biology (DCBU), Universidade Federal de São Carlos. A total of 125 (41.52%) of *H. armigera* caterpillars were parasitized. The parasitoids found were *Campoletis sonorensis* (Cameron, 1986) (Ichneumonidae, Campopleginae) (Fig.1), responsible for the parasitism of 7% of the caterpillars, and two

species of Tachinidae *A. marmoratus* (Townsend, 1915) and *Archytas incertus* (Macquart, 1851) (Fig.2), responsible for the total parasitism of 34.52%.



Figures 1-2: Lateral view: (1) *Campoletis sonorensis* (Cameron, 1886), female; (2) *Archytas marmoratus* (Townsend, 1915), male. [Scale=5mm].

Campoletis sonorensis was obtained only during the first sampling (2014/2015). It is a generalist endoparasitoid with high efficiency in the biological control of several moth pests, including the Americans Heliothinae as *Chloridea virescens* (Fabricius, 1777) and *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Cui *et al* 2000, Shelby *et al* 2000, Murillo *et al* 2012). This wasp has been also mentioned parasitizing *H. armigera* in the Old World (Kumar *et al* 2000, Yan & Wang 2006, Fathipour & Sedaratian 2013). *Archytas marmoratus* and *A. incertus* are two morphologically similar species, but with remarkable differences in their post abdomen structures (Figs.3-8), as shown by their male genitalia structures (see Figs.4-5, and 7-8, respectively), and also by their distribution patterns (Sabrosky 1955, Guimarães 1961, 1971). *A. marmoratus* is distributed from the South of the United States to the North of Chile and Brazil (Sabrosky 1955, Guimarães 1961, Ravlin & Stehr 1984); *A. incertus* is recorded from

Argentina, Brazil, Chile and Uruguay (Guimarães 1961), parasitizing lepidopteran pests including: *C. virescens*, *H. zea*, and *H. gelotopoeon* (Dyar 1921) (Sanchez & Raven 1989). This study is the first register of *A. incertus* as parasitoid on *H. armigera* in Brazil.



Figures 3-8: Male terminalia – *Archytas marmoratus* (Townsend, 1915), (3) fifth sternite (ventral view), (4) genital complex (lateral view), (5) surstylus and cercus (posterior view), *Archytas incertus* (Macquart, 1851), (6) fifth sternite (ventral view), (7) genital complex (lateral view), (8) surstylus and cercus (posterior view).

Archytas species lay first instar caterpillars scattered on soil or on plant structures where they hosts crawl and feed (Nettles & Burks 1975). This close relationship of the species of *Archytas* with Heliiothinae (e.g. Ravlin & Stehr 1984, Mannion *et al* 1994, Proshold *et al* 1998, Carpenter & Proshold 2000), includes its association with *H. armigera*, now present in the Americas. *Helicoverpa armigera* parasitism rate reached a 40% of infestation, a high natural mortality factor amidst the intensive crop system of cotton areas in West Bahia. This report demonstrates the importance of refuge areas as much to minimize the selection pressure of lepidopteran pests, such as promoting the maintenance of natural enemies.

Considering the relationship between the decrease of parasitoids populations and the use of insecticides with high toxicity and low selectivity (Shepard & Sterling 1972, Ruberson *et al* 1994, Figueiredo *et al* 2006), the results of this study emphasize the need for management to be based in the use of products with less impact on natural enemies, and the adoption of strategies consistent with the optimization of natural biological control (Bastos & Torres 2005, Parra 2014).

The parasitoids diversity, and the high incidence of parasitism detected in crops not sprayed, even in a region with extreme pressure insecticides as West Bahia, represents a strategic information of *H. armigera* mortality factors in cotton crops. In this direction, Obopile & Mosinkie (2007) reported 76% parasitism of *H. armigera* caterpillars on unsprayed crops in Botswana. Furthermore, other organisms as parasitoid eggs, predators and entomopathogens should be considered as natural biological control agents involved in the population dynamics of pests (Parra 2014). Therefore, all actions related to the management of crops that favor the maintenance and parasitoids action will contribute to the agroecosystem.

Acknowledgements

We thank CNPq and EMBRAPA for the grants. We are also grateful to Vander Célio Matos Claudino for his help in the field work. The Panorama farm - Correntina, Bahia, Brazil and to Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.

References

- Aguirre H, Almeida LF, Shaw SR, Sarmiento CE (2015) An illustrated key to Neotropical species of the genus *Meteorus* Haliday (Hymenoptera, Braconidae, Euphorinae). *ZooKeys* 489: 33–94.
- Barros R, Degrande PE, Ribeiro JF, Rodrigues ALL, Nogueira RF, Fernandes MG (2006) Flutuação populacional de insetos predadores associados a pragas do algodoeiro. *Arq Inst Biol* 73:57–64.
- Bastos CS, Torres JB (2005) Controle biológico e o manejo de pragas do algodoeiro. Campina Grande, Embrapa Algodão, 63 p. [Circular Técnica 72].
- Carpenter JE, Proshold FI (2000) Survival of *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae) from superparasitized corn earworm larvae (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ Entomol* 29:606–611.
- Corrêa-Ferreira BS, Hoffmann-Campo CB, Sosa-Gómez DR (2014) Inimigos naturais de *Helicoverpa armigera* em soja. Londrina, Embrapa soja, 12 p. [Comunicado Técnico 80].
- Cui L, Soldevila AI, Webb BA (2000) Relationships between polydnavirus gene expression and host range of the parasitoid wasp *Campoletis sonorensis*. *J Insect Physiol* 46:1397–1407.
- Curran CH (1928) Revision of the American species of *Archytas* (Tachinidae, Diptera). *Can Entomol* 60: 218–226.
- Czepak C, Albernaz KC, Vivian LM, Guimarães HO, Carvalhais T (2013) First reported occurrence of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 43:110–113.
- Diamantino EP, Castellani MA, Forti LC, Moreira AA, São José AR, Macedo JA, Oliveira FS, Silva BS (2014) Seletividade de inseticidas a alguns dos inimigos naturais na cultura do algodão. *Arq Inst Biol* 81:150–158.

- Fathipour Y, Sedaratian A (2013) Integrated management of *Helicoverpa armigera* in soybean cropping systems. In: El-Shemy HA (eds) Soybean-pest Resistance. Cairo, InteOpP, 280 p.
- Figueiredo MDL, Martins-Dias A, Cruz I (2006) Efeito do inseticida chlorpyrifos e sua interação com inimigos naturais na supressão de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidóptera: Noctuidae) na cultura do milho. Rev Bras Milho Sorgo 5: 325–339.
- Goulet H, Huber JT (1993) Hymenoptera of the world: an identification guide to families. Ottawa, Research Branch Agriculture Canada, 688 p.
- Guimarães JH (1961) Segunda contribuição ao conhecimento do gênero *Archytas* Jaennecke, 1867:(Diptera, Tachinidae). Mem Inst Oswaldo Cruz 59: 163–179.
- Guimarães JH, Papavero N (1971) “A catalogue of the Diptera of the Americas South of the United States”. In Guimarães JH (eds) A catalogue of the Diptera of the America South of the United States. São Paulo, Mus Zool Univ, 104:1–333.
- Kumar N, Kumar A, Tripathi CPM (2000) Sex ratio of *Campoletis chlorideae* Uchida in response to *Helicoverpa armigera* (Hübner) density. Int J Trop Insect Sci 20:73–76.
- Mannion CM, Carpenter JE, Gross HR (1994) Potential of the combined use of inherited sterility and a parasitoid, *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae), for managing *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). Environ Entomol 23:41–46.
- Matthews M (1999) Heliothine moths of Australia. A guide to pest bollworms and related noctuid groups. Melbourne, CSIRO, 320 p.
- Mensah RK (1999) Habitat diversity: implications for the conservation and use of predatory insects of *Helicoverpa* spp. in cotton systems in Australia. Int J Pest Manag 45:91–100.
- Milward-de-Azevedo EMV, Parra JP, Guimarães JH (1991) Aspects of the biology of *Archytas incertus* (Diptera: Tachinidae) and of its inter-relations with *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). . Rev Bras Entomol 35:521–530.

- Murillo H, Hunt DW, VanLaerhoven SL (2012) Fecundity and life table parameters of *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae), an endoparasitoid of the cabbage looper *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), under laboratory conditions. *Biocontrol Sci Technol* 22:125–134.
- Nettles Jr WC, Burks, ML (1975) A substance from *Heliothis virescens* larvae stimulating larviposition by females of the tachinid, *Archytas marmoratus*. *J Insect Physiol* 21: 965–978.
- Obopile M, Mosinkie KT (2007) Integrated pest management for African bollworm (*Helicoverpa armigera*) in Botswana: Review of past research and future perspectives. *J Food Agric Environ*, 1: 1–9.
- Parra JRP (2001) Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. Piracicaba, ESALQ, 125 p.
- Parra JRP (2014) Biological control in Brazil: an overview. *Sci Agric* 71:420–429.
- Proshold FI, Gross JrHR, Carpenter JE (1998) Inundative release of *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae) against the corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in whorl-stage corn. *J Entomol Sci* 33:241–255.
- Ravlin FW, Stehr FW (1984) Revision of the genus *Archytas* (Diptera: Tachnidae) for America North of Mexico. *Misc Publ Entomol Soc Am* 58:10–38.
- Ruberson JR, Herzog GA, Lambert WR, Lewis WJ (1994) Management of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: role of natural enemies. *Florida Entomol* 77: 440–453.
- Sabrosky CW, (1955) The taxonomic status of the armyworm parasite known as *Archytas piliventris* (Van Der Wulp) (Diptera: Larvaevoridae). *Florida Entomol* 38:77–83.
- Sanchez V, Raven Clorjnda KG (1989) Tachinidae (Diptera) registrados en el Museo de Entomología de la Universidad Nacional Agraria, La Molina. *Rev Peru Entomol* 32:93–102.
- Shelby KS, Adeyeye OA, Okot-Kotber BM, Webb BA (2000) Parasitism-linked block of host plasma melanization. *J Invertebr Pathol* 75:218–225.

- Shepard M, Sterling W (1972) Incidence of parasitism of *Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in some cotton fields of Texas. *Ann Entomol Soc Am* 65:759–760.
- Silva MNB, Alves GS, Wanderley Jr. JSA (2009) Manejo Cultural do Algodoeiro Agroecológico no Semiárido Brasileiro. Campina Grande, Embrapa Algodão, 10 p.[Circular técnica 126]
- Sosa-Gómez DR, Specht A, Paula-Moraes SV, Lopes-Lima A, Yano SAC, Micheli A, Morais EGF, Gallo P, Pereira RVS, Salvadori JR, Botton M, Zenker MM, Azevedo-Filho WS (2016) Timeline and geographical distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae: Heliothinae) in Brazil. *Rev Bras Entomol* 60:101–104.
- Specht A, Sosa-Gómez DR, Paula-Moraes SV, Yano SAC (2013) Notas Científicas Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. *Pesq Agropec Bras* 48:689–692.
- Tingle FC, Mitchell ER, McLaughlin JR (1994) Lepidopterous pests of cotton and their parasitoids in a double-cropping environment. *Florida Entomol* 77: 334–341.
- Yan Z-G, Wang C-Z (2006) Similar attractiveness of maize volatiles induced by *Helicoverpa armigera* and *Pseudaletia separata* to the generalist parasitoid *Campoletis chloridae*. *Entomol Exp Appl* 118:87–96.