

CARLOS EDUARDO ALMEIDA LUZ

**IMPACTO DE ALGODÃO TRANSGÊNICO EM TEIAS ALIMENTARES
ASSOCIADAS AO ALGODOEIRO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

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

T

Luz, Carlos Eduardo Almeida, 1990-
L979i Impacto de algodão transgênico em teias alimentares
2017 associadas ao algodoeiro / Carlos Eduardo Almeida Luz. –
Viçosa, MG, 2017.
v, 27f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Cadeias alimentares (Ecologia). 2. Algodoeiro - Plantas transgênicas. 3. *Gossypium hirsutum*. 4. Algodão. 5. Relação inseto-planta . I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Animal. Programa de Pós-graduação em Entomologia. II. Título.

CDD 22 ed. 577.16

CARLOS EDUARDO ALMEIDA LUZ

**IMPACTO DE ALGODÃO TRANSGÊNICO EM TEIAS ALIMENTARES
ASSOCIADAS AO ALGODOEIRO**

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

APROVADA: 20 de fevereiro de 2017.

Cristina Schetino Bastos
(Coorientadora)

Eugênio Eduardo de Oliveira

Marcelo Mendes de Haro
(Coorientador)

Mateus Chediak

Raul Narciso Carvalho Guedes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por proporcionar momentos de aprendizado durante minha caminhada até aqui. Por colocar em minha vida pessoas incríveis com as quais pude aprender e continuar aprendendo a ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço aos meus pais, Márcia e Ângelo, minha irmã, Maria Luiza e meu irmão, Daniel, por todo o apoio, amizade, paciência e exemplos que são para mim.

Agradeço ao Raul Guedes por ter me dado a chance de realizar o mestrado sob sua orientação, tornando possível a execução desse trabalho nas melhores condições possíveis, sempre disponível para responder os questionamentos. À Cristina Schetino pela orientação desde a graduação, pela amizade e por acreditar em mim, me ajudando a aprender cada dia mais.

Agradeço aos colegas e amigos do Laboratório de Proteção de Plantas que auxiliaram em todas as etapas desse trabalho. Sem a ajuda de vocês não seria possível chegar até aqui e sem vocês o ambiente do laboratório não seria o melhor lugar da UnB.

Agradeço à Karol Campos por me acalmar nesses últimos meses, me ajudar a manter a ansiedade sob controle, pelas risadas, beijos e abraços.

À todo mundo que esteve de alguma forma presente nesse trabalho, muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS	4
Aspectos gerais da área experimental	4
Tratos culturais	5
Teias alimentares de cultivares de algodoeiro	6
Impacto da distância em teias associadas a algodão transgênico	6
Construção das teias alimentares	7
Dados de produção.....	7
RESULTADOS	8
Teias alimentares de cultivares de algodoeiro	8
Impacto da distância em teias associadas a algodão transgênico	14
DISCUSSÃO	18
CONCLUSÃO	22
LITERATURA CITADA.....	23

RESUMO

LUZ, Carlos Eduardo Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Impacto de algodão transgênico em teias alimentares associadas ao algodoeiro**. Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes. Coorientadores: Cristina Schetino Bastos e Marcelo Mendes de Haro.

O impacto ambiental de cultivares transgênicas persiste como um tema de discussão, pois a utilização desta tecnologia pode alterar a dominância ecológica de espécies associadas às culturas beneficiárias, podendo alterar as pragas chaves associadas à estas. O algodão constitui-se em exemplo peculiar, pois os eventos em uso no Brasil não tem como alvo a praga principal da cultura no país – o bicudo do algodoeiro. Assim, não se sabe se tal tecnologia afetará de forma significativa a comunidade associada ao algodoeiro. O objetivo do trabalho foi avaliar tanto o impacto quanto a estrutura de comunidades de insetos associadas ao algodoeiro, através de teias alimentares. Desta forma, buscou-se avaliar se a utilização de cultivares transformadas geneticamente e portadoras de toxinas Bt afetam a comunidade de insetos associados ao algodoeiro e se o refúgio provoca alterações nesta comunidade. O delineamento em blocos ao acaso, de 0.5 ha cada, utilizando uma cultivar convencional e uma contendo proteínas Cry1Ac, Cry2Ab e tolerância ao glifosato. Foram feitas coletas em todas as parcelas para estudar se a comunidade de insetos nas duas cultivares diferiam, e também coletas em pontos determinados das parcelas com algodão transformado para verificar se a proximidade com algodão convencional influencia nessa comunidade. Os resultados mostraram que há diferença na abundância de insetos entre as duas cultivares, no entanto essa diferença não foi suficiente para causar alterações na teia de artrópodes associados ao algodoeiro destas duas cultivares. Em relação à proximidade entre as duas cultivares, houve uma maior abundância de insetos no centro da parcela com algodão modificado, sendo que nos locais mais próximos ao cultivo de algodão convencional foi observada menor abundância e riqueza de espécies. A utilização das teias alimentares possibilitou reconhecer os efeitos de plantas geneticamente modificadas na comunidade associada ao algodoeiro e verificar a inexistência de efeito na estrutura das teias alimentares de artrópodes associados ao algodoeiro.

ABSTRACT

LUZ, Carlos Eduardo Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Food-web mediated impact of Bt-cotton**. Adviser: Raul Narciso Carvalho Guedes. Co-Advisors: Cristina Schetino Bastos and Marcelo Mendes de Haro.

Environmental impact from transgenic crops is a contemporary issue because this technology has the possibility to change ecology dominance from species associated with crops incorporating this technology. Cotton is an interesting example because transgenic plants cultivated within Brazil, are not targeted to control its key pest species – the cotton boll weevil. Therefore, we do not know if transgenic cotton will significantly change the insect community associated with cotton. Impact and structure of communities can be assessed using food webs, and that was what we did in this work. We aimed to evaluate if transgenic crops, having Bt toxins, can affect insect community and if the area made with non-transformed plants and refuge, used to manage caterpillar Bt resistance, can also change this community. The experiment was carried out in three areas of 0.5 ha each where we grew cotton containing Cry1Ac and Cry2Ab plus glyphosate tolerance transformation and plants without genetic transformation. Randomized samples were taken on each plot to evaluate if insect community was different between cotton plants cultivated. Also, we collected insects in pre-determined locations within transgenic growth plots in order to evaluate if cotton without transformation could change the community. Results confirmed that there is difference in insect abundance between the two cotton genotypes used. However, this did not change the food web in both cotton cultivars. Proximity between both cotton cultivars used showed higher number of insects in the center of the plots and fewer insects in the transgenic borders. Food webs made it possible to recognize genetic the effects of modified plants within the cotton community and allowed to conclude about the inexistence of effects in insect food webs associated with cotton.

INTRODUÇÃO

A cultura do algodoeiro é atacada por diversas espécies de insetos fitófagos, sendo a principal praga o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman Coleoptera: Curculionidae), que pode causar reduções na ordem de 3 a 75% da produtividade esperada (AZAMBUJA; DEGRANDE, 2014). Além do bicudo, destacam-se também sugadores como pulgões, mosca-branca, cigarrinhas, percevejos e insetos mastigadores, como lagartas (SILVA et al., 2013).

Em relação à aplicação de inseticidas, são realizados durante todo o ciclo de cultivo, entre 20 a 25 aplicações com uma média de 2,5 ingredientes ativos por pulverização e isso chega a representar até 25% dos custos de produção (LAMAS; CHITARRA, 2014). O controle de pragas realizado dessa forma aumenta muito os custos de produção sendo necessário buscar formas alternativas de controle, como a utilização de outras tecnologias associadas ao manejo integrado de pragas, com o objetivo de reduzir os custos de produção.

Uma dessas tecnologias são as cultivares contendo toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* em seu material genético. Desde o início da comercialização do algodão Bt, em 1995, contendo toxinas *Cry1Ac*, foi possível reduzir entre 50 a 80% o número de aplicações de inseticidas contra as principais lagartas que podem atacar a cultura, sendo que esses primeiros materiais tinham como alvo principal as lagartas rosada e das maçãs (DEGUINE; FERRON; RUSSELL, 2008; SHELTON; ZHAO; ROUSH, 2002). No Brasil o cenário é um pouco diferente, pois o número elevado de aplicações de pesticidas é voltado para o controle do bicudo, que é a praga que causa maiores perdas no cultivo nacional e, até os dias atuais, as cultivares de algodão disponíveis no mercado contém proteção apenas contra lagartas (OLIVEIRA et al., 2011).

Devido à falta de materiais transgênicos voltados para controle do bicudo, os produtores continuam realizando elevado número de aplicações de inseticidas causando efeitos negativos para o ambiente e para organismos não-alvos (OLIVEIRA et al., 2011). No que diz respeito ao manejo de resistência dos insetos à toxina Bt, a utilização de áreas de refúgio são recomendadas, pois esses locais tem a função de disponibilizar indivíduos

susceptíveis a essas toxinas e o cruzamento de indivíduos da área de refúgio com indivíduos da área com cultivo de Bt gera uma progênie susceptível a alta expressão da toxinas Bt existente na cultivar transgênica (BAKER; TANN, 2014). Além do manejo de resistência, outra preocupação é a respeito dos possíveis efeitos negativos que cultivares transformadas podem causar em organismos não-alvo e se a presença dessas cultivares altera a comunidade de indivíduos do local em questão (CONNER; GLARE; NAP, 2003).

Os estudos conduzidos até o momento tem mostrado que a utilização de algodão Bt não interfere diretamente em indivíduos não-alvo, tanto fitófagos como pulgões e cigarrinhas, quanto predadores e parasitoides (DAHL, 2013; NARANJO, 2011; SUJII et al., 2013). Diversas metodologias tem sido empregadas nesses estudos, mas a maioria dos autores reconhece que é necessário realizar avaliações a longo prazo e em larga escala a campo para gerar resultados mais conclusivos. Tendo em vista que experimentos de campo, com avaliações durante todo o ciclo, permitem que a comunidade de artrópodes associados ao algodão seja submetida às toxinas como ocorre na realidade, as conclusões sobre os efeitos da tecnologia Bt podem ser mais realistas quando avaliadas nessas condições. Nesse sentido, ao avaliar, durante três anos consecutivos, os insetos presentes no cultivo comercial de algodão, foi verificado que o uso de algodão transgênico não causa efeito negativo na comunidade de predadores (TORRES; RUBERSON, 2005). Contudo, como citado pelos autores nesse último trabalho, uma das limitações do estudo foi a não existência de cultivos sem a aplicação de inseticidas por se tratar de cultivos comerciais. Portanto, desenvolver um experimento onde isso possa ser realizado pode permitir avaliar se realmente a presença das toxinas Bt causa algum efeito na comunidade de artrópodes do algodoeiro.

Dentre as possíveis alterações esperadas, diferenças na densidade e diversidade de predadores e parasitoides entre algodão Bt e algodão convencional podem ser observadas, tendo em vista que a diminuição no número de lagartas pode causar um decréscimo nos indivíduos especializados na predação e parasitismo desses fitófagos (WHITEHOUSE; WILSON; FITT, 2005). É possível também que a baixa qualidade nutricional de presas, pela ação da toxina Bt, afete negativamente inimigos naturais que se alimentem desses indivíduos antes de sua morte (ODE, 2006). Além disso, espécies não-

alvo da toxina Bt podem se beneficiar da diminuição na competição por recursos e da diminuição na produção de metabólitos secundários pela planta (HAGENBUCHER et al., 2013; TIAN et al., 2015). Dessa forma, com a diminuição no número de inimigos naturais e, possivelmente diminuição na quantidade de aplicações de inseticidas, organismos que antes não causavam muitas perdas podem vir a se tornar pragas importantes (ZEILINGER; OLSON; ANDOW, 2016). Nesse sentido, a comparação de materiais que continham a toxina Vip3A com algodão não-GM, não encontraram diferenças na diversidade de espécies não-alvo; por outro lado, ao se comparar um material contendo três toxinas (Cry1Ac, CryAb e Vip3A) com material não-GM, houve diferenças na comunidade de insetos, principalmente no fim do cultivo onde, no material não-GM, houve um aumento no número de lagartas enquanto que no material contendo as três toxinas esse número permaneceu baixo (WHITEHOUSE et al., 2007; WHITEHOUSE; WILSON; CONSTABLE, 2007).

Uma forma de analisar quais mudanças existem entre cultivos de algodão Bt e convencional é através de teias alimentares, como já foi realizado para milho (SZÉNÁSI et al., 2014). Essa abordagem permite a visualização da estrutura da comunidade de artrópodes presentes nos cultivos e, ao retratar interações tróficas nas comunidades, permite representações complexas a respeito da diversidade, interações entre as espécies e a estrutura da mesma. Existem diversas formas de representar teias alimentares, algumas mais simples e outras mais complexas, abrangendo um maior número de informações. No entanto, na grande maioria dos estudos, os gráficos são compostos de vértices representando as espécies e esses vértices são conectados entre si quando existe predação ou transferência de nutrientes entre as espécies. Além disto, para que se possa obter informações mais conclusivas e completas, é importante representar fatores como biomassa e abundância numérica das espécies presentes no local em estudo (BANAŠEK-RICHTER et al., 2009; COHEN; JONSSON; CARPENTER, 2003; JORDÁN et al., 2012). Estudos realizados no passado, até 1970, sugeriam que comunidades mais estáveis eram as que possuíam maior diversidade de espécies e interações entre elas. No entanto, May em 1973 propôs uma outra abordagem ao criar comunidades com interligações aleatórias entre as

espécies e isso permitiu concluir que a diversidade tende a desestabilizar a comunidade (BANAŠEK-RICHTER et al., 2009; MAY, 1973; MCCANN, 2000).

Estudos que abordam a comunidade de insetos associadas aos agroecossistemas sob a perspectiva da análise de teia são escassos ou inexistentes. No que tange o algodão-GM incorporando toxinas Cry1Ac e Cry2Ab e tolerância ao glifosato, o estudo da comunidade de insetos associados a esse cultivo pode esclarecer de que forma a comunidade de fitófagos pode ser alterada, permitindo desdobramentos acerca do manejo do cultivo. A proximidade estabelecida entre cultivos GM e não-GM pode também alterar drasticamente a dinâmica da comunidade de insetos e ter consequências para o manejo das pragas do algodoeiro (BAKER; TANN, 2014; SISTERSON et al., 2004). Conforme destacado, a natureza dessa alteração pode ser positiva, negativa ou neutra para o agroecossistema em questão, sendo que esse fato merece investigação detalhada.

Portanto, os objetivos desse trabalho foram: 1) construir teias alimentares para visualizar e quantificar a estrutura da comunidade de insetos e a interação entre as comunidade de algodão GM e não-GM; 2) comparar a comunidade de insetos em cultivo de algodão convencional e algodão modificado; e 3) avaliar se a proximidade entre campos cultivados com algodão convencional e modificado interfere na comunidade de insetos presentes nos campos de algodão geneticamente modificado.

MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos gerais da área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental da Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília (UnB), localizada no Núcleo Rural da Vargem Bonita, DF, com altitude de 1080m. Foram cultivadas seis parcelas de 0,25 ha sendo empregados dois tratamentos (cultivares convencional e transgênica) totalizando três blocos de 0,5 ha cada. Foi mantido um corredor, limpo periodicamente a fim de não ter vegetação, de 5m entre as parcelas e 7m entre os blocos. O local onde o experimento foi conduzido tem histórico de cultivo de milho, sendo as áreas circundadas nos arredores por vegetação nativa de cerrado e cultivo de pinhão manso.

Tratos culturais

O preparo do solo foi feito utilizando operações convencionais de aração e gradagem com o objetivo de deixar o solo o mais uniforme possível permitindo efetividade adequada dos herbicidas que foram aplicados no pré-plantio, bem como germinação adequada das sementes. Os herbicidas usados foram Trifluralina Nortox Gold (α,α,α -trifluoro-2,6-dinitroN,N-dipropyl-p-toluidine a 445g/L) na dose de 3,6 litros com volume de calda de 250 litros/ha e Round Up Transorb R (Sal de Potássio de GLIFOSATO 58,8 % e Equivalente ácido de N – (fosfonometil) glicina (GLIFOSATO) 48,0 %) na dose de 7,0 litros por hectare aplicado em um volume de calda de 200 litros/ha). Foi aplicado também 2,25 litros de Dual Gold com volume de calda de 250 litros/ha aproximadamente aos trinta dias após o plantio, próximo da adubação de cobertura, para controlar plantas daninhas que emergiram durante o período crítico de interferência.

O plantio foi realizado utilizando semeadora adubadora modelo JM3060PD configurada para o plantio do algodão seguindo recomendações do manual de instruções da máquina. A regulagem foi feita de forma a plantar 10 sementes por metro linear com espaçamento entre linhas de 0,90 metros. Para obter esse espaçamento, três das sete linhas de plantio da semeadora foram desativadas. Durante o plantio foi aplicado também formulação 4-30-16 de NPK na dose de 170 kg/ha. As cultivares utilizadas foram FMT 709 (cultivar convencional) e TMG46B2RF que possui incorporadas duas proteínas Bt, Cry1Ac e Cry2Ab além de ser resistente ao glifosato. Essas cultivares foram selecionadas por serem geneticamente próximas, evitando que possíveis divergências genéticas possam interferir na comunidade de insetos. Trinta dias após o plantio foi realizada adubação de cobertura onde foram aplicados 400kg de uréia em toda a área.

O manejo das plantas daninhas nas ocasiões subsequentes às mencionadas anteriormente foi realizado através de capina manual nas entrelinhas e retirada manual das plantas daninhas nas linhas de cultivo visando não danificar as plantas de algodão. Foi feita aplicação de regulador de crescimento de forma que as plantas tivessem, em média, 1,3 metros de altura (LAMAS; FERREIRA, 2006).

Teias alimentares de cultivares de algodoeiro

As coletas foram realizadas a cada vinte dias, sendo realizadas ao todo sete coletas aos 38, 66, 81, 102, 121, 142 e 164 dias após o plantio. Por ocasião das coletas foram retiradas dez plantas por parcela da seguinte forma: inicialmente era utilizada rede entomológica para capturar insetos que estivessem se deslocando ao redor das plantas selecionadas, e em seguida, as plantas foram recobertas com sacos plásticos transparentes e então arrancadas do solo juntamente com o sistema radicular, com o objetivo de capturar insetos que estavam em sua superfície. Os insetos coletados na rede foram colocados também em sacos plásticos e todo esse material foi destinado ao Laboratório de Proteção de Plantas (LPP), na UnB, para triagem (separação, quantificação, identificação e pesagem). Chegando ao laboratório, o material foi armazenado em freezer até ocorrer a morte dos insetos. Posteriormente os insetos foram mantidos em álcool a 70% para conservação.

Os insetos foram pesados, no momento em que eram realizadas a identificação e triagem, em balança de precisão Bioprecisa modelo FA-2104N e as plantas pesadas em balança BEL modelo M-6202 para determinação da massa fresca. O produto obtido pela massa de uma dada espécie e a quantidade dessa mesma espécie constituiu o fator biomassa fresca, importante na construção das teias alimentares.

Impacto da distância em teias associadas a algodão transgênico

Nesse segundo experimento, foram coletadas plantas em locais pré-estabelecidos nas parcelas com algodão transgênico. Para isso, foram definidos três transectos de 25m em cada parcela. Em cada transecto, foram coletadas plantas em cinco pontos pré-estabelecidos, sendo o primeiro ponto na borda da parcela (mais próximo da parcela com algodão convencional) e o último ponto no final do transecto, ou seja, as distâncias foram 0, 5, 10, 15 e 20 metros em relação à borda da parcela. O número de coletas e a coleta das plantas e dos insetos, assim como o armazenamento dos mesmos foi feito de forma semelhante à descrita no tópico anterior.

Construção das teias alimentares

Foi utilizado o programa R (R Development Core Team, 2013) e o pacote Cheddar (HUDSON et al., 2013). Para a construção dos gráficos, foi obtida a média das sete coletas para as variáveis avaliadas em cada tratamento e os parâmetros de abundância numérica (N), massa corporal (M) e biomassa (B), foram transformados em Log_{10} para diminuir a variabilidade dos dados. As informações referentes à conectância, ou seja, interações entre as espécies com transferência de nutrientes, foram definidos mediante observação em campo ou obtidas na literatura, quando disponível. Apenas insetos foram utilizados para as análises e construção das teias. As informações da abundância numérica, massa corporal e biomassa foram utilizadas para construção de mapas de calor e nas análises de regressões não-lineares. Os mapas de calor foram construídos utilizando os softwares TableCurve 3D e SigmaPlot.

Os parâmetros médios da teia, obtidos através do pacote Cheddar, foram submetidos à análise de variância multivariada para verificar se eles realmente diferiam entre si e que espécies contribuem mais para estas diferenças (PROC STEPDISC; SAS Institute, Cary NC, USA). Os modelos das análises de regressão não lineares foram selecionados baseando-se em parcimônia, altos valores de F, e incremento agudo do coeficiente de regressão (R^2) bem como de acordo com a complexidade do modelo (Table Curve 3D, Systat, San Jose, CA, USA).

Dados de produção

Ao final do experimento, foram coletadas ao acaso 10 plantas em cada parcela para contabilizar a produção das cultivares. A produção de algodão em caroço e de fibra, obtidos em cada parcela foram extrapolados para toda a área, transformados para $\sqrt{x} + 0,5$, e empregada análise de variância seguida de teste de Tukey a 5% de significância. O número escolhido de 10 plantas por parcela foi devido a limitações em relação ao deslindamento manual.

RESULTADOS

Teias alimentares de cultivares de algodoeiro

Os insetos associados ao algodoeiro que foram coletados durante o ciclo de cultivo estão listados na Tabela 1, bem como as médias e erro padrão dos mesmos. Análises de variância multivariadas indicaram diferenças significativas entre as cultivares de algodoeiro em abundância numérica (Wilk's lambda < 0.0001, $df_{num;den} = 1;4$, $P < 0.0001$), massa corporal (Wilk's lambda < 0.0001, $df_{num;den} = 1;4$, $P < 0.0001$) e abundância de biomassa de artrópodes associados a elas (Wilk's lambda = 0.0001, $df_{num;den} = 1;4$, $P = 0.03$) (Tabela 1). Contudo, essas diferenças são devidas a apenas algumas espécies, como indicado nas análises de variância (univariadas) realizadas para cada espécie (Tabela 1). Na Tabela 2 estão listados parâmetros médios das teias e podemos perceber que não houve diferença significativa para nenhum parâmetro entre os dois cultivos ($F_{1,4} \leq 1.48$, $P \geq 0.29$). A Figura 1 ilustra a arquitetura das teias alimentares associadas ao algodoeiro convencional e ao algodoeiro transgênico, respectivamente, reforçando a similaridade entre elas, como indicado pelas análises de variância multivariada relatadas acima.

Tabela 1. Abundância numérica (N; no. indivíduos/m²) (± EP), massa corporal média (M; mg) (± EP), biomassa da abundância (B; mg/m²) e status de conectividade dos artrópodes associados ao algodoeiro transgênico ou não. O número de identificação de cada espécie é consistente com representações posteriores de teias alimentares. Asteriscos indicam serem os tratamentos significativamente diferentes a $P < 0.05$ (*) e $P < 0.01$ (**) pelo teste de F .

Nicho (Nível trófico)	Número	Espécies	Abundância numérica (N; no. indivíduos/m ²)				Massa corporal média (M; mg)				Biomassa da abundância (B; mg/m ²)				Conexão
			Algodão não- transgênico	Algodão transgênico	F _{1,4}	P	Algodão não- transgênico	Algodão transgênico	F _{1,4}	P	Algodão não- transgênico	Algodão transgênico	F _{1,4}	P	
Detritívoro (0)															
	1	<i>Euxesta stigmatias</i>	0.78 ± 0.40	1.0 ± 0.58	0.1	0.77	0.006 ± 0.003	0.007 ± 0.003	0.001	0.93	0.006 ± 0.003	0.008 ± 0.005	0.10	0.77*	Basal
Produtor (1)															
	2	<i>Gossypium hirsutum</i>	9.29 ± 0.00	9.29 ± 0.00	.	.	3971.91 ± 133.34	3448.42 ± 84.11	11.02	0.03*	39691.40 ± 2304.76	34458.98 ± 1457.43	11.05	0.04*	Inter
Herbívoro (2)															
	3	<i>Agallia albidula</i>	2.31 ± 0.72	5.08 ± 2.63	3.41	0.40	0.00176 ± 0.00015	0.0016 ± 0.0001	2.5	0.19	0.004 ± 0.002	0.009 ± 0.008	0.41	0.56	Inter
	4	<i>Anthonomus grandis</i>	9.75 ± 0.32	11.44 ± 2.63	0.41	0.59	0.028 ± 0.00045	0.029 ± 0.00021	3.46	0.14	0.28 ± 0.02	0.33 ± 0.13	1.67	0.27	Inter
	5	<i>Aphis gossypii</i>	35.72 ± 11.99	52.33 ± 4.66	1.67	0.30	0.00173 ± 0.000032	0.00174 ± 0.000058	0.28	0.62	0.06 ± 0.04	0.09 ± 0.014	1.0	0.37	Inter
	6	<i>Apis mellifera</i>	0.0 ± 0.0	0.5 ± 0.50	.	.	0.00 ± 0.00	0.05 ± 0.089	1.0	0.37	0.00 ± 0.00	0.08 ± 0.13	0.009	0.93	Inter
	7	<i>Astylus variegatus</i>	6.11 ± 0.78	6.24 ± 1.11	0.01	0.93	0.045 ± 0.0015	0.045 ± 0.0015	0.29	0.62	0.28 ± 0.06	0.29 ± 0.09	1.09	0.36	Inter
	8	<i>Atta robusta</i>	11.50 ± 11.00	0.0 ± 0.0	.	.	0.031 ± 0.003	0.00 ± 0.00	3.97	0.12	0.05 ± 0.08	0.00 ± 0.00	0.06	0.11	Inter
	9	<i>Bemisia tabaci</i>	1282.83 ± 128.78	940.83 ± 110.70	4.06	0.12	0.00131 ± 0.0008	0.00138 ± 0.00003	1.78	0.25	1.74 ± 0.30	1.28 ± 0.26	1.0	0.37	Inter

10	<i>Diabrotica speciosa</i>	1.0 ± 0.0	0.67 ± 0.33	.	.	0.025 ± 0.0002	0.017 ± 0.0147	0.93	0.39	0.026 ± 0.00	0.017 ± 0.015	7.37	0.05*	Inter
11	<i>Dysdercus ruficollis</i>	1.0 ± 0.58	4.17 ± 1.02	7.37	0.05*	0.062 ± 0.003	0.19 ± 0.002	1.25	0.03*	0.09 ± 0.093	0.39 ± 0.16	9.83	0.03*	Inter
12	<i>Empoasca kraemeri</i>	5.93 ± 0.20	19.39 ± 4.28	9.83	0.08	0.0024 ± 0.0001	0.0022 ± 0.0003	1.14	0.35	0.013 ± 0.0008	0.043 ± 0.016	2.58	0.18	Inter
13	<i>Euschistus heros</i>	1.58 ± 0.36	1.0 ± 0.0	.	.	0.133 ± 0.00	0.133 ± 0.0003	1.32	0.32	0.21 ± 0.08	0.13 ± 0.00	2.0	0.23	Inter
14	<i>Frankliniella schultzei</i>	1.67 ± 0.88	0.33 ± 0.33	2.0	0.27	0.0002 ± 0.0002	0.00008 ± 0.00014	0.71	0.45	0.0004 ± 0.0004	0.00008 ± 0.00014	2.54	0.19	Inter
15	<i>Horcia nobilellus</i>	0.67 ± 0.33	3.11 ± 1.49	2.55	0.24	0.0055 ± 0.0047	0.008 ± 0.0001	0.86	0.41	0.05 ± 0.0047	0.025 ± 0.021	7.2	0.05*	Inter
16	<i>Neomegalotomus parvus</i>	2.33 ± 0.66	4.33 ± 0.33	7.2	0.07	0.013 ± 0.002	0.02 ± 0.003	7.0	0.05*	0.02 ± 0.01	0.038 ± 0.005	0.4	0.56	Inter
17	<i>Trigona spinipes</i>	10.0 ± 10.00	0.0 ± 0.0	.	.	0.05 ± 0.086	0.05 ± 0.086	0.0	0.99	0.15 ± 0.26	0.05 ± 0.09	1.0	0.37	Inter
18	<i>Tyanta perditor</i>	1.0 ± 0.99	0.33 ± 0.58	0.4	0.58	0.05 ± 0.086	0.00 ± 0.00	1.0	0.37	1.49 ± 2.59	0.00 ± 0.00	0.41	0.56	Inter
Parasitóide (3)														
19	<i>Bracon vulgaris</i>	1.28 ± 0.14	1.5 ± 0.29	0.47	0.54	0.0014 ± 0.00044	0.00147 ± 0.00045	0.03	0.86	0.0015 ± 0.0003	0.0018 ± 0.0006	0.47	0.53	Superior
20	<i>Catolaccus grandis</i>	4.22 ± 2.89	8.33 ± 3.18	0.91	0.39	0.00157 ± 0.00002	0.00157 ± 0.00003	0.03	0.88	0.0065 ± 0.008	0.013 ± 0.009	0.91	0.39	Superior
Predador (3)														
21	<i>Allograpta obliqua</i>	3.67 ± 0.84	5.0 ± 0.80	0.44	0.54	0.0256 ± 0.0006	0.026 ± 0.0005	0.02	0.89	0.09 ± 0.065	0.13 ± 0.06	0.44	0.54	Superior
22	<i>Apiomerus lanipes</i>	0.33 ± 0.33	1.0 ± 0.58	1.0	0.39	0.06 ± 0.096	0.11 ± 0.095	0.49	0.52	0.06 ± 0.096	0.17 ± 0.167	1.0	0.37	Superior
23	<i>Chrysoperla externa</i>	4.57 ± 0.74	4.97 ± 0.27	0.27	0.65	0.0056 ± 0.00002	0.0056 ± 0.00001	0.82	0.42	0.025 ± 0.007	0.027 ± 0.0026	0.27	0.63	Superior

24	<i>Cycloneda sanguinea</i>	1.11 ± 0.68	3.72 ± 2.14	1.35	0.35	0.025 ± 0.021	0.037 ± 0.0008	1.05	0.36	0.04 ± 0.043	0.14 ± 0.14	1.35	0.31	Superior	
25	<i>Condylostylus longicornis</i>	4.23 ± 1.10	6.52 ± 3.07	0.49	0.54	0.0055 ± 0.00045	0.0057 ± 0.0003	0.7	0.45	0.02 ± 0.01	0.036 ± 0.03	0.49	0.52	Superior	
26	<i>Eriopis connexa</i>	1.50 ± 0.29	0.67 ± 0.33	3.57	0.13	0.011 ± 0.0002	0.009 ± 0.0082	0.37	0.58	0.012 ± 0.00	0.008 ± 0.0069	1.0	0.37	Superior	
27	<i>Harmonia axyridis</i>	1.0 ± 0.58	1.0 ± 0.0	.	.	0.026 ± 0.022	0.04 ± 0.0035	1.24	0.33	0.041 ± 0.041	0.041 ± 0.00	0.0	1.0	Superior	
28	<i>Hippodamia convergens</i>	1.33 ± 0.58	0.5 ± 0.87	1.92	0.25	0.04 ± 0.0003	0.014 ± 0.023	3.85	0.12	0.054 ± 0.023	0.02 ± 0.03	1.92	0.24	Superior	
29	<i>Orius insidiosus</i>	1.44 ± 0.99	1.56 ± 0.29	0.01	0.92	0.0014 ± 0.0012	0.002 ± 0.00015	0.82	0.42	0.003 ± 0.004	0.003 ± 0.001	0.01	0.92	Superior	
Predador (4)															
30	<i>Doru luteipes</i>	1.33 ± 0.33	4.67 ± 3.18	1.09	0.40	0.031 ± 0.0005	0.031 ± 0.0002	0.28	0.62	0.042 ± 0.018	0.147 ± 0.17	1.09	0.36	Superior	
31	<i>Repipta flavicans</i>	0.33 ± 0.33	1.33 ± 0.66	1.8	0.27	0.032 ± 0.055	0.06 ± 0.055	0.49	0.52	0.03 ± 0.055	0.13 ± 0.11	1.8	0.25	Superior	
32	<i>Zellus leucogrammus</i>	0.66 ± 0.33	0.0 ± 0.0	.	.	0.096 ± 0.083	0.00 ± 0.00	3.99	0.11	0.09 ± 0.009	0.00 ± 0.00	4.0	0.12	Superior	
Multivariate analyses of variance (MANOVA; via Stepdisc)	Wilks' lambda df _{num;den} F _{appr.} P	0.0000					0.0000					0.2415			
		1;4 ∞					1;4 ∞					1;4 12.57			
		< 0.0001**					< 0.0001**					0.03*			

Tabela 2. Valores (\pm EP) dos descritores qualitativos e quantitativos das teias alimentares de artrópodes associados ao algodão-transgênico e não-transgênico.

Descritor	Algodão-Bt	Algodão não-Bt	F _{1,4}	P
Propriedades de espécies:				
Número de ligações tróficas	38.67 \pm 4.18	37.00 \pm 2.52	0.12	0.75
Proporção de taxa apical	0.59 \pm 0.03	0.59 \pm 0.01	0.00	0.97
Proporção de taxa intermediário	0.35 \pm 0.04	0.37 \pm 0.01	0.10	0.77
Proporção de taxa basal	0.05 \pm 0.01	0.04 \pm 0.00	0.83	0.42
Razão recurso:consumidor	0.43 \pm 0.02	0.42 \pm 0.02	0.02	0.89
Propriedades de ligação:				
Densidade de ligações	1.52 \pm 0.08	1.50 \pm 0.05	0.08	0.79
Conectividade	0.06 \pm 0.01	0.06 \pm 0.00	0.00	0.96
Proporção de ligações entre:				
Apical e intermediário	0.61 \pm 0.06	0.66 \pm 0.06	0.41	0.56
Apical e basal	0.16 \pm 0.07	0.09 \pm 0.07	0.48	0.53
Intermediário e intermediário	0.13 \pm 0.05	0.18 \pm 0.05	0.44	0.54
Intermediário e basal	0.10 \pm 0.04	0.07 \pm 0.04	0.36	0.58
Propriedades de cadeia:				
Comprimento médio	2.22 \pm 0.37	2.53 \pm 0.31	0.42	0.55
Comprimento máximo	3.33 \pm 0.33	3.67 \pm 0.33	0.50	0.52
Erro padrão	0.69 \pm 0.05	0.73 \pm 0.02	0.67	0.46
Propriedades de omnivoria:				
Grau de omnivoria	0.09 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	1.98	0.23
Assimetria consumidor-presa:				
Generalidade	1.61 \pm 0.06	1.56 \pm 0.05	0.33	0.60
Vulnerabilidade	3.76 \pm 0.08	3.70 \pm 0.25	0.05	0.83
Desvio padrão da generalidade padronizada	0.97 \pm 0.08	0.94 \pm 0.02	0.16	0.71
Desvio padrão da vulnerabilidade padronizada	2.06 \pm 0.11	2.05 \pm 0.07	0.01	0.94

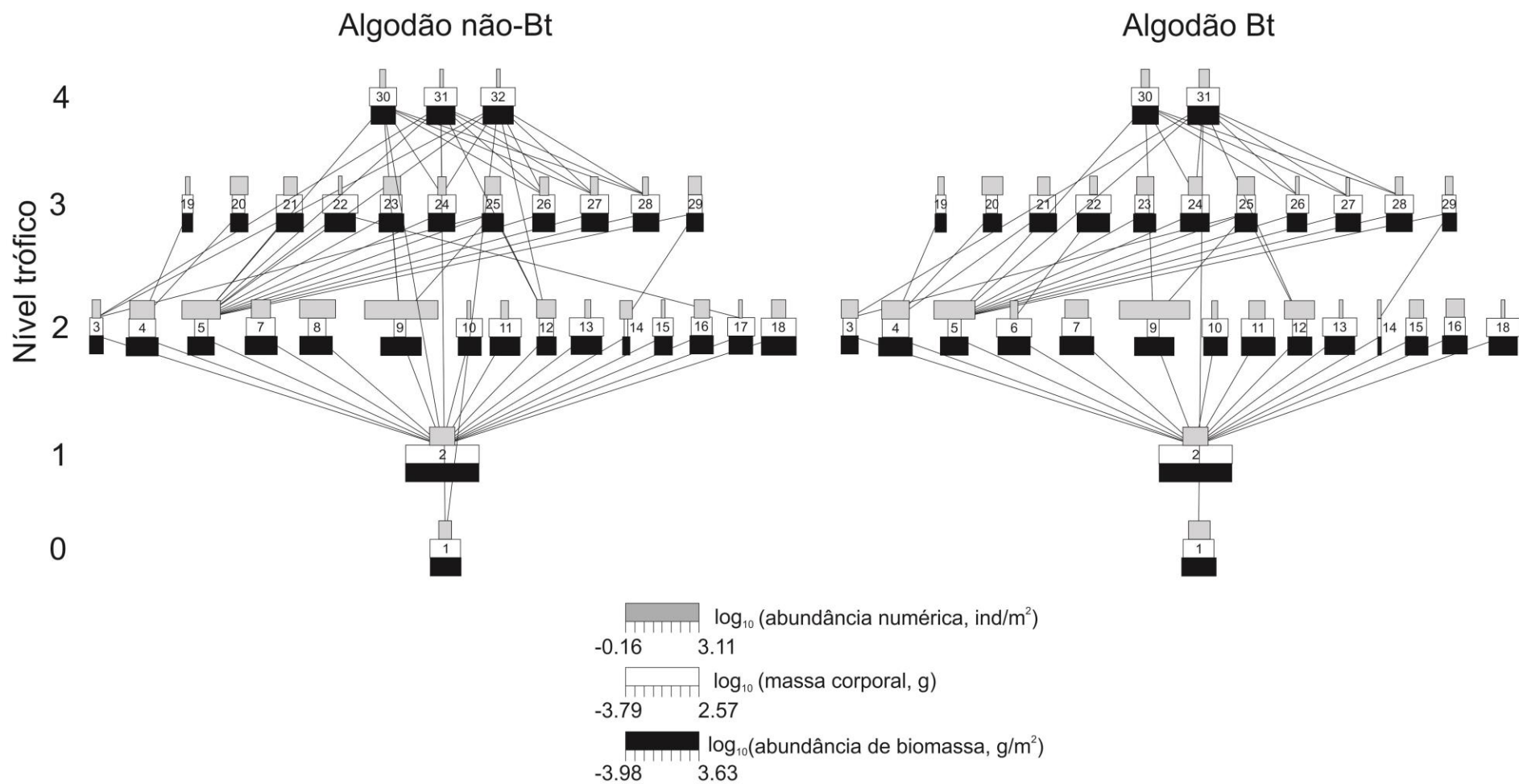


Figura 1. Teias alimentares dos cultivos convencional e transgênico. A largura das barras cinzas, brancas e pretas indicam log₁₀ da abundância numérica (indivíduos/m²), log₁₀ massa corporal (g) e log₁₀ abundância de biomassa (g/m²), respectivamente. As linhas representam transferência de nutrientes entre as espécies.

A fenologia do algodoeiro afeta a composição das espécies de artrópodes associadas a esta planta, que varia com o tempo refletindo em variação da abundância numérica (Fig. 3AB), massa corporal (Fig. 3CD), e biomassa da abundância (Fig. 3EF). A tabela 3 reforça, através dos resultados da regressão não-linear, o que está representado na figura 3 e podemos verificar que os parâmetros do modelo aplicado para descrever a abundância numérica foram maiores no algodão convencional em relação ao algodão transgênico. A mesma tendência persiste em relação à massa corporal média e biomassa, com gráficos semelhantes porém maiores valores sendo observados no algodão convencional (i.e., não-transgênico), do que no algodão transgênico (Fig. 3).

Impacto da distância em teias associadas a algodão transgênico

A proximidade do algodão convencional, normalmente recomendado como refúgio de lagartas para o algodão transgênico, afetou a comunidade de artrópodes associadas ao algodoeiro transgênico. Houve um aumento na abundância dos herbívoros à medida em que afasta das parcelas com algodão convencional (Fig. 4AB). Em contraste, o efeito da distância do algodoeiro convencional foi negligenciável para massa corporal e biomassa de abundância de artrópodes associados ao algodoeiro transgênico (nível trófico 1), com efeito significativo do nível trófico, pois o algodoeiro tem contribuição preponderante de biomassa nas teias a ela associadas (Fig. 4BC). Em relação à produção, não foi detectada diferença significativa entre as duas cultivares para algodão em caroço (algodoeiro não-transgênico: $1668,72 \pm 92,14$ kg/ha; algodoeiro transgênico: $1415,32 \pm 278,17$ kg/ha) ($F_{1,4} = 2,24$, $P = 0,21$).

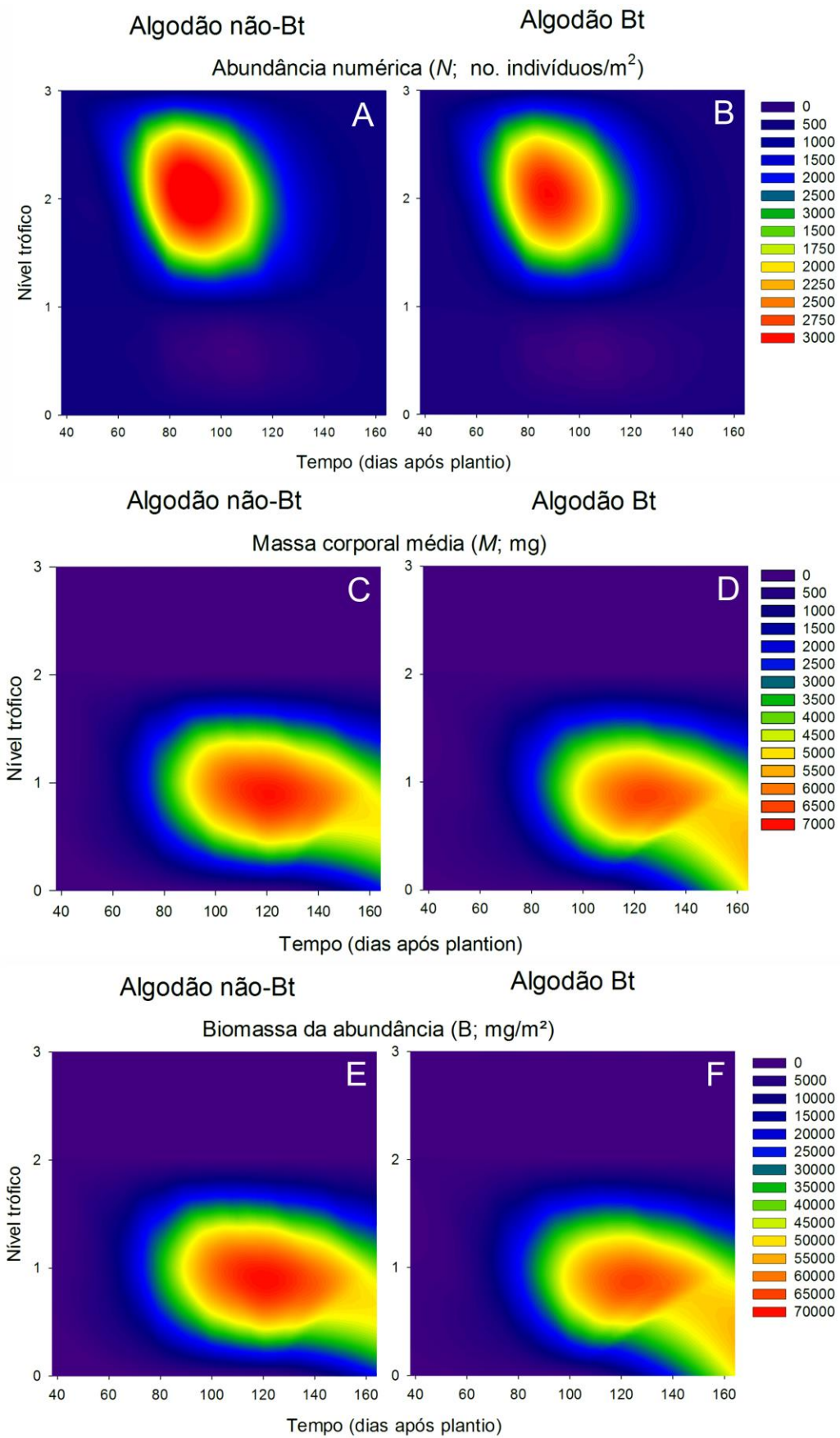
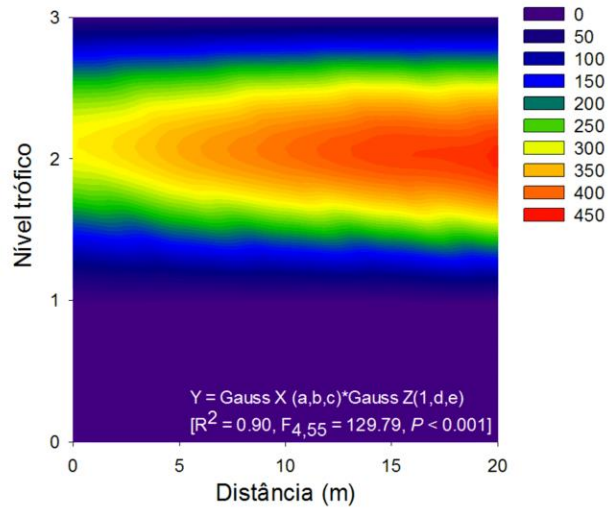


Figura 2. Comparação da abundância numérica (A-B), massa corporal (C-D) e biomassa da abundância (E-F) entre algodão não transgênico e transgênico dos níveis tróficos em função dos dias após o plantio.

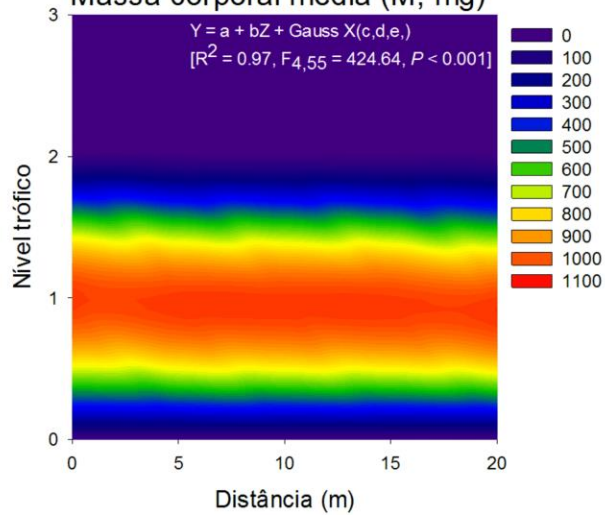
Tabela 3. Sumário das análises de regressão não-lineares das curvas de abundância numérica (N ; no. indivíduos/m²), massa corporal média (M ; mg), biomassa da abundância (B ; mg/m²) dos componentes da teia alimentar de artrópodes associados ao algodoeiro, representados nas figuras 3 e 4.

Algodão	Modelo	Parâmetros estimados (\pm EP)					gl _{error}	F	P	R ²
		a	b	c	d	e				
Abundância numérica (N ; no. indivíduos/m ²)										
Não-Bt	Y= Gauss X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,e)	3489.27± 238.60	2.10±0.45	0.30±0.14	89.33± 0.73	0.19±0.01	61	197.50	<0.001	0.93
Bt	Y= LogNormal X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,c)	2966.49± 568.97	1.75±0.10	0.21±0.01	88.46± 0.92	-	60	191.94	<0.001	0.91
Massa corporal média (M ; mg)										
Não-Bt	Y= LogNormal X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,e)	6778.96± 687.53	1.00±0.66	0.16±0.02	118.46 ±1.19	0.33±0.01	61	574.98	<0.001	0.97
Bt	Y= Gauss X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,e)	6204.51± 175.67	1.01±0.12	0.24±0.03	123.22 ±1.49	0.30±0.01	59	354.77	<0.001	0.96
Biomassa da abundância (B ; mg/m ²)										
Não-Bt	Y= Gauss X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,e)	68512.45 ±735.46	1.00±0.69	0.24±0.02	118.46 ±1.18	0.33±0.01	61	579.02	<0.001	0.97
Bt	Y= Gauss X(a,b,c)*LogNormal Z(1,d,e)	62011.33 ±343.51	1.01±0.12	0.24±0.03	123.22 ±1.49	0.30±0.01	59	355.01	<0.001	0.96

Abundância numérica (N ; no. indivíduos/ m^2)



Massa corporal média (M ; mg)



Biomassa da abundância (B ; mg/m^2)

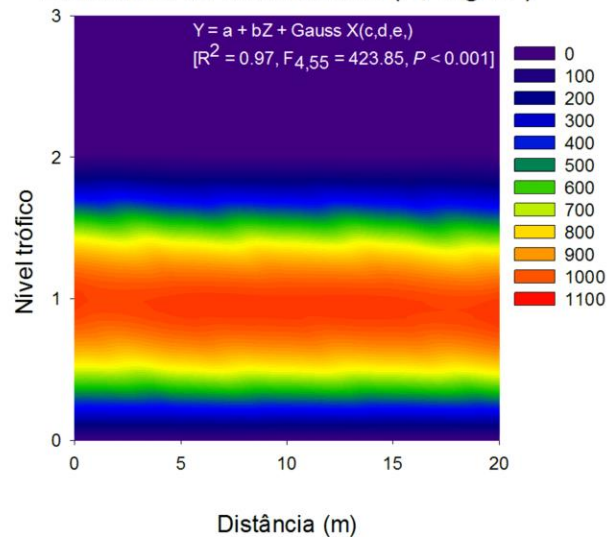


Figura 3. Comparação da abundância numérica, massa corporal e biomassa da abundância no algodão transgênico dos níveis tróficos em função das distâncias coletadas.

DISCUSSÃO

Análises de teia alimentar tem sido usadas em estudos das mais diversas áreas e tem possibilitado compreender e visualizar os efeitos das perturbações que ocorrem no ambiente sobre a comunidade que habita os locais em estudo. Dentre as perturbações possíveis de ocorrerem em paisagens agrícolas, está o cultivo de variedades geneticamente modificadas (ou transgênicas), pois podem apresentar efeito adverso a organismos não-alvo. Estudos já realizados possibilitaram verificar o efeito de toxinas Cry, presentes em cultivares transgênicas, sobre organismos não-alvo e se existe absorção dessas toxinas e transferência para níveis tróficos superiores (DUTTON; ROMEIS; BIGLER, 2003; TORRES; RUBERSON; ADANG, 2006).

Entretanto, tais trabalhos se concentraram em estudar os efeitos sobre espécies individuais e pertencentes a níveis tróficos específicos e não sobre a comunidade ocupante de um dado agroecossistema como um todo e sobre as relações estabelecidas entre elas. Nesse aspecto, a análise de teia alimentar aplicada às cultivares transgênicas pode proporcionar a geração de informações que permitam explorar não somente os efeitos das toxinas sobre organismos alvo e não-alvo específicos, como sobre a comunidade estudada como um todo (SZÉNÁSI et al., 2014). Desta forma, ao construir a teia alimentar nesse ambiente e compará-la à teia construída em um ambiente análogo, porém sem a perturbação imposta pelas toxinas contidas nas plantas transgênicas (isolinhas não-transgênicas ou convencionais), é possível submeter todas as espécies ocupantes desses ambientes à presença e ausência dessas toxinas e acompanhar quais os impactos gerados sobre toda a teia alimentar. Portanto, esse estudo permitiu realizar um comparativo entre as comunidades de insetos predominantes nos dois ambientes (com e sem a perturbação imposta pela presença das toxinas nas cultivares transgênicas de algodoeiro) e, ao comparar os parâmetros de cada teia, concluir se existe ou não diferença entre elas.

Boa parte dos estudos já realizados com comunidades terrestres tem explorado exclusivamente relações bivariadas, baseadas apenas na abundância e massa do recurso/consumidor (COHEN; JONSSON; CARPENTER, 2003). Essas informações são importantes e devem ser consideradas na construção da teia, facultando que maior complexidade possa

ser dada ao estudo na medida em que sejam utilizadas para gerar maior número de informações relativas à estabilidade da comunidade, vulnerabilidade (número de predadores/consumidor de certa espécie) e generalidade (número de presas de certa espécie) (TWOMEY; JACOB; EMMERSON, 2012). Todavia, outras variáveis igualmente importantes para a análise de teia são a densidade e a massa dos organismos componentes de uma dada comunidade e a variável gerada pelo uso combinado de ambas, a biomassa dos organismos.

Agentes perturbadores em geral podem causar alterações nessas características mediante aumento da mortalidade, com conseqüente redução da densidade, e/ou diminuição da massa corporal conforme já amplamente explorado em estudos realizados com inseticidas (BANKS et al., 2008; WILLRICH; LEONARD; COOK, 2003) e compostos antibióticos (CARLINI; GROSSI-DE-SÁ, 2015; HAGENBUCHER et al., 2013; MIRESMALLI; ISMAN, 2014). Desta forma, caso exista uma perturbação ocasionada à comunidade em virtude da presença das toxinas nas cultivares transgênicas em comparação às não-transgênicas, a expectativa em relação aos efeitos causados à comunidade seria a mesma visualizada pela introdução de perturbações de outra natureza.

No caso do presente estudo, não foram detectadas diferenças entre as comunidades em virtude da perturbação imposta pela presença das toxinas em cultivares transgênicas, contendo toxinas Bt Cry1Ac e Cry2Ab e tolerância ao herbicida Round up. Esse fato pode ter sido resultado da carência de lepidópteros alvo das toxinas nas áreas em estudo, contribuindo para a diminuição da densidade e diversidade de espécies no cultivo convencional, onde esperava-se a presença de espécies dessa ordem. Além disso, conforme foi apresentado nos resultados, apesar da diferença observada na abundância de artrópodes entre os cultivos de algodoeiro, não foram detectadas alterações na estrutura geral das teias. Os parâmetros da teia levam em consideração os diferentes níveis tróficos componentes da comunidade e as espécies pertencentes a cada nível trófico. Desta forma, a falta de diferença pode ter ocorrido em virtude de ambos cultivos terem apresentado as mesmas espécies, onde apenas poucas dessas espécies diferiam em relação à abundância numérica, massa corporal e biomassa entre os cultivos.

A ausência de lepidópteras nos dois cultivos também pode ter contribuído para os resultados encontrados, uma vez que era esperada maior presença desses organismos no cultivo convencional, resultando em aumento da densidade, massa corporal e biomassa dos organismos presentes nesse cultivo, bem como em uma maior atratividade de inimigos naturais que também contribuíram para aumentar essas características e as diferenças entre ambos os cultivos.

Outras espécies que costumam estar mais presentes em cultivos transgênicos são aquelas relacionadas com a disponibilidade de floração. Nesses cultivos a planta tende a sofrer menos dano por desfolha do que em cultivos convencionais devido à diminuição na quantidade de lagartas e dessa forma, a tendência é de haver maior produção na quantidade de estruturas reprodutivas (HOFS; SCHOEMAN; PIERRE, 2008). Assim, cultivares transgênicas podem, além de exercer controle sobre as principais lagartas associadas ao algodoeiro, reduzir o uso de inseticidas provocando efeitos benéficos para o ambiente e organismos não-alvo, aumentando o controle de fitófagos no sentido top-down (HAGENBUCHER et al., 2013) e contribuir para maior produção de estruturas reprodutivas resultando em maior produção. No entanto, como o bicudo do algodoeiro é a principal praga nos cultivos no Brasil e relatos na literatura apontam para não preferência entre variedades convencionais e transgênicas em relação ao dano e oviposição (DA FONSECA et al., 2013; SUJII et al., 2013), os agricultores realizam as aplicações de inseticidas voltados para o controle dessa praga, afetando toda a comunidade de insetos presentes na área e aumentando os custos de produção.

Algumas poucas espécies apresentaram diferença significativa entre os dois cultivos em relação a massa corporal e biomassa mostrando que, assim como outros autores apontam (LAWO; WACKERS; ROMEIS, 2009; ROMEIS; MEISSLE; BIGLER, 2006; TORRES; RUBERSON; ADANG, 2006; ZHAO et al., 2016), cultivares transgênicas não apresentam efeitos negativos na performance de organismos não-alvo.

Diferentemente do que ocorre com os inseticidas pulverizados, onde os produtos aplicados podem ser rotacionados alternando os modos de ação, em cultivos transgênicos as toxinas presentes nas cultivares são sempre as mesmas durante todo o cultivo. Isso faz com que o manejo de resistência

usado para produtos pulverizados não pudesse ser realizado em cultivos transgênicos. Nesses locais, esse manejo tem sido feito com a utilização de áreas de refúgio, que consiste na plantação de cultivares convencionais (sem toxinas Bt), que servem como repositório de insetos pois não são realizadas aplicações de inseticidas nesse locais. Assim, permite-se que haja a presença e reprodução de espécies suscetíveis à tecnologia Bt usada que posteriormente irão se acasalar e diluir a resistência na área sob cultivo Bt, sujeito a expressão de alta dose e mistura de toxinas. As áreas de refúgio são cultivadas próximas às áreas com cultivares transgênicas (LAXMINARAYAN; SIMPSON, 2002), e esses locais favorecem também o desenvolvimento de outras espécies associadas ao cultivo (HEAD et al., 2005). Dessa forma, insetos resistentes provenientes do cultivo transgênico irão se acasalar com os abundantes indivíduos suscetíveis provenientes das áreas próximas de refúgio, diminuindo a pressão de seleção e atrasando o surgimento de resistência das espécies às cultivares transgênicas (BRÉVAULT; TABASHNIK; CARRIÈRE, 2010; JIN et al., 2014; TABASHNIK et al., 2008).

No estudo da proximidade entre algodão transgênico e convencional foram observadas maiores abundâncias de espécies no meio das parcelas cultivadas com algodoeiro transgênico e baixa densidade nas bordas da parcela. No entanto, como o refúgio tem função de repositório de insetos para a área devido ao favorecimento do desenvolvimento de insetos nesses locais, o esperado era que nas primeiras distâncias avaliadas, ou seja, na borda da parcela, fossem detectadas maiores abundâncias e diversidade de insetos. Todavia, um aumento na quantidade de insetos fitófagos pode representar aumento também na quantidade de inimigos naturais, que passariam a exercer controle no cultivo convencional e nas áreas adjacentes, ou seja, nas bordas dos cultivos transgênicos, que poderia explicar os resultados encontrados. No entanto, as espécies que estiveram mais abundantes no algodão modificado foram *Aphis gossypii* e *Bemisia tabaci*. Esse resultado condiz com o que já foi exposto por alguns autores, pois a baixa infestação de lagartas poderia diminuir a quantidade de terpenóides produzidos pelas plantas, deixando-as mais suscetíveis ao ataque de sugadores como *A. gossypii* e algumas outras espécies (HAGENBUCHER et al., 2013; MARVIER et al., 2007; MEN et al.,

2003; SISTERSON et al., 2004; WHITEHOUSE et al., 2007; WHITEHOUSE; WILSON; FITT, 2005; YANG et al., 2015).

Em resumo, a utilização das informações a respeito da presença e abundância, massa corporal e biomassa dos indivíduos presentes nas áreas em estudo, nos permitiu realizar uma análise trivariada da comunidade como um todo, possibilitando obter informações mais completas a respeito do ambiente estudado. Estudos que considerem as perturbações ocasionadas pelo cultivo de cultivares transgênicas sobre a comunidade predominante nos locais de cultivo, conforme realizado nesse trabalho, e que empreguem a análise conjunta dessas três variáveis aqui exploradas (densidade, massa corporal e biomassa), permitem entender a natureza (se positivos, negativos ou neutros) e a magnitude (aumento, redução ou ausência de efeitos) dos impactos que estão sendo causados para a comunidade de indivíduos presentes na área como um todo, sendo essa abordagem inédita.

CONCLUSÃO

A construção das teias proporcionou um entendimento de como se comporta a comunidade de artrópodes nos dois cultivos assim como a interação entre as espécies presentes durante todo o ciclo de cultivo.

Foi possível verificar que há diferença na comunidade de insetos nos dois cultivos, principalmente na abundância de herbívoros, sendo esses presentes em maior quantidade no algodão convencional. Contudo, não houve diferença na estrutura das teias.

Houve menor abundância de herbívoros na borda das parcelas de algodão transformado, com aumento da quantidade à medida em que as coletas se afastaram do cultivo de algodão convencional.

LITERATURA CITADA

- AZAMBUJA, R.; DEGRANDE, P. E. Trinta anos do bicudo-do-algodoeiro no Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 4, p. 377–410, 2014.
- BAKER, G. H.; TANN, C. R. Refuge crop performance as part of the Bt resistance management strategy for *Helicoverpa spp.* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australian cotton production systems. **Austral Entomology**, v. 53, n. 2, p. 240–247, 2014.
- BANAŠEK-RICHTER, C. et al. Complexity in quantitative food webs. **Ecological Society of America**, v. 90, n. 6, p. 1470–1477, 2009.
- BANKS, H. T. et al. Dynamic models for insect mortality due to exposure to insecticides. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 48, n. 1–2, p. 316–332, 2008.
- BRÉVAULT, T.; TABASHNIK, B. E.; CARRIÈRE, Y. A seed mixture increases dominance of resistance to Bt cotton in *Helicoverpa zea*. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–7, 2010.
- CARLINI, C. R.; GROSSI-DE-SÁ, M. F. Plant toxic proteins with insecticidal properties. A review on their potential as bioinsecticides. **Toxicon**, v. 40, n. DECEMBER 2002, p. 1515–1539, 2015.
- COHEN, J. E.; JONSSON, T.; CARPENTER, S. R. Ecological community description using the food web, species abundance, and body size. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 100, n. 4, p. 1781–6, 2003.
- CONNER, A. J.; GLARE, T. R.; NAP, J.-P. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. **The Plant journal**, v. 33, n. 1, p. 19–46, 2003.
- DA FONSECA, P. R. B. et al. Spatial distribution of adult *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) and buds with feeding punctures on conventional and Bt cotton. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 3, p. 1129–1138, 2013.
- DAHI, H. F. Assessment the Effects of Transgenic Egyptian Bt Cotton that Contain Two Genes Expressing Cry 1Ac and Cry 2Ab Delta-Endotoxin on the Abundance of the Non Target Organisms Community. **Nature and Science**, v. 11, n. 2, p. 117–122, 2013.

DEGUINE, J. P.; FERRON, P.; RUSSELL, D. Sustainable pest management for cotton production. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 113–137, 2008.

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, n. 6, p. 611–636, 2003.

HAGENBUCHER, S. et al. Pest trade-offs in technology: reduced damage by caterpillars in Bt cotton benefits aphids. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1758, p. 20130042–20130042, 2013.

HEAD, G. et al. A multi-year, large-scale comparison of arthropod populations on commercially managed Bt and non-Bt Cotton fields. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 5, p. 1257–1266, 2005.

HOFES, J.; SCHOEMAN, A. S.; PIERRE, J. Diversity and abundance of flower-visiting insects in Bt and non-Bt cotton fields of Maputaland (Kwazulu Natal Province , South Africa). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 28, n. 4, p. 211–219, 2008.

HUDSON, L. N. et al. Cheddar: Analysis and visualisation of ecological communities in R. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 4, n. 1, p. 99–104, 2013.

JIN, L. et al. Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect resistance to transgenic Bt crops. **Nature Biotechnology**, p. 1–10, 2014.

JORDÁN, F. et al. Simulating food web dynamics along a gradient: Quantifying human influence. **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, p. 1–10, 2012.

LAMAS, F. M.; CHITARRA, L. G. **Diagnóstico dos Sistemas de Produção de Algodão em Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 32 p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Documentos, 123).

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B. **Reguladores de Crescimento na Cultura do Algodoeiro**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 5 p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Comunicado Técnico, 121).

LAWO, N. C.; WACKERS, F. L.; ROMEIS, J. Indian Bt Cotton Varieties Do Not Affect the Performance of Cotton Aphids. **PLoS ONE**, v. 4, n. 3, p. 1–9, 2009.

LAXMINARAYAN, R.; SIMPSON, R. D. Refuge Strategies for Managing Pest Resistance in Transgenic Agriculture. **Environmental and Resource Economics**, v. 22, p. 521–536, 2002.

- MARVIER, M. et al. A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. **Science**, v. 316, n. 5830, p. 1475–1477, 2007.
- MAY, R. M. Qualitative stability in model ecosystems. **Ecology**, v. 54, n. 3, p. 638–641, 1973.
- MCCANN, K. S. The diversity–stability debate. **Nature**, v. 405, n. 11, p. 228–233, 2000.
- MEN, X. et al. Diversity of Arthropod Communities in Transgenic Bt Cotton and Nontransgenic Cotton Agroecosystems. **Environmental entomology**, v. 32, n. 2, p. 270–275, 2003.
- MIRESMALLI, S.; ISMAN, M. B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 1, p. 29–35, 2014.
- NARANJO, S. E. Impacts of Bt transgenic cotton on integrated pest management. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 11, p. 5842–5851, 2011.
- ODE, P. J. Plant chemistry and natural enemy fitness: Effects on Herbivore and Natural Enemy Interactions. **Annual Review Entomology**, v. 51, n. 1, p. 163–185, 2006.
- OLIVEIRA, G. R. et al. Improving Cry8Ka toxin activity towards the cotton boll weevil (*Anthonomus grandis*). **BMC Biotechnology**, v. 11, n. 1, p. 85, 2011.
- ROMEIS, J.; MEISSE, M.; BIGLER, F. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. **Nature biotechnology**, v. 24, n. 1, p. 63–71, 2006.
- SHELTON, A. M.; ZHAO, J.; ROUSH, R. T. Social Consequences of the Deployment of Bt transgenic plants. **Annual Review Entomology**, v. 47, p. 845–81, 2002.
- SILVA, C. A. D. DA et al. Sugestões Técnicas para o Manejo Integrado de Pragas do Algodoeiro no Brasil. **Campina Grande: Embrapa Algodão**, p. 12, 2013.
- SISTERSON, M. S. et al. Arthropod abundance and diversity in Bt and non-Bt Cotton Fields. **Environmental entomology**, v. 33, n. 4, p. 921–929, 2004.
- SUJIL, E. R. et al. Field Evaluation of Bt Cotton Crop Impact on Nontarget Pests: Cotton Aphid and Boll Weevil. **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 1, p. 102–111, 2013.

- SZÉNÁSI, Á. et al. Short-term effects of different genetically modified maize varieties on arthropod food web properties: an experimental field assessment. **Scientific Reports**, v. 4, p. 1–7, 2014.
- TABASHNIK, B. E. et al. Insect resistance to Bt crops : evidence versus theory. **Nature biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 199–202, 2008.
- TIAN, J.-C. et al. Bt crops benefit natural enemies to control non-target pests. **Scientific reports**, v. 5, p. 16636, 2015.
- TORRES, J. B.; RUBERSON, J. R. Canopy and ground-dwelling predatory arthropods in commercial Bt and non-Bt cotton fields: Patterns and mechanisms. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 5, p. 1242–1256, 2005.
- TORRES, J. B.; RUBERSON, J. R.; ADANG, M. J. Expression of *Bacillus thuringiensis* Cry1A protein in cotton plants, acquisition by pests and predators:a tritrophic analysis. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 8, p. 191–202, 2006.
- TWOMEY, M.; JACOB, U.; EMMERSON, M. C. Perturbing a Marine Food Web. Consequences for Food Web Structure and Trivariate Patterns. **Advances in Ecological Research**, v. 47, p. 349–409, 2012.
- WHITEHOUSE, M. E. A. et al. Target and Nontarget Effects of Novel “Triple-Stacked” Bt-Transgenic Cotton: Canopy Arthropod Communities. **Environmental entomology**, v. 58, n. 3, p. 273–285, 2007.
- WHITEHOUSE, M. E. A.; WILSON, L. J.; CONSTABLE, G. A. Target and non-target effects on the invertebrate community of Vip cotton, a new insecticidal transgenic. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 58, n. 3, p. 273–285, 2007.
- WHITEHOUSE, M. E. A.; WILSON, L. J.; FITT, G. P. A Comparison of Arthropod Communities in Transgenic Bt and Conventional Cotton in Australia. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 5, p. 1224–1241, 2005.
- WILLRICH, M. M.; LEONARD, B. R.; COOK, D. R. Arthropod management Laboratory and Field Evaluations of Insecticide Toxicity To Stink Bugs (Heteroptera: Pentatomidae). **Journal of Cotton Science**, v. 116, p. 110–116, 2003.
- YANG, B. et al. Crop dominance exerts specific effects on foliage-dwelling arthropods in *Bacillus thuringiensis* cotton. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 17, n. 3, p. 225–238, 2015.

ZEILINGER, A. R.; OLSON, D. M.; ANDOW, D. A. Competitive release and outbreaks of non-target pests associated with transgenic Bt cotton. **Ecological Applications**, v. 26, n. 4, p. 1047–1054, 2016.

ZHAO, Y. et al. Bt proteins Cry1Ah and Cry2Ab do not affect cotton aphid *Aphis gossypii* and ladybeetle *Propylea japonica*. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–10, 2016.