

Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b)

Simone Martins Mendes⁽¹⁾, Kátia Gisele Brasil Boregas⁽¹⁾, Marcos Evangelista Lopes⁽²⁾,
Matheus Soares Waquil⁽¹⁾ e José Magid Waquil⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: simone@cnpms.embrapa.br, kgboregas@gmail.com, mswaquil@gmail.com, jmwaquil@gmail.com ⁽²⁾ReHAgro-Recursos Humanos no Agronegócio, Avenida Uruguai, nº 620, 5ª andar, Sion, CEP 30310-300 Belo Horizonte, MG. E-mail: marcos.lopes@rehagro.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros biológicos da lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*), alimentada com híbridos de milho Bt, que expressam a toxina Cry 1A(b), e com seus respectivos isogênicos não Bt. Os experimentos foram realizados no laboratório da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Os parâmetros avaliados foram: sobrevivência de larvas após 48 horas, sobrevivência da fase larval e pré-imaginal, biomassa de larvas aos 14 dias de idade, biomassa de pupas, período de desenvolvimento larval, e não preferência alimentar de larvas do primeiro instar. Larvas de *S. frugiperda* apresentam menor sobrevivência nas primeiras 48 horas de alimentação e durante toda a fase larval, na maioria dos híbridos de milho Bt, em comparação ao milho não Bt. A biomassa de larvas e pupas foi sempre menor no milho Bt, e o período larval e o pré-imaginal, maior. Houve interação entre a toxina Cry 1A(b) e a base genética dos híbridos transgênicos, quanto à sobrevivência e à biomassa larval. Larvas recém-eclodidas de *S. frugiperda* apresentam preferência pela alimentação em milho não Bt.

Termos para indexação: *Spodoptera frugiperda*, manejo de resistência de insetos, manejo integrado de pragas, resistência de plantas, transgenia.

Fall armyworm responses to genetically modified maize expressing the toxin Cry 1A(b)

Abstract – The objective of this work was to evaluate biological parameters of maize fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) fed with Bt maize hybrids expressing the Cry 1A(b) toxin, and with its isogenic non-Bt hybrids. The experiments were carried out in the laboratory of Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brazil. The parameters evaluated were: survival of larvae after 48 hours, survival of larval and preimaginal phases, larvae biomass at 14 days of age, pupae biomass, larval development period, and feeding non-preference of first instar larvae. Larvae of *S. frugiperda* show less resistance in the first 48 hours of feeding and during the entire larval phase in most Bt maize hybrids, in comparison to non-Bt maize. The biomass of larvae and pupae developed in Bt maize was always smaller, and the larval and preimaginal period were longer. There was interaction between the Cry 1A(b) toxin and the genetic base of the transgenic hybrids regarding survival and larval biomass. Newly hatched *S. frugiperda* larvae show preference for feeding on non-Bt maize.

Index terms: *Spodoptera frugiperda*, insect resistance management, insect pest management, plant resistance, transgenic.

Introdução

A lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das espécies mais nocivas nas regiões tropicais das Américas, por sua ampla distribuição geográfica e sua incidência durante todo o ano (Pogue, 2002; Waquil et al., 2008). No Brasil, é o principal inseto-praga da cultura do milho.

A utilização de inseticidas químicos na tentativa de minimizar os prejuízos provocados por essa praga, muitas vezes, não produz o efeito esperado,

o que acarreta o aumento de riscos de contaminação ambiental e a elevação de custos de produção. Isso ocorre, principalmente, pela dificuldade de atingir as lagartas no interior do cartucho (Gassen, 1994; Cruz, 1995; Busato, 2005). Além disso, o controle químico é frequentemente incompatível com a utilização de outros métodos de controle, como o biológico (Sá et al., 2009).

Plantas geneticamente modificadas desenvolvidas para resistir ao ataque de insetos-praga podem, potencialmente, reduzir impactos negativos da agricultura ao ambiente em virtude da redução do uso

de inseticidas químicos na cultura, com consequentes benefícios, como redução de poluição por resíduos tóxicos no ambiente (solo, água e alimentos ou matéria-prima), e aumento da segurança do trabalhador e possivelmente do controle biológico natural. Entretanto, impactos negativos potenciais, como redução de espécies benéficas e aumento de pragas não alvo, podem ocorrer em decorrência do plantio em larga escala desse tipo de plantas de milho (Capalbo & Fontes, 2004).

A especificidade das toxinas expressas pelos genes *bt* (proteínas *cry*) em diferentes espécies-praga também deve ser considerada. Waquil et al. (2002) estudaram a eficiência de nove híbridos de milho geneticamente modificado com expressão das toxinas *Cry 1A(b)*, *Cry 1A(c)*, *Cry 9C*, *Cry 1F*, nos EUA. Os autores observaram diferentes níveis de resistência dos híbridos a *S. frugiperda*, e os que expressavam as toxinas *Cry 1F*, *Cry 1A(b)*, *Cry 1A(c)* e *Cry 9C* foram considerados altamente resistente, resistente, moderadamente resistente e suscetível, respectivamente. Fernandes et al. (2003) verificaram, para as cultivares comerciais DKB 806 YG e DKB 909 YG que expressam a toxina *Cry 1A(b)*, em condições de campo, níveis diferentes de infestação de *S. frugiperda*, de acordo com o estágio fenológico da cultura, a época do ano e a localização geográfica do cultivo. Portanto, a eficácia e a expressão da resistência na planta são complexas e podem ser influenciadas por fatores bióticos e abióticos.

Para sustentar a complexidade da definição de estratégias de segurança ambiental e de manejo de resistência de insetos, torna-se necessário a realização de estudos de acompanhamento pós-liberação das variedades de milho geneticamente modificadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros biológicos da lagarta-do-cartucho do milho alimentada com híbridos de milho Bt, que expressam a toxina *Cry 1A(b)*, e com seus respectivos isogênicos não Bt.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo de Insetos da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, de janeiro a março de 2009. Foram utilizados seis híbridos de milho Bt que expressam a toxina *Cry 1A(b)* – DKB 330 YG, AG 9010 YG, DKB 350 YG, DKB 390 YG (Monsanto), P 30K75 YG, P 30F80 YG (Pioneer) – e seus respectivos

isogênicos não Bt: DKB 330, AG 9010, DKB 350, DKB 390, P 30K75, P 30F80.

Para obtenção das folhas utilizadas na alimentação dos insetos, realizou-se o plantio a campo dos 12 híbridos de acordo com as recomendações para o cultivo do milho (Cruz et al., 2010), exceto aplicação de inseticidas ou tratamento de sementes.

Lagartas recém-eclodidas, obtidas da criação de manutenção do laboratório, foram individualizadas em copos de plástico de 50 mL, vedados com tampas de acrílico, conforme metodologia utilizada por Sá et al. (2009). Folhas do cartucho de milho Bt e não Bt, entre os estádios V5–V8, com aproximadamente 50 cm², dispostas em forma de cartucho, foram trocadas a cada 48 horas durante todo o período larval. O experimento foi mantido em sala climatizada a 26±2°C e fotofase de 14 horas.

Os parâmetros avaliados foram: sobrevivência de larvas após 48 horas, sobrevivência da fase larval e pré-imaginal, biomassa das larvas aos 14 dias de idade, período de desenvolvimento larval, biomassa de pupas, viabilidade das fases larval e pupal e não preferência alimentar de larvas do primeiro instar.

Para avaliar a sobrevivência de larvas após 48 horas, foram colocadas cinco larvas por copo, sendo cada copo considerado uma repetição. Para o cálculo das demais sobrevivências, considerou-se cada cinco indivíduos como uma repetição.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com número variável de repetições por tratamento, o que dependeu da sobrevivência dos insetos durante os experimentos. Os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias e, para análise de variância, os dados referentes à sobrevivência após 48 horas e à sobrevivência da fase larval e pré-imaginal foram transformados para $(x+1)^{0,5}$, $x^{0,5}$ e $x^{0,5}$, respectivamente. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A não preferência do primeiro instar da lagarta-do-cartucho do milho foi avaliada pelo teste de livre escolha para alimentação. Quatro seções de folhas de híbridos de milho Bt e não Bt, com aproximadamente 16 cm², foram dispostas em placas de Petri (20 cm de diâmetro x 2 cm altura), no sistema de arena, de forma equidistante. Posteriormente, no centro de cada arena, foram liberadas dez lagartas recém-eclodidas. Para cada híbrido e seu respectivo isogênico, foram

utilizadas dez repetições. Vinte e quatro horas após a liberação, avaliou-se o número de lagartas, em cada híbrido. Para evitar o efeito do fototropismo das lagartas nos resultados, as placas de Petri foram cobertas com tecido preto. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

As larvas recém-eclodidas da lagarta-do-cartucho foram suscetíveis à toxina do Bt Cry 1A(b), presente nas folhas dos diferentes híbridos avaliados. A sobrevivência de larvas, 48 horas após a eclosão, alimentadas em milho Bt, foi significativamente menor do que a observada nos respectivos isogênicos não Bt, exceto para os híbridos DKB 330 e P 30F80, em que não houve diferença significativa (Tabela 1).

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Lynch et al. (1999), que verificaram que a sobrevivência de larvas de *S. frugiperda*, avaliadas quatro dias após a eclosão, em diferentes híbridos de milho que expressam a toxina Cry 1A(b), variou de 45% para o material Btk 0906 a 54% para o Btk 0907. Os autores também observaram diferença significativa no dano causado por essa espécie nos híbridos utilizados, com notas que variaram de 1 a 2,5, conforme escala de Davis & Willians (1992), aos 14 dias após infestação. Isso indica que a interação entre o "background" genético do híbrido e a expressão da

toxina Cry 1A(b) pode ser avaliada no fenótipo do híbrido.

A sobrevivência da fase larval da lagarta-do-cartucho (após 48 horas) foi significativamente menor nos híbridos de milho Bt, em comparação aos seus respectivos isogênicos não Bt, exceto para P 30F80. Houve diferença significativa quanto à esse parâmetro entre os híbridos de milho Bt (Tabela 1). Duton et al. (2005) relataram menor mortalidade de larvas de *Spodoptera littoralis* (Biosduval) (Lepidoptera: Noctuidae) no milho Bt N4640 Bt, (Syngenta, Stein, Suíça), nos últimos instares. Segundo os autores, larvas nos primeiros instares são mais sensíveis às toxinas Bt em razão das alterações na atividade específica de preteases no suco intestinal. Keller et al. (1996) demonstraram que o suco intestinal dos últimos instares de *S. littoralis* tem alta atividade proteolítica, capaz de degradar completamente a proteína Cry 1C. Hardke et al. (2011) também observaram alta sobrevivência larval de *S. frugiperda* – cerca de 83% –, ao se alimentar do híbrido DKC 67-03 YGCB.

Ao se considerar todo o desenvolvimento pré-imaginal (ovo-pupa), observou-se que a mortalidade das larvas não ocorreu inteiramente nas primeiras 48 horas após a ingestão da toxina, mas durante todo o período de desenvolvimento do inseto, tendo sido crítica na fase de pupa. Muitas larvas que conseguiram atingir a fase de pupa se alimentando de folhas dos híbridos Bt tiveram seu desenvolvimento comprometido e não conseguiram atingir a fase adulta (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Sobrevivência (%) de *Spodoptera frugiperda* alimentada em folhas de híbridos de milho Bt (YG) e de seus respectivos isogênicos não Bt, 48 horas após eclosão, e durante a fase larval e pré-imaginal⁽¹⁾.

Híbrido	Número	48 horas após eclosão ⁽²⁾	Número	Fase larval ⁽³⁾	Número	Fase pré-imaginal ⁽³⁾
DKB 330	23	84,34±3,54a	12	96,67±2,25a	12	83,33±3,33ab
DKB 330 YG	24	76,33±3,11ab	9	63,33±4,09cde	9	56,67±6,67bcd
AG 9010	24	89,16±2,94a	9	93,89±3,09ab	9	85,67±4,98ab
AG 9010 YG	24	60,83±5,95def	10	50,00±9,54ef	10	14,00±5,20f
DKB 350	24	85,33±2,54a	10	86,00±6,00abc	10	65,7±7,37abcd
DKB 350 YG	24	56,67±6,33ef	11	63,33±6,69de	11	38,45±5,15de
DKB 390	24	92,50±1,89a	11	98,18±1,81a	11	89,09±4,95ab
DKB 390 YG	24	61,67±5,38bcde	10	63,33±5,59cde	10	40,30±2,88cd
P 30K75	24	80,00±2,95abc	10	100,00±0,00a	11	72,72±8,21abc
P 30K75 YG	24	48,33±5,89f	10	33,60±4,46f	10	20,20±4,16ef
P 30F80	24	94,17±2,02a	11	100,00±0,00a	11	96,36±2,44a
P 30F80 YG	24	73,33±2,87abc	12	90,00±3,02abc	12	46,67±5,12cd

⁽¹⁾Médias±erro-padrão seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Dados transformados para $(x + 1)^{0,5}$. ⁽³⁾Dados transformados para $x^{0,5}$.

Apesar de a toxina Cry 1A(b) se expressar em todos os híbridos Bt avaliados, houve diferenças significativas na sobrevivência de larvas nos diferentes híbridos (Tabela 1). De acordo com Dutton et al. (2003), a expressão de toxinas Bt na célula é frequentemente desconhecida em variedades comercialmente disponíveis. A expressão constitutiva de toxinas Bt (expressão igual em todos os tecidos da planta) tem sido recentemente questionada (Van Wyk et al., 2009). Fearing et al. (1997) verificaram diferenças na expressão de toxinas em diferentes tecidos da planta de milho e, também, entre genótipos.

Lynch et al. (1999) e Waquil et al. (2002) encontraram diferenças na sobrevivência da lagarta-do-cartucho do milho, ao utilizar híbridos de milho que expressam a toxina Cry 1A(b), em experimentos realizados nos EUA, o que também corrobora a tese de que há interação entre o evento Bt [Cry 1A(b)] avaliado e o "background" genético no qual o gene foi inserido.

A biomassa de larvas aos 14 dias após a eclosão apresentou diferenças significativas, para todos os pares de híbridos Bt e não Bt (Tabela 2). Mesmo nos híbridos Bt em que a sobrevivência larval foi significativamente maior, em comparação aos outros híbridos de milho Bt, a biomassa média das larvas foi significativamente reduzida em comparação à do milho não Bt (Tabelas 1 e 2). Assim, as larvas que não morreram, ao se alimentar do milho Bt, tiveram o seu desenvolvimento comprometido.

Além da menor sobrevivência larval, os insetos sobreviventes apresentaram menor acúmulo de biomassa quando alimentados em milho Bt, o que reduziu sua

competitividade no ambiente. A menor diferença na biomassa dos insetos desenvolvidos no milho Bt e no não Bt foi encontrada para o híbrido P 30F80: cerca de três vezes. Já a maior diferença na biomassa dos insetos foi encontrada no híbrido P 30K75: aproximadamente 23 vezes.

Segundo Lynch et al. (1999), a proteção oferecida pela toxina Cry 1A(b) ao milho Bt contra a infestação por *S. frugiperda* ocorre, primariamente, pela redução da taxa de desenvolvimento e ganho de peso. A redução de peso é consequência da redução do consumo foliar, fato importante para o manejo de insetos no campo, pois, com menor biomassa e consumo alimentar, haverá menor dano do inseto à produção.

Diferença significativa foi observada entre a biomassa de pupas oriundas de larvas alimentadas com folhas de milho Bt e a de seus respectivos isogênicos não Bt, tendo sido menor nos insetos desenvolvidos em milho Bt (Tabela 2). Verifica-se diferença de 20% entre o híbrido que originou as menores pupas (P 30F80 YG) e o que originou as maiores pupas (AG 9010 YG). De acordo com Leuck & Perkins (1972), a biomassa de pupas apresenta alta correlação com a fecundidade dos adultos.

A alimentação dos insetos com milho Bt também resultou no aumento do período de desenvolvimento larval (Tabela 2). A menor diferença no período de desenvolvimento das larvas alimentadas em híbridos Bt e não Bt foi encontrada para o genótipo DKB 350, cuja versão não Bt (DKB 350) possibilitou um desenvolvimento 20% mais rápido do que a versão

Tabela 2. Biomassa aos 14 dias após eclosão e de pupas, período de desenvolvimento larval e pré-imaginal (recém-eclodido à adultos), de lagartas *Spodoptera frugiperda* recém-eclodidas alimentadas em folhas de híbridos de milho Bt (YG) e de seus respectivos isogênicos não Bt⁽¹⁾.

Híbrido	Número	Biomassa aos 14 dias (mg)	Número	Biomassa de pupa (mg)	Número	Desenvolvimento larval (dias)	Número	Desenvolvimento pré-imaginal (dias)
DKB 330	57	473,23±17,43a	50	263,72±3,65ab	57	14,85±0,17f	50	23,68±1,02f
DKB 330 YG	30	135,73±13,43d	27	225,74±6,91cde	30	20,13±0,49c	27	28,41±1,41cd
AG 9010	44	417,06±20,27a	40	256,57±3,39ab	44	15,11±0,28ef	40	23,63±0,93f
AG 9010 YG	28	66,53±9,67ef	8	240,00±6,17bcd	28	22,01±0,49b	8	31,16±1,21b
DKB 350	44	249,32±13,09c	33	248,78±4,89bc	44	17,52±0,22c	33	26,70±1,54de
DKB 350 YG	37	66,89±11,49ef	23	200,86±8,00ef	37	21,57±2,37b	23	30,21±1,72b
DKB 390	59	450,75±20,69a	54	283,72±4,35a	60	14,87±0,15f	54	24,47±0,94f
DKB 390 YG	35	38,48±4,37f	20	216,55±8,00def	35	22,40±0,41b	20	31,05±1,99b
P 30K75	56	302,71±16,42bc	41	243,68±4,54bcd	57	16,51±0,25cd	41	26,09±1,55e
P 30K75 YG	17	13,31±3,04f	11	196,90±7,88f	18	26,38±0,70a	11	37,18±1,71a
P 30F80	57	345,54±13,53b	52	255,54±3,77b	57	15,68±0,18ef	52	24,94±1,10ef
P 30F80 YG	54	105,63±8,44de	26	190,73±7,65f	54	21,09±0,41bc	27	29,55±1,43bc

⁽¹⁾Médias±erro-padrão seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Bt (DKB 350 YG). Já a maior diferença, foi encontrada para o híbrido P 30K75, em que as larvas na versão não Bt se desenvolveram 40% mais rápido que as larvas sobreviventes na versão Bt.

Pencoe & Martin (1982) constataram aumento do período de desenvolvimento de *S. frugiperda*, ao estudar a biologia deste inseto, em cinco hospedeiros diferentes. Dutton et al. (2005) encontraram um prolongamento do período de desenvolvimento de *S. littoralis* quando larvas foram mantidas em milho Bt, o que indica que a exposição contínua à toxina tem efeito crônico sobre a espécie.

Esses aspectos devem ser analisados no contexto do manejo integrado de pragas, pois os insetos sobreviventes têm seu desenvolvimento comprometido, apresentam maior duração da fase larval, e, conseqüentemente, são mais suscetíveis a outros fatores de mortalidade, bióticos e abióticos.

No teste de livre escolha (modelo de arena), todos os híbridos avaliados apresentaram diferença significativa no percentual de lagartas que se alimentaram em híbridos de milho Bt e não Bt (Tabela 3). Para o híbrido DKB 330, cerca de 86% das lagartas recém-eclodidas apresentaram preferência para o isogênico não Bt, e a diferença entre as versões Bt e não Bt foi cerca de oito vezes. Esse par de híbridos foi o que apresentou a maior diferença.

Em estudos realizados com *Spodoptera exigua* (Hubner, 1808), com incorporação da toxina Cry 1A(b)

Tabela 3. Percentagem de larvas de *Spodoptera frugiperda* neonatas presentes nas folhas de milho Bt (YG) e nos respectivos isogênicos não Bt, 24 horas após liberação, em teste de livre escolha (modelo de arena)⁽¹⁾.

Híbrido	Larvas
DKB 330	86,00±4,27a
DKB 330 YG	11,00±4,47f
AG 9010	62,60±5,20abc
AG 9010 YG	25,4±5,74def
DKB 350	59,9±6,23bc
DKB 350 YG	19,90±5,46ef
DKB 390	80,50±4,41ab
DKB 390 YG	13,70±4,42ef
P 30K75	47,20±3,10cd
P 30K75 YG	35,20±5,73de
P 30F80	72,60±4,41ab
P 30F80 YG	16,40±4,32ef

⁽¹⁾Médias±erro-padrão seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

em dieta artificial, as lagartas apresentaram preferência para a dieta sem toxina (Berdegué et al., 1996; Stapel et al., 1998), o que mostra que a não preferência está ligada à característica da toxina.

Lynch et al. (1999) observaram menor consumo de folhas de milho Bt pelas larvas de *S. frugiperda*, em comparação ao consumo de folhas de milho não Bt, o que indica que, após a prova (primeira alimentação), a larva reduz a alimentação nas folhas de milho Bt. Dutton et al. (2005) relataram que as toxinas Bt são deterrentes para as larvas de lepidópteros, e essas larvas são capazes de evitar plantas com toxinas Bt em caso de existência de áreas de refúgio próximas. No entanto, segundo esses autores, as larvas nos primeiros instares são mais sensíveis aos efeitos da toxina, o que reduz a migração de larvas do milho Bt para o não Bt. Essa característica de deterrência do milho Bt pode explicar o baixo ganho de peso das larvas alimentadas com esse tipo de milho (Tabela 2), o que mostra que, além do efeito direto da toxina nas larvas, há o efeito indireto de redução da alimentação.

Conclusões

1. Larvas de *Spodoptera frugiperda* apresentam menor sobrevivência nas primeiras 48 horas de alimentação, e durante toda a fase larval, na maioria dos híbridos de milho Bt que expressam a toxina Cry 1A(b), em comparação ao milho não Bt.

2. A biomassa de larvas e pupas de *S. frugiperda* desenvolvidas em milho Bt que expressa a toxina Cry 1A(b) é menor do que a das desenvolvidas em milho não Bt.

3. O período larval e o pré-imaginal de *S. frugiperda* são maiores nas larvas sobreviventes alimentadas no milho Bt.

4. Há interação entre a toxina do Bt Cry 1A(b) e a base genética dos híbridos transgênicos, quanto à sobrevivência e à biomassa larval de *S. frugiperda*.

5. Larvas recém-eclodidas de *S. frugiperda* apresentam não preferência para alimentação em milho Bt.

Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo, pelo apoio; e ao laboratorista Eustáquio Francisco Souza de Oliveira, pela colaboração na realização deste trabalho.

Referências

- BERDEGUÉ, M.; TRUMBLE, J.T.; MOAR, W.J. Effect of Cry1C toxin from *Bacillus thuringiensis* on larval feeding behavior of *Spodoptera exigua*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.80, p.389-401, 1996.
- BUSATO, G.R.; GRUTZMACHER, A.D.; GARCIA, M.S. Consumption and utilization of food by *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) native to different areas in Rio Grande do Sul, from corn and irrigated rice. **Neotropical Entomology**, v.31, p.525-529, 2002.
- CAPALBO, D.M.F.; FONTES, E.M.G. **GMO guidelines project**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 56p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 38).
- CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1995. 45p. (Embrapa-CNPMS. Circular técnica, 21).
- CRUZ, J.C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm>. Acesso em: 19 abr. 2011.
- DAVIS, F.M.; NG, S.S.; WILLIAMS, W.P. **Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm**. Mississippi: Agricultural and Forest Experiment Station, 1992. 9p. (Technical bulletin, 186).
- DUTTON, A.; ROMEIS, J.; BIGLER F. Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing Cry1Ab as a case study. **Biocontrol**, v.48, p.611-636, 2003.
- DUTTON, A.; ROMEIS, J.; BIGLER, F. Effects of Bt maize expressing Cry1Ab and Bt spray on *Spodoptera littoralis*. **Entomologia Experimentalis Applicata**, v.114, p.161-169, 2005.
- FEARING, P.L.; BROWN, D.; VLACHOS, D.; MEGHJI, M.; PRIVALLE, L. Quantitative analysis of CryIA(b) expression in Bt maize plants, tissues, and silage and stability of expression over successive generations. **Molecular Breeding**, v.3, p.169-176, 1997.
- FERNANDES, O.D.; PARRA, J.R.P.; NETO, A.F.; PÍCOLI, R.; BORGATO, A.F.; DEMÉTRIO, C.G.B. Efeito do milho geneticamente modificado MON810 sobre a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.25-35, 2003.
- GASSEN, D.N. **Pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1994. 92p.
- HARDKE, J.T.; LEONARD, B.R.; HUANG, F.; JACKSON, R.E. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. **Crop Protection**, v.30, p.168-172, 2011.
- KELLER, M.; SNEH, B.; STRIZHOV, N.; PRUDOVSKY, E.; REGEV, A.; KONCZ, C.; SCHELL, J.; ZILBERSTEIN, A. Digestion of delta-endotoxin by gut proteases may explain reduced sensitivity of advanced instar larvae of *Spodoptera littoralis* to Cry1C. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v.26, p.365-373, 1996.
- LEUCK, D.B.; PERKINS, W.D. A method of estimating fall armyworm progeny reduction when evaluating control achieved host-plant resistance. **Journal of Economic Entomology**, v.65, p.482-483, 1972.
- LYNCH, R.E.; WISEMAN, B.R.; PLAISTED, D.; WARNICK, D. Evaluation of transgenic sweet corn hybrids expressing Cry1A(b) toxin for resistance to corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v.92, p.246-252, 1999.
- PENCOE, N.L.; MARTIN, P.B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development and adult fecundity on five grass hosts. **Environmental Entomology**, v.11, p.720-723, 1982.
- POGUE, G.M. A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). **Memoirs of the American Entomological Society**, v.43, p.1-202, 2002.
- SÁ, V.G.M. de; FONSECA, B.V.C.; BOREGAS, K.G.B.; WAQUIL, J.M. Sobrevivência e desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology**, v.38, p.108-115, 2009.
- STAPEL, J.O.; WATERS, D.J.; RUBERSON, J.R.; LEWIS, W.J. Development and behavior of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in choice tests with food substrates containing toxins of *Bacillus thuringiensis*. **Biological Control**, v.11, p.29-37, 1998.
- VAN WYK, A.; VAN DEN BERG, J.; RENSBURG, J.B.J. Comparative efficacy of Bt maize events MON810 and Bt11 against *Sesamia calamistis* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa. **Crop Protection**, v.28, p.113-116, 2009.
- WAQUIL, J.M.; BOREGAS, K.G.B.; MENDES, S.M. **Viabilidade do uso de hospedeiros alternativos como área de refúgio para o manejo da resistência da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no cultivo do milho-Bt**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 10p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 160).
- WAQUIL, J.M.; VILELLA, F.M.F.; FOSTER, J.E. Resistência de milho (*Zea mays* L.) transgênico à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, p.1-11, 2002.

Recebido em 12 de outubro de 2010 e aprovado em 2 de fevereiro de 2011