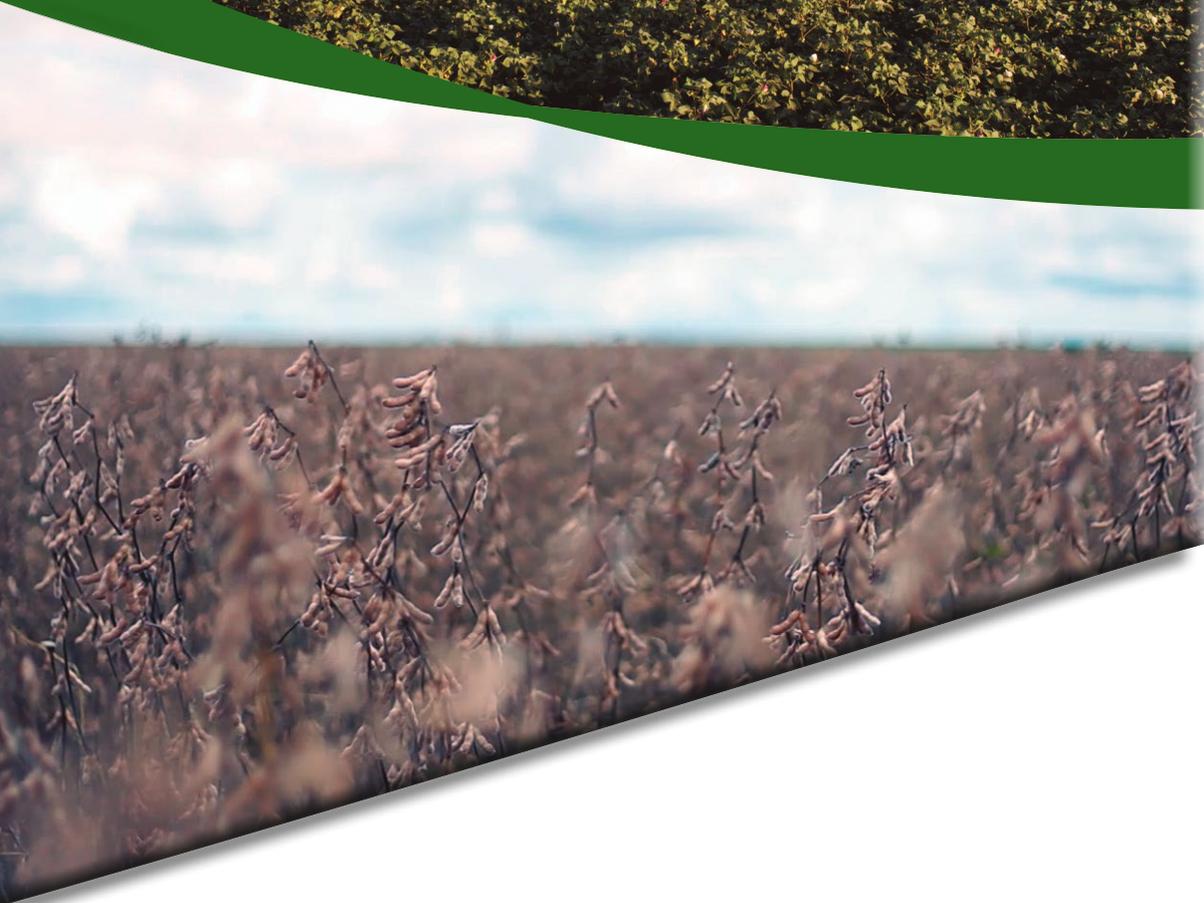
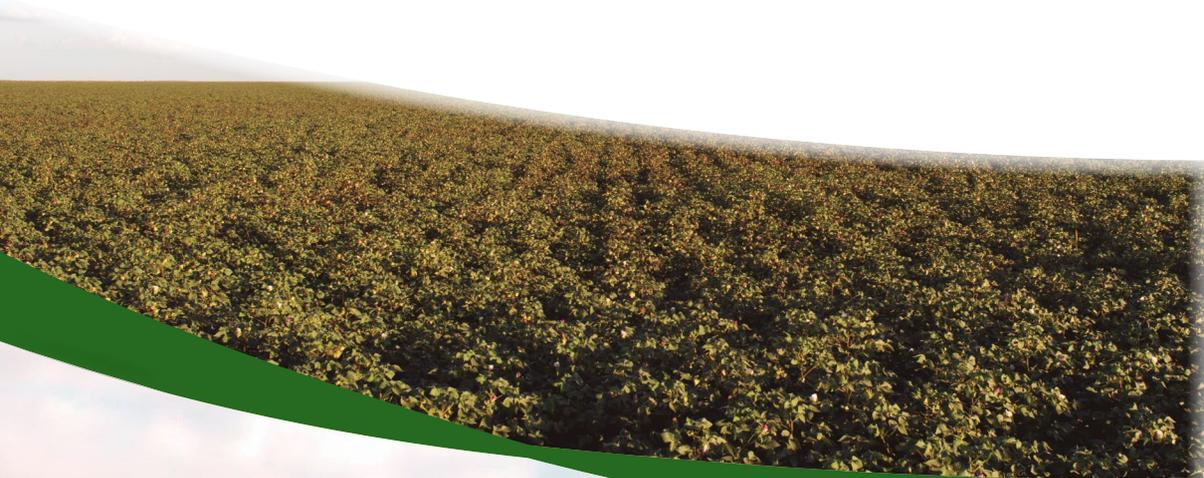


DESAFIOS DO CERRADO

Como sustentar a
expansão da produção
com **produtividade**
e **competitividade**







PRESIDÊNCIAS

GUSTAVO VIGANÓ PICCOLI

Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão
AMPA

ENDRIGO DALCIN

Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso
APROSOJA-MT

MAURÍCIO ANTÔNIO LOPES

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRAPA

DESAFIOS DO CERRADO

Como sustentar a expansão da produção
com produtividade e competitividade



Apoio financeiro



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão (AMPA), Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso (APROSOJA-MT), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Desafios do cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade - Cuiabá: Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão, 2016.

ISBN: 978-85-66457-11-7

1. Agricultura 2. Cerrado 3. Produtividade. 1. Título.

CDD-630

Índice para catálogo sistemático:

1. Agricultura

| 2016 |

Todos os direitos desta edição reservados à
AMPA - ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO
Rua Engº Edgard Prado Arze, 1777. Ed. Cloves Vettorato - 2º andar
Quadra 03 - Setor A. Centro Político Administrativo
CEP: 78049-015. Cuiabá - Mato Grosso - Brasil
+55 (65) 3925-1800 | ampa@ampa.com.br

Projeto gráfico: Editora Casa da Árvore
Impressão: Midiograf
Fotos da capa: IMAmt (algodão), João Pedro Coelho (soja)

Todas as informações, depoimentos e opiniões contidas neste livro são de inteira responsabilidade dos autores que contribuíram para sua elaboração.

PREFÁCIO

O DESENVOLVIMENTO DO SETOR AGRÍCOLA brasileiro constitui, desde meados dos anos 1970, um sucesso reconhecido no Brasil e no mundo. Em um curto intervalo de 20 anos, o Brasil quintuplicou suas exportações de alimentos e — mais importante — passou da condição de importador à de maior exportador líquido (exportações menos importações). Associada a essa evolução extraordinária destaca-se a transformação de regiões de baixa atividade e baixa produtividade em um sistema produtivo de alto desempenho, fenômeno fruto de políticas públicas bem desenhadas que souberam promover o espírito empreendedor e a capacidade empresarial dos agricultores experientes que o mundo rural vem produzindo há muitas décadas.

A pesquisa agrícola e o crédito rural, peças centrais da política agrícola, ao lado de fatores menos conhecidos, como a Lei de Proteção de Cultivares, estão entre os fatores que ajudaram a tornar possível o crescimento notável da produção — e da produtividade — construído pelos agricultores em suas labutas diárias, de sol a sol, contra todas as adversidades. E não foram poucos os obstáculos que os agricultores enfrentaram ao longo desse período, a começar pelas carências sufocantes de infraestrutura — estradas, armazéns, ferrovias, hidrovias, portos — que consumiram “fora da porteira” boa parte dos resultados produzidos “porteira adentro”. Os gargalos mais angustiantes de infraestrutura vêm sendo enfrentados com investimentos públicos e privados que estão, paulatinamente, reduzindo a magnitude dos ônus impostos aos agricultores por meio dessa verdadeira punição sobre a produção e sobre seus resultados econômicos e financeiros. Muito já foi feito e muito ainda está por fazer, mas a agenda é bem conhecida por todos.

Todos os agricultores sabem que o sucesso do passado não garante o presente e muito menos o futuro. É da natureza da agricultura colocar desafios ligados à produção e às tecnologias, ao sistema agrícola, aos grandes problemas de natureza biótica e abiótica, que só podem

ser enfrentados de modo adequado e com efetividade quando há o envolvimento solidário dos diversos atores da pesquisa agrícola e responsabilidades compartilhadas.

Esta construção coletiva vai além dos limites de cada uma das esferas de governo; possui uma amplitude institucional nova e reúne necessariamente instituições e empresas com diferentes estatutos e naturezas jurídicas. Ela extrapola os limites territoriais da atuação tradicional. A tarefa que se avizinha envolve a construção de uma nova cadeia de desenvolvimento de tecnologia e de inovações. Os produtores de conhecimento científico, as instituições dedicadas à pesquisa agrícola e as empresas envolvidas no mundo agrícola (sejam produtoras de insumos e equipamentos ou provedoras de serviços) têm novas responsabilidades para a constituição dessa nova modalidade de organização e uma agenda de pesquisa agrícola para o enfrentamento dos desafios que despontam no horizonte e ameaçam a competitividade agrícola conquistada tão duramente.

Tendo sido produzido um primeiro consenso entre os pesquisadores das principais instituições ligadas à agricultura brasileira e ao Cerrado, este livro representa um passo singular, mas coerente, para esse compromisso.

SUMÁRIO

11 **Capítulo 1**

Agricultura mundial: evolução, avanços e novos desafios

Marisa Prado Gomes [Embrapa]

Roberta Dalla Porta Gründling [Embrapa]

Elísio Contini [Embrapa]

Pedro Abel Vieira Júnior [Embrapa]

45 **Capítulo 2**

Importância do processo de prospecção tecnológica: construção de uma plataforma de pesquisa multi-institucional

João Eduardo de Moraes Pinto Furtado [Elabora Consultoria]

Pedro Abel Vieira Júnior [Embrapa]

Priscila Socoloski [Elabora Consultoria]

77 **Capítulo 3**

Riscos e oportunidades: o bicudo-do-algodoeiro

Jean-Louis Bélot [IMAm]

Eduardo Moreira Barros [IMAm]

José Ednilson Miranda [Embrapa Algodão]

119 **Capítulo 4**

Riscos e oportunidades: ferrugem da soja

Cláudia V. Godoy [Embrapa Soja]

Francismar C. Marcelino-Guimarães [Embrapa Soja]

149 **Capítulo 5**

Riscos e oportunidades: lagartas Heliothinae

Rafael Major Pitta [Embrapa Agrossilvipastoril]

Jacob Crosariol Netto [IMAm]

189 **Capítulo 6**

Riscos e oportunidades: nematoides

Rafael Galbieri [IMAm]

João Flávio Veloso Silva [Embrapa Agrossilvipastoril]

Carlos Manoel P. Vaz [Embrapa Instrumentação]

215 **Capítulo 7**

Melhoramento clássico e biotecnologia visando à superação de desafios

Sebastião Pedro da Silva Neto [Embrapa Cerrados]

André Ferreira Pereira [Embrapa Cerrados]

Camilo de Lelis Morello [Embrapa Algodão]

Nelson Dias Suassuna [Embrapa Algodão]

253 **Capítulo 8**

Elementos para construir uma agenda de pesquisa que assegure sustentabilidade à expansão agrícola do Cerrado brasileiro

João Eduardo de Moraes Pinto Furtado [Elabora Consultoria]

Priscila Socoloski [Elabora Consultoria]

Guilherme Vaz França Reis [Elabora Consultoria]

281 **Anexo 1.**

Lista de instituições participantes



Capítulo 1

AGRICULTURA MUNDIAL: EVOLUÇÃO, AVANÇOS E NOVOS DESAFIOS

Marisa Prado Gomes

marisa.prado@embrapa.br

Embrapa

Roberta Dalla Porta Gründling

roberta.grundling@embrapa.br

Embrapa

Elísio Contini

elisio.contini@embrapa.br

Embrapa

Pedro Abel Vieira Júnior

pedroabelvieira@gmail.com

Embrapa

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola mundial vem sendo marcado por desafios cada vez mais complexos, que envolvem esforços mais abrangentes e integrados para uma solução mais eficiente das questões atuais. Vários trabalhos já evidenciam essa nuance em seus títulos¹ (Foley *et al.*, 2011; Lambin & Meyfroidt, 2011; Tester & Langridge, 2010; Tilman *et al.*, 2011).

A agricultura passou por várias fases, atingindo no presente uma eficiência sem precedentes graças, entre outros fatores, ao emprego

[1] Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World (Tester & Langridge, 2010); Global food demand and the sustainable intensification of agriculture (Tilman *et al.*, 2011); Solutions for a cultivated planet (Foley *et al.*, 2011); Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity (Lambin & Meyfroidt, 2011).

dos avanços científicos e tecnológicos. Nesse cenário merece destaque a agricultura tropical, em especial a agricultura brasileira, na região do Cerrado, conforme mostrou a reconhecida revista *The Economist*: “O Brasil revolucionou suas próprias fazendas. Será que ele consegue fazer o mesmo por outros?”. Essa questão publicada em *The Economist* (2010) ilustra as expectativas em relação ao Brasil e a sua posição no contexto mundial.

Em menos de 40 anos, o Brasil passou de importador de alimentos para um dos importantes celeiros do mundo. É o primeiro país a alcançar os tradicionais grandes exportadores de grãos: Estados Unidos, Canadá, Austrália, Argentina e União Europeia. É também o primeiro gigante tropical de alimentos; sendo os outros principais países produtores de clima temperado (FAO, 2015; OECD, 2016). Projeções do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) indicam que a soja brasileira deverá ter, em 2023/2024, uma participação de 43,0% nas exportações mundiais, e a carne bovina, uma participação de 28,9%, e a carne de frango, de 48,9%. O país também deverá manter a liderança no comércio mundial em café e açúcar. Foi a tecnologia o fator-chave que possibilitou ao Brasil obter esse destaque na produção agrícola mundial (Alves & Contini, 2014). Recentemente, Alves *et al.* (2013) demonstraram, com base nos dados do último censo agropecuário brasileiro (2006), que 68% do crescimento na produção deveu-se ao emprego de tecnologia na agricultura.

O Governo brasileiro também vem investindo na intensificação sustentável da produção, bem como, em orientar o uso sustentável dos recursos naturais por meio, por exemplo, de zoneamentos agroecológicos e programas para redução e controle de desmatamentos. Merecem destaque no cenário nacional o programa de Agricultura de Baixo Carbono — Programa ABC (MAPA, 2010), do MAPA — que incentiva o uso de tecnologias sustentáveis de produção, tais como o plantio direto, o uso de controle biológico de pragas, a utilização da terra durante todo ano (safrinha), a rotação e combinação de culturas, pecuária e silvicultura (sistemas integrados) —, a Política Nacional de Biossegurança (Brasil, 2005); o novo Código Florestal (Brasil, 2012); e o Cadastro Ambiental Rural (Brasil, 2012).

Mundialmente, nas últimas décadas, muitos esforços vêm sendo articulados em torno do tema sustentabilidade, visando estabelecer uma relação equilibrada entre os componentes de produção, população e ambiente. Com os desafios crescentes da agricultura tropi-

cal, que envolvem desde a rápida evolução de doenças e pragas até metas mais amplas de segurança alimentar, o setor precisa de novas alternativas para sustentar o tripé produtividade, competitividade e sustentabilidade. Foley *et al.* (2011) apontaram soluções para este dilema, indicando que medidas como a redução da expansão agrícola, o preenchimento de lacunas de rendimento agrícola em terras de baixo desempenho (*closing 'yield gaps' on underperforming lands*), o aumento da eficiência produtiva, a mudança nas dietas alimentares e a redução de desperdício, podem duplicar a produção alimentar, reduzindo significativamente os impactos ambientais da agricultura.

Com esse mesmo propósito, várias questões vêm sendo tratadas com intuito de superar desafios para atender à crescente demanda mundial por alimentos por meio da intensificação sustentável da agricultura, tais como aumento da população (Foley, 2011), a pressão sobre os recursos naturais, mudança global de uso da terra (Lambin & Meyfroidt, 2011), a antecipação de como mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade futura de alimentos (Lal, 2004; Lobell *et al.*, 2011; Maunder, 1968; Nemani *et al.*, 2003), a resistência a pesticidas, as novas pestes e invasores (Mack *et al.*, 2000), a acidificação do solo (Guo *et al.*, 2010), a redução de resíduos (Kolpin *et al.*, 2002; Laura & Idnani, 1971; Mohan & Pittman Jr., 2007; Pittman *et al.*, 2011), biodiversidade (Gibson *et al.*, 2011), segurança hídrica (Oller *et al.*, 2011), os serviços ambientais (Lambin & Meyfroidt, 2011), as tecnologias de adaptação e melhoramento (Tester & Langridge, 2010), entre outros.

No entanto, frente à nova ordem global de demanda por produtos agropecuários, o desenvolvimento agrícola tem na atualidade novos desafios. O setor sofre uma nova pressão por um reposicionamento devido ao processo de intensa urbanização e alteração no comportamento do consumidor, mudanças no eixo de geração do PIB, mudança no ciclo das *commodities*, mudança climática global e novos conflitos geopolíticos (Tester & Langridge, 2010). Dessa forma, as mudanças, cada vez mais rápidas, e esses novos desafios, tornam a meta da sustentabilidade cada vez mais difícil de ser alcançada, envolvendo desafios de elevada complexidade. A Associação dos Nutrólogos da Austrália (Dietitians Association of Australia, 2016), bem como FAO *et al.* (2015) apontam que há um novo paradigma para atender os objetivos da sustentabilidade, bem como, para enfrentar a insegurança alimentar (*food insecurity*).

Essa complexidade pode ser percebida nos tópicos propostos para discussão de trabalhos de pesquisa, em eventos científicos con-

solidados, realizados em 2016, tais como *Big Data, Responsible innovation and sustainable entrepreneurship in chains and networks, The role of social networks in sustainable business, Innovative and sustainable food logistics, Climate smart agriculture, Responsible innovation in chains and networks, Multi-disciplinary approaches now and in the future, Multi-stakeholder organizations and wicked problems* (Ifama & Wicanem, 2016). Os temas apontam para as novas tendências e desafios, como as questões de logística e o papel das redes, bem como para a importância de esforços integrados para lidar com as novas demandas e as ameaças do setor.

Esse capítulo apresenta um retrato da evolução dos desafios agrícolas mundiais e de seu enfrentamento pela pesquisa. Para tanto, foi elaborada uma visão global de tais desafios, com base em temas de pesquisa relativos a tecnologia, uso da terra e produção, ilustrando sucessivamente as mudanças ocorridas da década de 1960 à atualidade. A perspectiva global do cenário agrícola mundial pode contribuir para ampliar a visão existente sobre a agricultura brasileira, no sentido de contextualizar e posicionar o Brasil em termos de suas fragilidades, avanços e novos desafios, no âmbito do cenário mundial. Da mesma forma, possibilita apontar elementos norteadores comuns para integrar estratégias com outros países.

2. MÉTODO

Com o objetivo de apresentar um panorama da evolução da agricultura em termos de tecnologia, produção e uso da terra, da década de 1960 à atualidade, a abordagem deste trabalho foi fundamentada nos avanços científicos identificados nos 25 artigos mais citados em cada década. A base de dados científica definida foi a *Web of Science*, que possui um mecanismo de busca de citações robusto e abrangente, vinculado a múltiplos bancos de dados, o que possibilita obter referências para pesquisas interdisciplinares, bem como buscas mais especializadas dentro de cada campo de investigação.

As buscas foram realizadas por década, 1960-1969; 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; 2000-2009; 2010-atual, a partir dos seguintes termos-chave: *agric**, *technolog**, *agric* land use*, *agric* production*. As palavras-chave foram selecionadas por representarem fatores determinantes da produção agrícola, como a geração e o uso de tecnologias e da terra e sua interface com apropriação dos recursos naturais (Martha Jr.

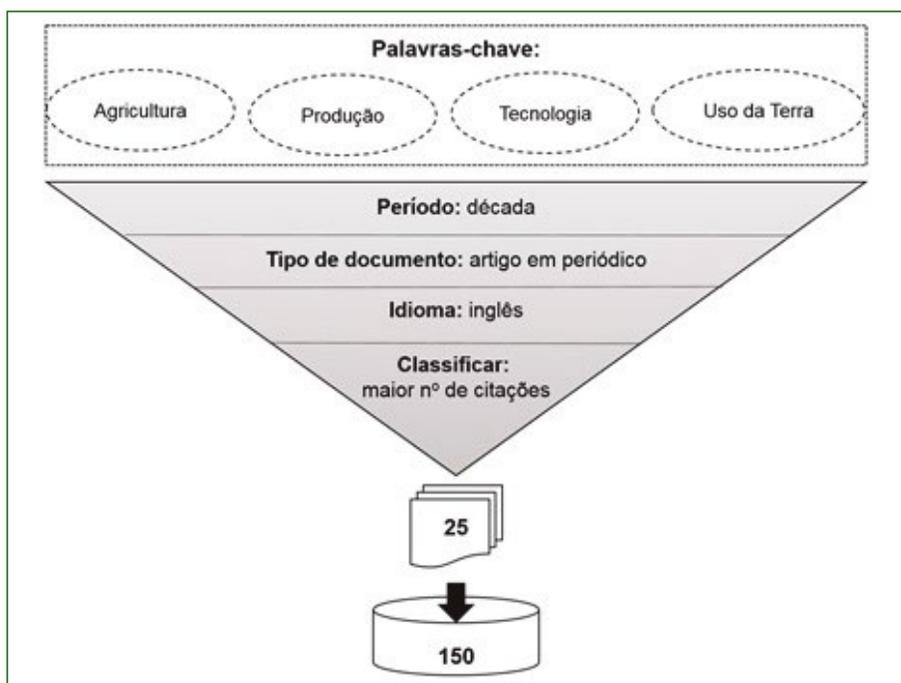


FIGURA 1. Procedimento de seleção dos artigos na base de dados *Web of Science*.

et al., 2010). Foram selecionados para compor a análise os 25 trabalhos de maior impacto (número de citações) a partir dos seguintes filtros: 1) tipo de documento: artigo completo publicado em periódico; 2) idioma: inglês; 3) número de citações: maior para o menor. Dessa forma, realizou-se a análise de um total de 150 trabalhos científicos (*Figura 1*).

A análise da amostra de trabalhos referente a cada década (25 artigos) foi feita por meio de quadro analítico estruturado em categorias a partir das palavras-chave do estudo: uso da terra, produção e tecnologia (*Figura 1*). Por meio da leitura panorâmica dos artigos, que permite obter uma ideia geral e reconhecer no texto qual é seu tema e como se desenvolve, foram identificados os principais termos e tópicos que permearam cada década. Por exemplo, na década de 1960, na categoria “uso da Terra”, apareceram termos associados diretamente às palavras “terra” (*land*) e “uso da terra” (*land use*), tais como: *land policy*, *land-use patterns*, *land use changes*, *land use conservation*, *land use stabilization*, *regional land resources*, *disorderly land use conversions*; assim como, termos relacionados ao tema “uso da terra”: *producing regions*, *agricultural areas*, *agricultural migration*, *agricultural production distri-*

bution. Nessa mesma linha, foram identificados os principais tópicos, ou questões de cada período, focando mais na leitura dos objetivos e contribuições de cada trabalho.

Esses termos e tópicos sinalizam as principais temáticas abordadas em cada década, contextualizando as mudanças ocorridas, de modo que alguns mantêm-se nos períodos sucessivos analisados, outros desaparecem e novos surgem. Alguns termos relevantes e de caráter transversal, não pertinentes às três categorias principais, foram inseridos em uma categoria denominada de “termos transversais”. Da mesma forma, termos que marcaram as transições entre as décadas, sinalizando elementos norteadores do próximo período, foram incluídos em uma categoria denominada de “termos de transição”. Para cada categoria principal (uso da terra, tecnologia e produção), foi eleito o termo mais representativo, com base no consenso dos autores, resultando em três termos-chave para cada década, que nortearam a definição de um nome para designar cada década.

Com base no exposto, foram elaborados seis quadros analíticos estruturados a partir das categorias descritas, adicionados de um item de contextualização e contendo eventos de relevância na década, bem como um item “resumo” apresentando um breve relato acerca da década. A partir do material sistematizado nos seis quadros analíticos, estruturou-se uma linha do tempo por meio dos tópicos e marcos relevantes, para indicar avanços, fragilidades e vulnerabilidades, bem como os novos desafios de cada período. Para melhor consubstanciar a década atual, além da pesquisa na base de artigos, também foram utilizadas informações provenientes de eventos e matérias atuais.

3. RESULTADOS

O *Quadro 1* apresenta uma análise dos trabalhos considerados, com foco nos periódicos. Na década de 1960, com base nos requisitos apresentados no método, foi identificado o universo de 81 publicações, do qual foram selecionados 25 artigos, distribuídos em 14 periódicos. Para essa década, a temática principal dos periódicos foi economia agrícola, abrangendo também temas como tecnologia, experimentação agrícola e clima. No período de 1970-1979, o universo de publicações aumentou para 263, e a amostra de 25 artigos selecionados estava distribuída em 18 periódicos, com tema principal em economia agrícola e pesquisa agrícola para novas tecnologias. A década de 1980

apresentou um universo de 478 publicações, sendo que as 25 publicações mais citadas estavam distribuídas em 18 periódicos com enfoque em economia agrícola e gestão ambiental e da qualidade.

No período de 1990, houve um aumento considerável no número de publicações levantadas; o universo de análise foi de 14.211 trabalhos, sendo que os 25 selecionados distribuíram-se em 16 periódicos com enfoque de pesquisa de caráter multidisciplinar e tendo como ênfase a visão sistêmica. A década de 2000 teve um universo de aproximadamente oito vezes maior de publicações em relação ao período anterior. A amostra de trabalhos, distribuída em 17 periódicos, teve como tema central a Ciência Ambiental e Tecnologia, mantendo também um enfoque no caráter multidisciplinar e na visão sistêmica de análise. A década atual, considerada como o período de 2010-2015, já soma um total de 101.316 publicações para compor o universo, quase o equivalente ao total de publicações da década anterior, com os 25 trabalhos selecionados em 13 veículos, com foco principal em estudos ambientais, biotecnologia e geociências.

A variação do número de periódicos publicados a cada década, com base nas quatro palavras-chave utilizadas, mostra um aumento considerável dos esforços de pesquisa, notadamente nas décadas de 1990 e 2000. Da mesma forma, é notório que nessas mesmas décadas, os estudos assumiram um caráter multidisciplinar.

3.1 LINHA DO TEMPO: 1960 A 2000

A década de 1960 foi denominada nesse trabalho de Década da Modernização da Produção. Esse decênio foi marcado pelo rápido desenvolvimento da agricultura, promovido pela introdução de tecnologia no sistema tradicional de produção.

Ruttan (1960) apontou que a principal questão em termos de política agrícola era como aumentar a taxa de crescimento do produto agrícola. O aumento na disponibilidade de alimentos e fibras era limitado pela disponibilidade de insumos e pela oferta de terra. Por isso, os esforços de pesquisa concentraram-se prioritariamente no desenvolvimento de novas tecnologias para aumento de produção e produtividade, tais como novas variedades de grãos de alto rendimento, sistemas de produção em monocultura, uso de tratores, fertilizantes, sistemas de irrigação e defensivos agrícolas (*Figura 2*).

Nesse contexto, surgiram muitos trabalhos com o objetivo de es-

QUADRO 1. Universo dos trabalhos analisados, com foco nos veículos de publicação.

Década	Variação			Foco principal dos periódicos	Abrangência das áreas temáticas nos periódicos
	Universo de publicações	Núm. de Periódicos	Núm. de Periódicos		
1960-1969	81	ND	14	Economia Agrícola	Tecnologia, experimentação agrícola e clima
1970-1979	263	224,7	18	Economia Agrícola e pesquisa agrícola para novas tecnologias	Microbiologia, Biotecnologia, Ciência do Solo, Saúde Animal, Biociências, Ciências da Água, do Solo e da Poluição
1980-1989	478	81,7	18	Economia Agrícola e gestão ambiental e da qualidade	Poluição Ambiental, Ecologia da Paisagem, Gerenciamento do Uso da Água, Agro-ecossistemas, Fisiologia das plantas, Águas subterrâneas, Sensoriamento Remoto, Geofísica, Sociologia Rural
1990-1999	14.211	2.873,0	16	Esforços de pesquisa de caráter multidisciplinar e com visão sistêmica de análise	Poluição Ambiental, Pesquisa geofísica, aplicações ecológicas, recursos aquáticos, qualidade ambiental, ciclos geoquímicos globais, ciclo dos nutrientes, agroecossistemas, ecossistemas agrícolas, ecossistemas agrícolas, biologia da reprodução, biologia do solo e bioquímica, ecologia da restauração
2000-2009	110.353	676,5	17	Ciência Ambiental e Tecnológica mantendo os esforços de pesquisa de caráter multidisciplinar e com visão sistêmica de análise	Aplicações ecológicas, nutrição clínica, microbiologia ambiental, sensoriamento remoto, botânica experimental, ciências biológicas
2010-2015	101.316	83,6	13	Multifocal	Contaminantes em resíduos de águas (farmacêuticos e hormônios), bio-disponibilidade (polifenóis), emissões de gases de efeito estufa, biocombustíveis, sequestro de carbono, mudança climática global, segurança alimentar, geociências, efeitos biológicos, práticas de produção intensiva, polinizadores, custos econômicos, energéticos e ambientais, qualidade e disponibilidade de água, mapeamento do uso e cobertura da terra

QUADRO 2. Quadro síntese dos quadros analíticos por década (1960 – 2000). (continua)					
Nome	1960	1970	1980	1990	2000
	DÉCADA DA MODERNIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO USO DA TERRA	DÉCADA GLOBAL	DÉCADA DA SUSTENTABILIDADE
Contexto	<p>Processo de industrialização</p> <ul style="list-style-type: none"> - Migração campo – cidade - Revolução Verde - Reforma agrária – Lei nº 4.504, de 30/11/1964 - Política de crédito rural, nº 4.829, de 5/11/1965 	<ul style="list-style-type: none"> - 1970 - Transgenia partir do desenvolvimento da técnica do DNA recombinante - 1972 - Agricultura orgânica - 1972 - Introdução do Sistema de Plantio Direto (SPD) no Brasil - 1973 - I Crise do petróleo - 1973 - Criação Embrapa - 1975 - PROALCOOL - 1979 - II Crise do Petróleo - Processo de industrialização - Migração campo-cidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidação da técnica 'Construção dos solos nos Cerrados' que possibilitou a produção agrícola em solos tropicais. - Avanço da pecuária na Amazônia. - Consolidação da produção de bioenergia a partir da cana de açúcar e de florestas plantadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intensificação da agricultura orgânica - Introdução da Agricultura de Precisão - Guia do IPCC sobre metodologia para inventário nacional de gases de efeito estufa - ECO-92 	<ul style="list-style-type: none"> - Intensificação produtiva sustentável a exemplo dos sistemas Integrados, do uso de micro-organismos, do plantio direto, da redução no desmatamento e etc. - Diversificação na produção de energia a partir da biomassa a exemplo da bioeletricidade - Consolidação da agricultura orgânica

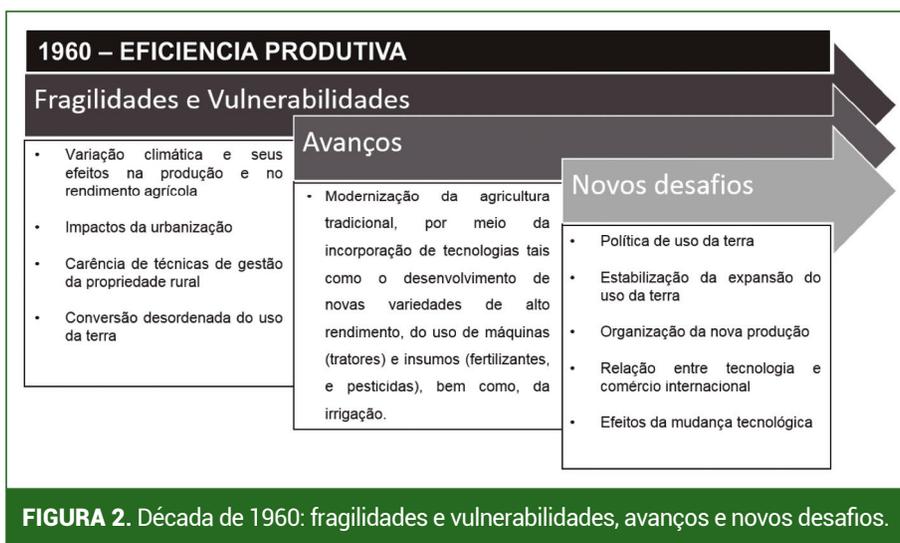
QUADRO 2. Quadro síntese dos quadros analíticos por década (1960 – 2000). (continua)					
	1960	1970	1980	1990	2000
Nome	DÉCADA DA MODERNIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO USO DA TERRA	DÉCADA GLOBAL	DÉCADA DA SUSTENTABILIDADE
Termos-chave	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência produtiva - Mudança tecnológica - Conversão do uso da terra 	<ul style="list-style-type: none"> - Crescimento da produção - Efeitos da mudança tecnológica - Conflitos de uso da terra - Recursos energéticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da terra - Tecnologias de conservação - Agroecossistemas - Bacia hidrográfica agrícola 	<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças globais - Intensificação da produção - Gestão da água - Biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Sustentabilidade - Segurança alimentar - Mudança climática global
Termos Transversais	<ul style="list-style-type: none"> - Relação clima e produção - Comércio agrícola internacional - Dotação de recursos 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos interdisciplinares - Extensão agrícola - Efeito estufa - Resíduos agrícolas - Mão de obra migratória 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobreza rural - Reforma agrária - Economias de escala - Seguros 	<ul style="list-style-type: none"> - Integração - Papel ecológico 	<ul style="list-style-type: none"> - Previsão - Perspectiva global - Perspectiva da paisagem - Biodisponibilidade

QUADRO 2. Quadro síntese dos quadros analíticos por década (1960 – 2000). (continua)

	1960	1970	1980	1990	2000
Nome	DÉCADA DA MODERNIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO USO DA TERRA	DÉCADA GLOBAL	DÉCADA DA SUSTENTABILIDADE
Principais tópicos	<ul style="list-style-type: none"> - Acelerar a taxa de crescimento da produção - Modernização da agricultura - Variação climática e seus efeitos na produção e o rendimento agrícola e renda - Distribuição eficiente da produção - Custos da alimentação 	<ul style="list-style-type: none"> - O acelerado crescimento da produção - Impactos das novas tecnologias - Mudança na distribuição da renda - Disponibilidade e custos da energia - Estudos de fertilidade do solo 	<ul style="list-style-type: none"> - Efeitos do uso da terra agrícola - Padrões de uso e cobertura da terra - Planejamento e gestão de bacias hidrográficas - Estratégias alternativas de irrigação - Padrões de alocação de recursos - Modelos para descrever a agricultura 	<ul style="list-style-type: none"> - Consequências ambientais globais e regionais do uso da terra agrícola - Mudanças históricas globais espacialmente explícitas - Efeitos Off site - Estudos globais de carbono - Melhorar eficiência de uso de nitrogênio - Gestão da qualidade e disponibilidade de água - Aumento do uso de fertilizantes químicos na agricultura - Práticas de base ecológica - Estratégias para mitigação de impactos, tais como seca, temperatura, salinidade, poluição do ar 	<ul style="list-style-type: none"> - Sustentabilidade - Segurança alimentar - Controle de pragas - Estresses ambientais - Previsão de mudanças ambientais globais - Gestão dos serviços ambientais - Biocombustíveis - Sequestro de carbono no solo - Custos energéticos - Conservação da água - Classificação do uso da terra global

QUADRO 2. Quadro síntese dos quadros analíticos por década (1960 – 2000). (continuação)

	1960	1970	1980	1990	2000
Nome	DÉCADA DA MODERNIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO	DÉCADA DO USO DA TERRA	DÉCADA GLOBAL	DÉCADA DA SUSTENTABILIDADE
Principais Tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de monocultura - Variedades de alto rendimento - Tratores - Fertilizantes - Irrigação - Pesticidas 	<ul style="list-style-type: none"> - Rotação de culturas - Sistemas Integrados de lavoura e pecuária - Fertilização nitrogenada e fosfatada - Nitrificação - Uso de calcário - Biotecnologia: biogás - Alelopatia 	<ul style="list-style-type: none"> - Variedades de alto rendimento - Práticas e tecnologias conservacionistas: plantio direto, agroecossistemas - Agricultura irrigada - Modelos: para previsão de secas, otimização da irrigação - Ciclagem de nutrientes - Controle biológicos de ervas daninhas, pestes e doenças - Sistemas multiprodutos - Utilização de imagens de satélite para o monitoramento agrícola - Seca - Salinização 	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclagem de água - Modelagem hidrológica - Modelos climáticos - Modelos globais de mudança de uso e cobertura da terra - Modelos globais de carbono - Restauração ecológica - SIG e Sensoriamento Remoto - Fixação biológica de nitrogênio - Análise de DNA - Clones - Rizóbios - Uso de fósforo na agricultura - Transferência nuclear 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias de mapeamento e monitoramento - Sequenciamento do genoma - Análise do ciclo de vida - Biodiesel e etanol - Biodiesel a partir de resíduos - Etanol celulósico - Polifenóis - Biossintéticos - Polinizadores - OGM – organismos geneticamente modificados - Práticas agroflorestais - Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MODIS, sigla inglês) - Radiômetro de Alta Resolução Avançada (AVHRR, sigla inglês)

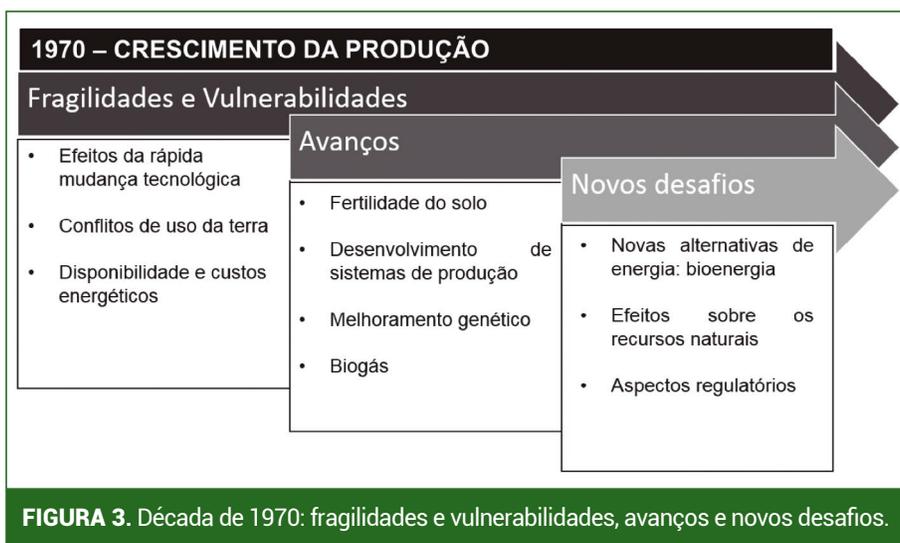


timar funções de produção da agricultura para mensurar o nível de eficiência que estava sendo alcançado (Griliches, 1963; 1964). Como também, o desenvolvimento de modelos para representar a agricultura, com foco em otimização da produção (Schaller, 1968); e de estudos acerca das mudanças tecnológicas na agricultura, com foco no aumento de produtividade (Rasmussen, 1962; Mann *et al.*, 1968). No que se refere ao uso da terra, essa década foi marcada pela intensa conversão de terra para a agricultura. Nessa temática, os estudos tiveram foco na distribuição da produção e seus padrões regionais (Heady & Egbert, 1964; Manshard, 1961; Saloutos, 1962), bem como nos processos migratórios (Manshard, 1961). Já havia conhecimento e preocupação acerca das condições edafoclimáticas como elemento essencial para a adoção de um sistema de produção (Huxley, 1965; Maunder, 1968).

Dentre alguns tópicos que também surgiram nessa década, estão os estudos abordando o comércio agrícola internacional (Malmgren & Schlecht, 1969), dotação de recursos (Hayami, 1969), implicações de políticas e preços. O final da década de 1960 foi marcado por estudos com o intuito de avaliar efeitos da modernização da agricultura (Mann *et al.*, 1968; Mellor, 1969), incluindo trabalhos sobre a estabilização do uso da terra, bem como sobre a nova organização da produção em seus aspectos econômicos e da relação da tecnologia no comércio internacional agrícola. Surgiram modelos para indicar alternativas de uso de recursos na produção agrícola, sob diferentes cenários de preços, custos, tecnologias e programas governamentais (Schaller, 1968) (*Figura 2*).

A década de 1970 foi denominada nesse trabalho de **Década do Crescimento da Produção**, por ter sido marcada por um acelerado aumento da produção agrícola decorrente do impulso tecnológico iniciado na década de 1960 (Knutson & Tweeten, 1979; Mellor, 1973). Esse crescimento é explicado pelos avanços advindos da melhoria da qualidade dos solos por meio dos estudos em fertilidade (Smith, 1976) e ao melhoramento genético visando adaptar plantas e animais. Os estudos comparativos sobre a maximização de lucro da produção agrícola e a maximização da utilidade do consumidor, iniciados na década de 1960, bem como análises dos efeitos nos preços de mercado advindos da mudança tecnológica no setor agrícola também tiveram continuidade (Hayami & Herdt, 1977; Hayami & Ruttan, 1973; Lin *et al.*, 1974). Em termos de agricultura tropical, no Brasil, a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1972, contribuiu para o estabelecimento de um novo modelo cuja base tecnológica era o uso de calcário para correção de solo, seguido do uso intensivo dos fertilizantes, de sementes selecionadas (mais tarde conhecidas como sementes genéticas, registradas, certificadas e fiscalizadas), uso de agroquímicos para controle de plantas daninhas, pragas e doenças (respectivamente, herbicidas, inseticidas e fungicidas). A Embrapa foi essencial para o desenvolvimento de todo o arcabouço tecnológico que sustentou o novo modelo de produção agropecuária do Brasil (*Figura 3*).

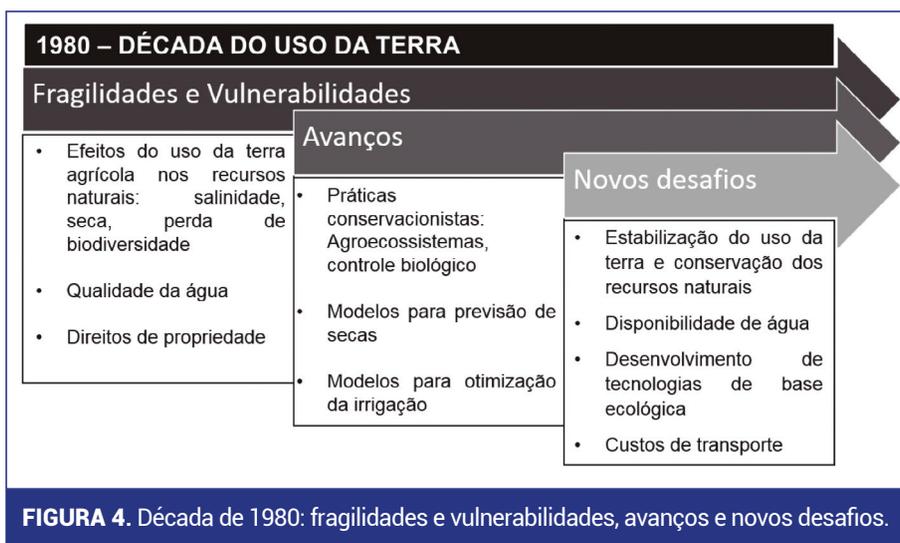
Tiveram início esforços de pesquisa para explicar os efeitos do crescimento da produção agrícola na qualidade da água (Arce & Boyd, 1975; Greene *et al.*, 1975; Jacobs & Timmons, 1974), na disponibilidade de recursos energéticos e seus custos associados (Adams *et al.*, 1977; Heichel, 1976; Spedding & Walsingham, 1976), nas políticas regionais (Berry & Plaut, 1978), bem como em questões relacionadas aos conflitos de uso da terra advindos da expansão da agricultura (Vanvliet *et al.*, 1976). O final da década foi marcado por estudos buscando contextualizar os avanços tecnológicos no âmbito de um ambiente regulatório e seus efeitos em termos de economia política (Knutson & Tweeten, 1979; Wittwer, 1979). Nesse período, destacaram-se como meios de publicação periódicos nos temas de pesquisa aplicada em tecnologias relacionadas à biotecnologia, saúde animal, bem como em tópicos relacionados à agricultura e economia agrícola (*Figura 3*).



A década de 1980 denominada nesse trabalho de **Década do Uso da Terra** foi um período no qual os esforços de pesquisa se concentraram, prioritariamente, nos estudos relacionados ao uso da terra agrícola no que se refere aos seus padrões de uso e cobertura (Townshend, 1984; Osborne & Wiley, 1988; Turner & Ruscher, 1988) e à estrutura e organização da produção (Antle, 1984; Lopez, 1980). Também merecem destaque nessa década estudos relacionados ao desenvolvimento de tecnologias de base ecológica voltadas para conservação (*conservation technologies*) (Nowak, 1987) e para o desenvolvimento dos agroecossistemas (*agro-ecosystems*) (Gliessman *et al.*, 1981), no sentido de lidar com os já notados efeitos do uso agrícola da terra sobre os recursos naturais, tais como a perda de biodiversidade (Dance & Hynes, 1980), problemas relacionados à qualidade da água (Osborne & Wiley, 1988; Pionke & Urban, 1985), à salinidade e à seca (McWilliam, 1986) (*Figura 4*).

O final da década de 1980 é marcado por esforços buscando atender e contornar demandas advindas dos efeitos da rápida expansão do uso da terra, buscando estabilizar o uso e promover a conservação dos recursos naturais. A questão da disponibilidade hídrica (Bruins *et al.*, 1986; Rao *et al.*, 1988) e do desenvolvimento de tecnologias de base ecológica (Gliessman *et al.*, 1981; Nowak, 1987) marcam a transição para a década de 1990 (*Figura 4*).

A **década de 1990** foi dedicada prioritariamente a estudos acerca das consequências ambientais globais do uso da terra agrícola, portanto denominada nesse trabalho de **Década das Mudanças Globais**. Em re-



lação ao uso da terra, termos tais como *global changes*, *global land cover*, *global distribution*, *global representation* (Fung *et al.*, 1991; Herman *et al.*, 1997; Mosier *et al.*, 1998; Ramankutty & Foley, 1999) foram recorrentes nos trabalhos, acompanhados também de uma preocupação quanto aos aspectos de histórico de uso (Harding *et al.*, 1988; Herman *et al.*, 1997). Duas temáticas exploradas com maior intensidade nessa década foram relacionadas à oferta e qualidade da água (Carpenter *et al.*, 1998; Sharpley *et al.*, 1994) e à biodiversidade (Altieri, 1999) (Figura 5).

Quanto à produção, os esforços de pesquisa concentraram-se nos estudos relacionados ao desenvolvimento de tecnologias para a intensificação do uso agrícola da terra visando o aumento de produtividade (Raun & Johnson, 1999), já com uma preocupação com os aspectos ecológicos. No quesito tecnologia, merecem destaque as frentes de pesquisa relacionadas ao uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e fosfatos (Carpenter *et al.*, 1998; Raun & Johnson, 1999; Sharpley *et al.*, 1994); os esforços em microbiologia de solos (Bandick & Dick, 1999; Freiberg *et al.*, 1997); a genética molecular, com os estudos em DNA, clones e transferência nuclear (Wells *et al.*, 1999) e os métodos para estimar carbono (Houghton *et al.*, 1999; Wofsy *et al.*, 1993). Em geral, esses esforços de pesquisa já possuíam uma visão mais integrada de análise, de caráter sistêmico e com foco na unidade de análise bacia hidrográfica (Figura 5).

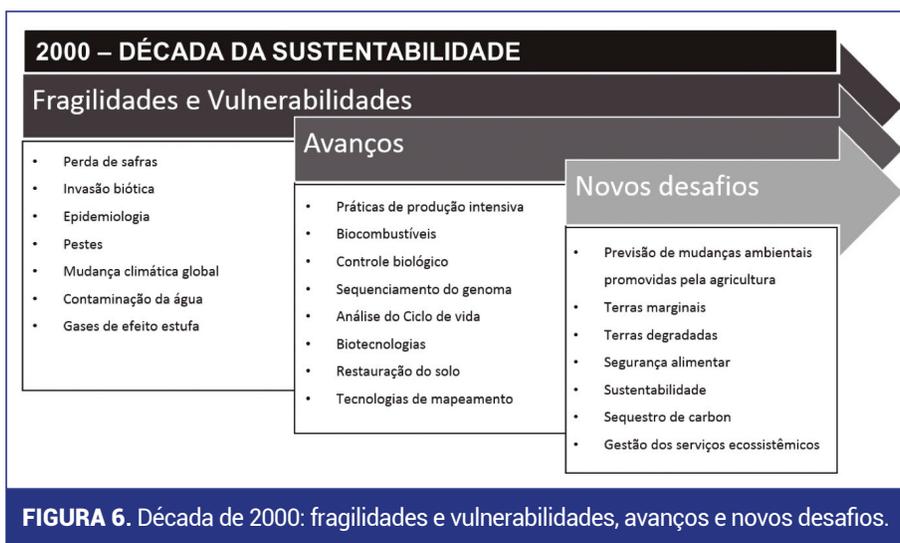
A transição de 1990 para 2000 é marcada por trabalhos considerando biodiversidade, restauração ecológica (Hobbs & Norton, 1996) e uso renovável da água (Postel *et al.*, 1996), sinalizando a preocupação



com o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o uso sustentável dos recursos naturais, bem como para sua recuperação. Estudos baseados em modelos climáticos globais e modelos de ecossistemas globais para a compreensão dos impactos das mudanças na cobertura da terra sobre o clima e sobre o ciclo do carbono e da água começaram a ser utilizados nas pesquisas (Arnold *et al.*, 1998). No final da década de 1990, tais pesquisas eram entendidas como cruciais para o enfoque objetivo acerca das possibilidades em termos de cenários futuros sustentáveis (Altieri, 1999; Matson *et al.*, 1997) (*Figura 5*).

O tema central da década de 2000 foi Sustentabilidade. A maioria dos estudos teve como objetivo buscar alternativas para atingir o equilíbrio entre produção e os demais aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais que convergem para o alcance da sustentabilidade (Searchinger *et al.*, 2008; Tilman *et al.*, 2002). Por um lado, reconhece-se a importância da pressão mundial por alimentos e energia a fim de satisfazer as necessidades de uma população crescente (Godfray *et al.*, 2010). Por outro lado, verifica-se também uma forte pressão para a manutenção de vários serviços do ecossistema, que suportam o bem-estar humano.

Em termos de uso da terra, mantém-se a preocupação com a visão global (Hansen *et al.*, 2000; Lal, 2004; Post & Kwon, 2000; Nemani *et al.*, 2003; Sarmah *et al.*, 2006; Tilman *et al.*, 2001), com enfoque também na perspectiva de análise da paisagem (Tscharrntke *et al.*, 2005). Merecem destaque os esforços no desenvolvimento de tecnologias para



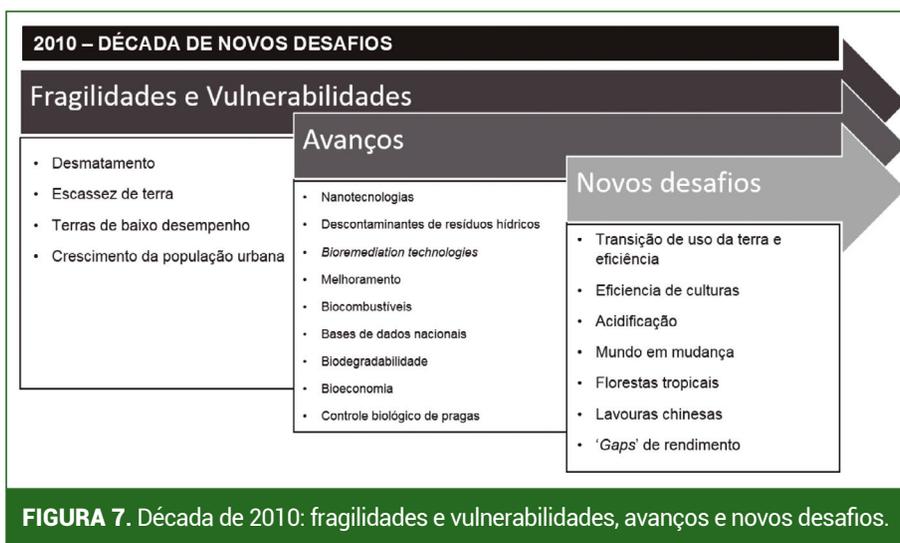
combater invasões bióticas, que podem resultar em consequências globais severas, incluindo perdas significativas de produção, florestas e recursos pesqueiros em algumas regiões, bem como a interrupção de processos ecológicos que fornecem serviços naturais dos quais o ser humano depende (Mack *et al.*, 2000) (Figura 6).

Desde o início de 2000, é notório que significativos avanços científicos, regulatórios, tecnológicos e mudanças em políticas são necessários para controlar os impactos ambientais decorrentes das últimas décadas (Tilman *et al.*, 2001). Novos incentivos e políticas para garantir a sustentabilidade da agricultura e dos serviços ecossistêmicos são cruciais, uma vez que o objetivo é atender o aumento no rendimento sem comprometer a integridade ambiental e a saúde pública (Tilman *et al.*, 2002).

3.2 A DÉCADA DE 2010 E OS NOVOS RUMOS

A década de 2010 mostra desafios cada vez mais complexos, que envolvem, além das múltiplas escalas espaciais e temporais, esforços mais abrangentes e integrados para uma solução mais eficiente dos temas atuais. As questões visando à superação de desafios para atender à crescente demanda mundial por alimentos pela intensificação sustentável da agricultura continuam vigentes, no entanto, mudanças estão cada vez mais rápidas, e novos desafios estão surgindo (Figura 7).

Por exemplo, os termos mais comuns relacionados ao uso da ter-



ra até a década de 2000 foram *land use conversion* e *land cover change*. Em 2010 aparecem diversos termos evidenciando outros aspectos de uso da terra nesse período, tais como: escassez de terra (*land scarcity*), transição de uso da terra (*land use transition*), zoneamento (*land use zoning*), expansão não controlada do uso da terra (*uncontrolled land use expansion*), eficiência do uso da terra (*land use efficiency*) (Lambin *et al.*, 2011), compartilhamento da terra (*land sharing*), desperdício de terra (*land sparing*) (Phalan *et al.*, 2011) e terras de baixo desempenho (*underperforming lands*) (Foley *et al.*, 2011). Destaque também aos ecossistemas florestais, por conta do papel das florestas no sequestro de carbono, na manutenção da biodiversidade, bem ao potencial econômico (Defries *et al.*, 2010; Gibbs *et al.*, 2010; Gibson *et al.*, 2011) (Figura 7 e Quadro 3).

3.3 TRAJETÓRIA AGRÍCOLA E NOVOS DESAFIOS

Qual a trajetória da agricultura frente aos novos desafios? Essa pode ser uma pergunta oportuna para concluir este trabalho; afinal, nota-se um mundo em transição para um novo ciclo ou momento, envolvendo questões mais complexas de como lidar com recursos escassos, necessidades crescentes e demandas mais exigentes. Os problemas globais da fome, da pobreza alimentar e da desnutrição são temas comuns dentro das metas de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (ONU) e das metas de desenvolvimento do Millenium

QUADRO 3. Quadro analítico da década 2010 (*continua*).

2010 - DÉCADA DE NOVOS DESAFIOS		
Uso da terra	Tecnologias	Produção
<ul style="list-style-type: none"> • Escassez de terra • Compartilhamento da terra • Desperdício de terra • Transição de uso da terra • Zoneamento do uso da terra • Eficiência do uso da terra • Terras de baixo desempenho • Expansão não controlada do uso da terra • Ecossistemas florestais • Proteção das florestas • Florestas tropicais • Florestas perturbadas • Desmatamento • Demanda global de grãos • Produção global de grãos • Regiões de cultivo agrícola • Acidificação 	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotecnologias • Nanofibras de celulose • Descontaminação de resíduos de água • Tecnologias de reúso de água • Tecnologias de biorremediação • Tecnologias de melhoramento • Germoplasma de melhoramento • Fertilização de dióxido de carbono • Produção sustentável de biocombustíveis de algas • Produção de etanol de trigo • Bases de dados nacionais • Biodegradabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da produção de grãos • <i>Gaps</i> de rendimento • Eficiência das lavouras
Termos-chave		
<ul style="list-style-type: none"> • Escassez de terra • Terras de baixo desempenho • Aumento populacional • Demanda mundial de grãos 		
Termos transversais	Transição	
<ul style="list-style-type: none"> • Demanda global de alimentos • Comunidade agrícola • Comércio agrícola • Aumento populacional • Empregos fora da porteira • Energia renovável • Resíduo industrial de água • Tendências climáticas • Biodiversidade tropical • Soberania alimentar • <i>Food utopias</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança alimentar global futura • Pegada ambiental da agricultura • Mundo em mudança • Demanda por alimentos de alta qualidade • Mudança nas dietas • Emissões antropogênicas • Disponibilidade de diversidade genética 	

QUADRO 3. Quadro analítico da década 2010 (<i>continuação</i>).	
2010 - DÉCADA DE NOVOS DESAFIOS	
Principais tópicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Segurança alimentar global futura e necessidades da sustentabilidade <ul style="list-style-type: none"> • Tendências climáticas • Melhoramento de culturas • Resistência a pesticidas • Redução de resíduos • Alto consumo de farmacêuticos <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura na China • Sistemas alimentares alternativos 	
Contexto	
<ul style="list-style-type: none"> • 2010 - Plano ABC • 2012 - Resolução da ANP nº 26 - produção de etanol <ul style="list-style-type: none"> • 2012 - Código Florestal, Lei nº 12.651, de 2012 • 2012 - CAR - Cadastro Ambiental Rural • 2013 - Indicação Geográfica - Instrução Normativa nº 25/2013 e Resolução PR nº 55, de 18/3/2013 • 2015 - COP 21 	

(Dietitians Association of Australia, 2016). Por exemplo, a questão da segurança alimentar (*food security*) está em foco desde a década de 1960 (Fisher, 1963; Sinha, 1976), mais recentemente incorporou a preocupação com a questão do alimento seguro (*food safety*), e, atualmente, trabalhos apontam termos como insegurança alimentar (*food insecurity*) e soberania alimentar (*food sovereignty*) (Dietitians Association of Australia, 2016; Wald & Hill, 2016). O desafio continua sendo garantir o fornecimento de alimentos para a população mundial, mas o processo tornou-se muito mais abrangente e complexo.

No tópico alimento seguro, por exemplo, a União Europeia, por meio de sua Agência de Segurança Alimentar (EFSA), desenvolveu recentemente um regulamento relativo a pedidos de autorização de novos alimentos advindos de terceiros países. Entre os requisitos a serem atendidos está o fornecimento de comprovação do uso seguro dos alimentos tradicionais desses países (CNA, 2016). Wald e Hill (2016) apresentaram uma abordagem diferente defendendo a mudança da perspectiva de “segurança alimentar” em direção à “soberania alimentar”, focando nos aspectos espaciais (controle da produção

democrático e no nível local) e temporais (processo de mudanças) e apontam como expectativa dessa abordagem promover um movimento em direção a uma geografia multiescalar e mais satisfatória da soberania alimentar.

A *Figura 8* ilustra a trajetória agrícola de 1960 aos dias atuais. Cada degrau corresponde a uma década, cujo nome, atribuído pelos autores, representa o foco principal dos avanços científicos identificados em cada período. A ênfase na década de 1960 foi a eficiência produtiva promovida por meio da modernização da produção. O período seguinte, 1970, foi marcado pelo crescimento acelerado da produção agrícola decorrente do impulso tecnológico iniciado na década anterior. Esse movimento de modernização e crescimento da produção ocorrido nas décadas de 1960 e 1970 resultou em mudanças significativas relativas ao uso agrícola da terra; dessa forma, a década de 1980 foi um período dedicado a compreender os padrões de uso e cobertura da terra e a estrutura e organização da nova produção.

Esses estudos mostraram a necessidade de uma visão global e integrada para uma análise mais robusta das consequências ambientais globais do uso da terra agrícola. Por isso, 1990 foi uma década com muitos esforços de pesquisa de caráter multidisciplinar, envolvendo o uso de bases de dados históricas para analisar os efeitos do uso da terra sobre os recursos naturais, em especial água e biodiversidade. Esses trabalhos apontaram a necessidade de medidas para a estabilização do uso da terra e a conservação dos recursos naturais, como também do desenvolvimento de tecnologias de base ecológica. Pode-se afirmar que 1990 foi um período de balanço, focado na necessidade de compreender e avaliar as mudanças globais decorrentes das ações anteriores e apontar novos caminhos rumo à sustentabilidade, que foi o tema central da década de 2000.

Foi notória a transição de 1990 para 2000 em termos de avanços científicos. Nos anos 1990, ocorreu uma “explosão” de esforços buscando alternativas para atingir o equilíbrio entre produção e os demais aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais que convergem para o alcance da sustentabilidade. De um total de 14.211 artigos na década 1990, o período de 2000 apresentou um total de 110.353 trabalhos, um número aproximadamente oito vezes maior, para as mesmas palavras-chaves. Apesar de os trabalhos estarem distribuídos em diversas temáticas, convergiram prioritariamente para o desenvolvimento de tecnologias de base ecológica para produção

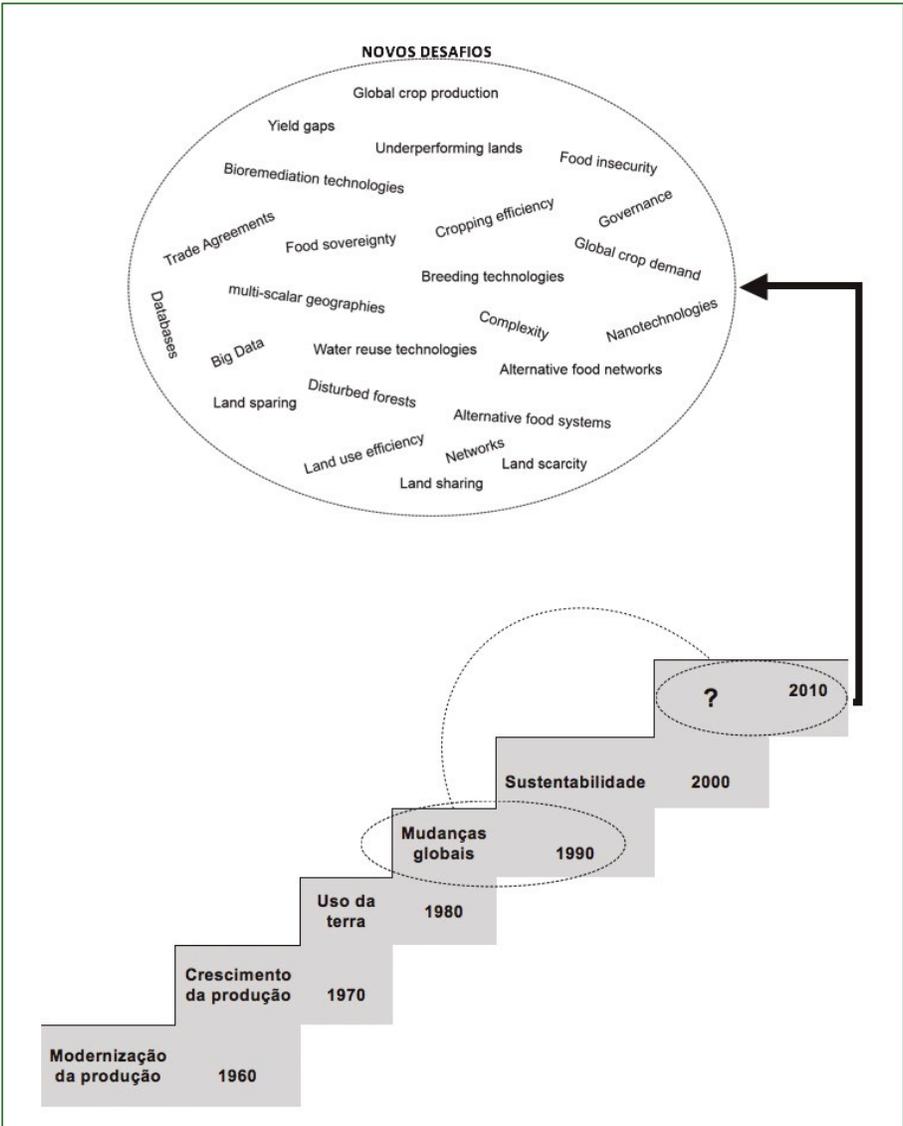


FIGURA 8. Trajetória da evolução agrícola e os novos desafios.

ou para remediar efeitos ambientais, como: invasões bióticas, contaminantes em resíduos de águas (farmacêuticos e hormônios), biodisponibilidade (polifenóis), emissões de gases de efeito estufa, biocombustíveis, sequestro de carbono, mudança climática global, segurança alimentar, efeitos biológicos, práticas de produção intensiva, polinizadores, custos econômicos, energéticos e ambientais, qualidade e disponibilidade de água, mapeamento do uso e cobertura. Manteve-se a

preocupação com a sustentabilidade e com a intensificação da produção, com estudos de caráter global e multidisciplinar, usando bases históricas para previsão de cenários.

No período atual, até 2015, metade da década, publicou-se aproximadamente o mesmo volume de artigos da década anterior (101.316), com basicamente as mesmas áreas temáticas e enfoque. No entanto, os artigos trazem questões que apontam preocupações com as mudanças que estão ocorrendo em nível mundial e novos tópicos que demandam soluções a curto, médio e longo prazos. Tester e Langridge (2010) discutiram a questão das tecnologias de melhoramento a fim de aumentar a segurança alimentar, sob a óptica de um “mundo em mudanças”. Foley *et al.* (2011) falam de “*agriculture’s environmental footprint*” e apontaram que soluções como a redução da expansão agrícola, o preenchimento de lacunas de rendimento agrícola em terras de baixo desempenho (*closing ‘yield gaps’ on underperforming lands*), o aumento da eficiência produtiva, a mudança nas dietas alimentares e a redução de desperdício podem duplicar a produção alimentar, reduzindo significativamente os impactos ambientais da agricultura.

Pode-se afirmar que, diante do novo cenário mundial e dos novos desafios, como o processo de intensa urbanização e alteração no comportamento do consumidor, as mudanças no eixo de geração do PIB, a mudança no ciclo das *commodities*, a mudança climática global e os novos conflitos geopolíticos, o setor agrícola necessita de um balanço novo para reposicionar-se frente a um mundo que muda cada vez mais rapidamente e torna-se mais complexo. É preciso continuar gerando e aprimorando tecnologias de melhoramento genético, de biotecnologias, nanotecnologias, biocombustíveis, entre outros. No entanto, é preciso lidar também com o funcionamento integrado dos sistemas nos níveis local, regional e global, para que essas tecnologias tornem-se eficientes.

Esses desafios devem ser analisados diante do contexto geopolítico atual, que envolve as disputas territoriais, crescente aumento da população, em especial na Ásia, e a intensificação do processo migratório para grandes metrópoles, entre outros. É preciso proceder a um balanço global para compreender essa nova organização mundial e promover um replanejamento para o setor. Por exemplo, a África possui terras agricultáveis passíveis de uso para a expansão agrícola, no entanto, existem fatores limitantes, como carência de tecnologia adaptada às condições edafoclimáticas africanas, pouca disponibilidade de mão de obra qualificada e a questão da segurança jurídica.

A questão da segurança do alimento, requisito obrigatório nos países europeus e nos Estados Unidos há algumas décadas, vem sendo estendida a outras regiões, como o Brasil.

A China vem passando por um processo de ocidentalização de sua dieta tradicional, principalmente nas grandes metrópoles, onde redes de restaurantes internacionais introduziram a proteína bovina, que está sendo cada vez mais apreciada e demandada, aumentando, conseqüentemente, a demanda mundial nesse segmento. No Brasil, é crescente a demanda por produtos oriundos de nichos específicos de mercado, tais como os orgânicos e os produtos “premium”, como, por exemplo, carnes especiais. Dessa forma, o replanejamento do setor envolve uma compreensão local, regional e global das cadeias produtivas, no sentido de identificar os “gaps”, estabelecer prioridades de investimentos em Ciência, Tecnologia e Inovação, novos arranjos e o estabelecimento de parcerias internacionais que ampliem o espectro de conhecimentos e ações.

Com base no exposto, este estudo apontou novos elementos norteadores, bem como as fragilidades e vulnerabilidades do setor agrícola, em termos de uso da terra, produção e tecnologias, para orientar os avanços necessários a fim de superar, com êxito, os novos desafios da agricultura (*Figuras 9 e 10*).

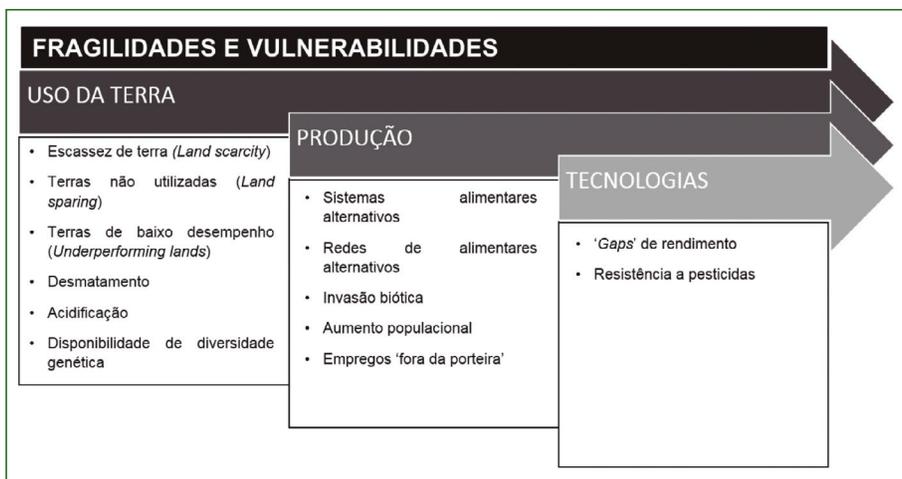
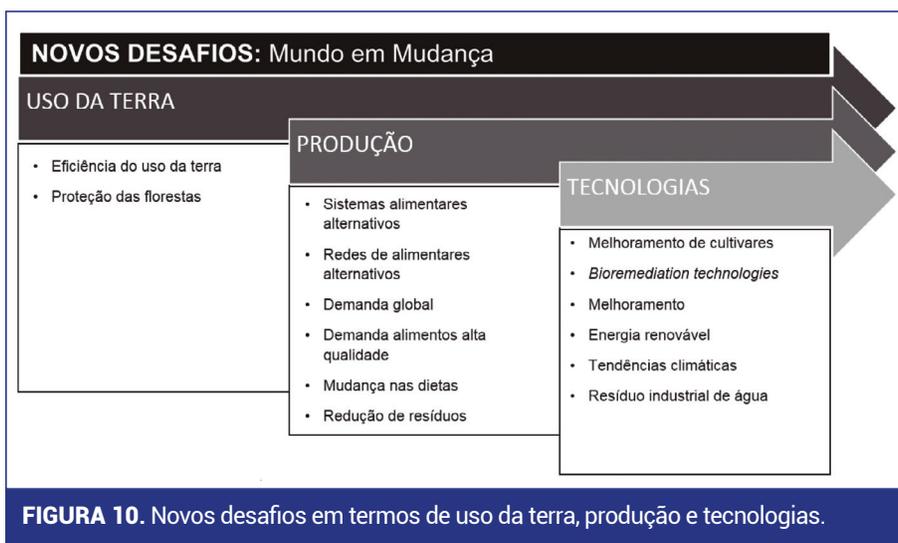


FIGURA 9. Fragilidades e vulnerabilidades frente aos novos desafios.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve por objetivo apontar os novos desafios do setor agrícola mundial por meio de um panorama da evolução agrícola em termos de tecnologia, uso da terra e produção. Qual a trajetória da agricultura frente aos novos desafios? Quais os “fantasmas” que ameaçam a continuidade dessa trajetória? Na década de 1990, Harding *et al.* (1998) publicaram o trabalho intitulado “*Stream biodiversity: The ghost of land use past*” (“O impacto do uso da terra passado no fluxo de biodiversidade”) indicando que o uso agrícola da terra poderia ter resultado na redução e na mudança, a longo prazo, da biodiversidade. O recente evento da lagarta *Helicoverpa* é um exemplo de “fantasma”, uma vulnerabilidade/fragilidade no sistema agrícola frente às questões sanitárias, e ao mesmo tempo uma oportunidade para a “nova” indústria de proteção de plantas, calcada na biologia com apelo ambiental. Ou seja, uma ameaça à produção agrícola brasileira pode ser também uma oportunidade, nesse caso, de gerar “novas” indústrias no Brasil a partir da agricultura.

Os termos fragilidade e vulnerabilidade indicam insegurança e instabilidade potenciais em um sistema em decorrência de um hiato (ou “gap”), ou seja, de uma parte do sistema que necessita de mais atenção e reforço. Muitos desafios convergem para a superação dessas instabilidades e outros são inerentes aos riscos e às ameaças externas ao sistema. Em relação ao sistema agrícola, o principal desafio referente ao uso

da terra é promover a eficiência do uso, considerando a importância da manutenção dos recursos naturais, em especial a preservação das florestas. Em termos de produção, merece destaque a necessidade de tecnologias para a redução de lacunas de rendimento, melhoramento de cultivares, invasão biótica e resistência a pesticidas. Quanto aos aspectos agroambientais, destaca-se a necessidade de redução de resíduos da produção (em especial na água) e a geração de energia renovável.

Talvez o maior desafio, que envolve todos os aspectos já mencionados, seja uma visão integrada e compartilhada do sistema agrícola. Por exemplo, no quesito segurança alimentar, é preciso produzir em quantidade e qualidade adequadas. É preciso haver a distribuição, a entrega e a renda, ou seja, os produtos agrícolas precisam chegar aos consumidores, que precisam ter poder de compra para adquiri-los, o que implica em geração de valor e distribuição de renda. É preciso desenvolver novas tecnologias em sistemas alimentares alternativos. Somente nesta rápida análise, foram abertas várias outras frentes inter-relacionadas com a produção, como tecnologia, logística e economia.

Diante de um novo paradigma para atender os objetivos da sustentabilidade, bem como, para enfrentar a insegurança alimentar, apenas a partir de uma visão integrada é possível elaborar um novo modelo de governança capaz de lidar com as mudanças, cada vez mais rápidas, envolvendo os novos desafios do sistema agrícola mundial e nacional. Além da integração (visão de conjunto), é fundamental considerar a interação (relacionamentos), uma vez que a solução de questões complexas envolve a interação entre os componentes do sistema (por exemplo, no sistema agrícola, os componentes tais como o rural, o clima, as forças sociais do campo, as cadeias agrícolas e industriais etc.), nos seus aspectos espacial e temporal.

Nesse contexto, muitos desafios, como a obtenção de dados, o melhoramento e adaptação de plantas e a disponibilidade de equipamentos já foram superados, e muitos fantasmas não existem mais. Novos desafios surgem, cheios também de novas oportunidades, que envolvem tanto a demanda por novas tecnologias, como, principalmente, a integração e o uso de forma eficiente do que já foi gerado. Um grande desafio da atualidade está em promover a habilidade humana para trabalhar em rede e compartilhar. Ademais, um diagnóstico global das regiões e de suas respectivas funções agrícolas no contexto mundial pode contribuir para propor um modelo de eficiência espacial global para o setor agrícola.

Referências

ADAMS, R. M.; KING, G. A.; JOHNSTON, W. E. Effects of Energy Cost Increases and Regional Allocation Policies on Agricultural Production. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 59, n. 3, pp. 444-455, 1977.

ALTIERI, M. A. The Ecological Role of Biodiversity in Agroecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 74, n.13, 1999.

ALVES, E.; CONTINI, E. Tecnologia: prosperidade e pobreza no campo. In: SENRA, N. C. (Coord.). **O Censo entra em campo: o IBGE e a história dos recenseamentos agropecuários**. Rio de Janeiro: IBGE, Centro de Documentação e Disseminação de Informações, p.205-230, 2014.

ALVES, E.; SOUZA, E.; GOMES, E. Fatos marcantes da Agricultura Brasileira. In: ALVES, E.; SOUZA, G.; GOMES, E. (Coord.). **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, p.13-46, 2013.

ANTLE, J. M. The Structure of United States Agricultural Technology. **American Journal of Agricultural Economics**, v.66, n. 4, 1984.

ARCE, R. G.; BOYD, C. E. Effects of Agricultural Limestone on Water Chemistry, Phytoplankton Productivity, And Fish Production in Softwater Ponds. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.104, n. 2, pp.308-312, 1975.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J.R. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part 1: Model Development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, 1998.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field Management Effects on Soil Enzyme Activities. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, n. 11, 1999.

BERRY, D.; PLAUT, T. Retaining Agricultural Activities under Urban Pressures Review of Land Use Conflicts and Policies. **Policy Sciences**, v.9, n. 2, pp. 153-178, 1978.

BRUINS, H. J.; EVENARI, M.; NESSLER, U. Rainwater Harvesting Agriculture for Food Production in Arid Zones the Challenge of the African Famine. **Applied Geography**, v. 6, n. 1, 1986.

BRASIL (2005). Lei no 11.105. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm> Acesso em: 07.abr.2016.

BRASIL (2012). Lei no 12.651/12. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/cadastro-ambiental-rural>> Acesso em: 07.abr.2016.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; WOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n. 3, 1998.

CNA. Informativo União Europeia, ed. 29, março. 2016.

DANCE, K. W.; HYNES, H. B. N. Some Effects of Agricultural Land Use on Stream Insect Communities. **Environmental Pollution Series A - Ecological And Biological**, v. 22, n. 1, 1980.

DEFRIES, R. S.; RUDEL, T.; URIARTE, M.; HANSEN, M. Deforestation Driven by Urban Population Growth and Agricultural Trade in the Twenty First Century. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 3, 2010.

DIETITIANS ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Food security, food systems and food sovereignty in the 21st century: A new paradigm required to meet sustainable development goals. **Nutrition & Dietetics**, v.73, 2016.

FAO; IFAD; WFP. 2015. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome, FAO.

FISHER, F. M. A Theoretical Analysis of the Impact of Food Surplus Disposal on Agricultural Production in Recipient Countries. **Journal of Farm Economics**, v. 45, n. 4, 1963.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K., A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v.478, n. 7369 pp. 337-342, 2011.

FREIBERG, C.; FELLAY, R.; BAIROCH, A.; BROUGHTON, W. J.; ROSENTHAL, A.; PERRET, X. Molecular Basis of Symbiosis between Rhizobium and Legumes. **Nature**, v. 387, n. 6631, 1997.

FUNG, I.; JOHN, J.; LERNER, J.; MATTHEWS, E.; PRATHER, M.; STEELE, L. P.; FRASER, P. J. Three-dimensional Model Synthesis of the Global Methane Cycle. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 96, n. D7, 1991.

GIBBS, H. K.; RUESCH, A. S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M. K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Tropical Forests Were the Primary Sources of New Agricultural Land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy Of Sciences of the United States of America**, v.107, n. 38, 2010.

GIBSON, L.; LEE T. M.; KOH L. P.; BROOK, B. W.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PERES, C. A.; BRADSHAW, C. J. A.; LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; SODHI, N. S. Primary Forests are Irreplaceable for Sustaining Tropical Biodiversity. **Nature**, v. 478, n. 7369, 2011.

GLIESSMAN, S. R.; GARCIA, R.; AMADOR, M. The Ecological Basis for the Application of Traditional Agricultural Technology in the Management of Tropical Agroecosystems. **Agroecosystems**, v. 7, n. 3, pp. 173-185, 1981.

GODFRAY, C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, 2010.

GREENE, J. C.; MILLER, W. E.; SHIROYAMA, T.; MALONEY, T. E. Utilization of Algal Assays to Assess Effects of Municipal, Industrial, and Agricultural Wastewater Effluents upon Phytoplankton Production in Snake River System. **Water Air and Soil Pollution**, v. 4, n. 34, pp. 415-434, 1975.

GRILICHES, Z. Research Expenditures, Education, and the Aggregate Agricultural Production Function. **American Economic Review**, v.54, n.6, pp. 961-974, 1964.

GRILICHES, Z. Specification and Estimation of Agricultural Production Functions Estimates of the Aggregate Agricultural Production Function From Cross sectional Data. **Journal of Farm Economics**, v. 45, n. 2, pp. 419-428, 1963.

GUO J. H.; LIU X. J.; ZHANG Y.; SHEN, J. L.; HAN, W. X.; ZHANG, W. F.; CHRISTIE, P.; GOULDING, K. W.; VITOUSEK, P. M.; ZHANG, F. S. Significant Acidification in Major Chinese Croplands. **Science**, v. 327, n. 5968, 2010.

HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R. Global Land Cover Classification at 1km Spatial Resolution Using a Classification Tree Approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 67, 2000.

HARDING, J. S.; BENFIELD, E. F.; BOLSTAD, P. V.; HELFMAN, G. S.; JONES III, B. D. Stream biodiversity: The ghost of land use past. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 95, n. 25, pp. 14843-14847, 1998.

HAYAMI, Y. Resource Endowments and Technological Change in Agriculture: US and Japanese Experiences in International Perspective. **American Journal of Agricultural Economics**, v.51, n. 5, 1969.

HAYAMI, Y.; HERDT, R. W. Market Price Effects of Technological Change on Income Distribution in Semi Subsistence Agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 59, n. 2, pp. 245-256, 1977.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Technology Transfer and Agricultural Development. **Technology And Culture**, v.14, n. 2, pp.119-151, 1973.

HEADY, E. O.; EGBERT, A. C. Regional Programming of Efficient Agricultural Production Patterns. **Econometrica**, v. 32, n. 3, pp. 374-386, 1964.

HEICHEL, G. H. Agricultural Production and Energy Resources. **American Scientist**, v. 64, n. 1,1976.

HERMAN, J. R.; BHARTIA, P. K.; TORRES, O.; HSU, C.; SEFTOR, C.; CELARIER, E. Global distribution of UV absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. **Journal of Geophysical Researchatmospheres**, v. 102, n.14, pp. 16911-16922, 1997.

HOBBS, R. J.; NORTON, D. A. Towards a Conceptual Framework for Restoration Ecology. **Restoration Ecology**, v. 4, n. 2, 1996.

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. The US Carbon Budget: Contributions from Land Use Change. **Science**, v. 285, n. 5427, 1999.

HUXLEY, P. A. Climate and Agricultural Production in Uganda. **Experimental Agriculture**, v. 1, n.2, 1965.

IFAMA; WICANEM. 26th Annual IFAMA World Conference and the 12th Wageningen International Conference on Chain and Network Management (WICaNeM), 2016. Disponível em: <<http://ifamaeurope.org/symposium/>>

JACOBS, J. J.; TIMMONS, J. F. Economic analysis of Agricultural Land Use Practices to Control Water Quality. **American Journal of Agricultural Economics**, v.56, n. 4, pp. 791-798, 1974.

KNUTSON, M.; TWEETEN, L. G. Toward an Optimal Rate of Growth in Agricultural Production Research and Extension. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 61, n. 1, pp. 70-76, 1979.

KOLPIN, D. W.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; THURMAN, E. M.; ZAUGG, S. D.; BARBER, L. B.; BUXTON, H. T. Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in US Streams, 1999-2000: A National Reconnaissance. **Environmental Science & Technology**, v. 36, n. 6, 2002.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v. 304, n. 5677, 2004.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global Land Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 9, 2011.

LAURA, R. D.; IDNANI, M. A. Increased Production of Biogas from Cow dung By Adding Other Agricultural Waste Materials. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 22, n. 4, 1971.

LIN, W.; DEAN, G. W.; MOORE, C. V. Empirical test of Utility Vs Profit Maximization in Agricultural Production. **American Journal of Agricultural Economics**, v.56, n.3, pp. 497-508, 1974.

LOBELL, D. B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. **Science**, v. 333, n. 6042, 2011.

LOPEZ, R. E. Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, v.62, n.1, 1980.

MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences, and Control. **Ecological Applications**, v. 10, n. 3, 2000.

MALMGREN, H. B.; SCHLECHT, D. L. Technology and Neomercantilism in International Agricultural Trade. **American Journal of Agricultural Economics**, v.51, n.5, 1969.

MANN, K. S.; MOORE, C. V.; JOHL, S. S. Estimates of Potential Effects of New Technology on Agriculture in Punjab, India. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 50, n. 2, 1968.

MANSARD, W. Land Use Patterns and Agricultural Migration in Central Ghana Western Gonja. **TIJDSCHRIFT VOOR ECONOMISCHE EN SOCIALE GEOGRAFIE**, v.52, n. 9, pp. 225-230, 1961.

MAPA (2010). Plano ABC. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>> Acesso em: 07.abr.2016.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E.; RAMOS, S. Y. The development of Brazilian agriculture and future challenges. **Revista de Política Agrícola**, v. 19, 2010 Special Issue.

MATSON, P. A; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. **Science**, v. 277, n. 5325, 1997.

MAUNDER, W. J. Effect of Significant Climatic Factors on Agricultural Production and Incomes: A New Zealand Example. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 1, 1968.

MCWILLIAM, J. R. The National and International Importance of Drought and Salinity Effects on Agricultural Production. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, n. 1, 1986.

MELLOR, J. W. Accelerated Growth in Agricultural Production and Intersectoral Transfer of Resources. **Economic Development and Cultural Change**, v. 22, n. 1, 1973.

MELLOR, J. W. Production Economics and Modernization of Traditional Agricultures. **Australian Journal of Agricultural Economics**, v.13, n.1, 1969.

MOHAN, D.; PITTMAN JR, C. U. Arsenic Removal from Water/Wastewater Using Adsorbents: A Critical Review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 12, 2007.

MOSIER, A.; KROEZE, C.; NEVISON, C. D.; CLEEMPUT, O. V. Closing The Global N(2) O Budget: Nitrous Oxide Emissions Through the Agricultural Nitrogen Cycle OECD/IPCC/IEA Phase II Development of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 52, n. 23, 1998.

NEMANI, R. R.; KEELING, C. D.; HASHIMOTO, H.; JOLLY, W. M.; PIPER, S. C.; TUCKER, C. J.; MYNENI, R. B.; RUNNING, S. W. Climate Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, n. 5625, 2003.

NOWAK, P. J. The Adoption of Agricultural Conservation Technologies Economic and Diffusion Explanations. **Rural Sociology**, v. 52, n. 2, pp. 208-220, 1987.

OECD. Alternative Futures for Global Food and Agriculture, **OECD Publishing**, Paris, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264247826-en>>.

OLLER, I. et al. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination: A review. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 20, pp. 4141- 4166, 2011.

OSBORNE, L. L.; WILEY, M. J. Empirical Relationships between Land Use Cover and Stream Water Quality in an Agricultural Watershed. **Journal of Environmental Management**, v. 26, n. 1, 1988.

PHALAN, B.; ONIAL, M.; BALMFORD, A.; GREEN, R. E. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared. **Science**, v. 333, n. 6047, 2011.

PIONKE, H. B.; URBAN, J. B. Effect of Agricultural Land Use on Groundwater Quality in a Small Pennsylvania Watershed. **Ground Water**, v. 23, n. 1, 1985.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The Potential of Sustainable Algal Biofuel Production Using Wastewater Resources. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 1, 2011.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil Carbon Sequestration and Land Use Change: Processes and Potential. **Global Change Biology**, v. 6, n. 3, 2000.

POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. **Science**, v. 271, n. 5250, 1996.

RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 13, n. 4, pp. 997-1027, 1999.

RAO, N. H.; SARMA, P. B. S.; CHANDER, S. A Simple Dated Water Production Function for Use in Irrigated Agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 13, n. 1, 1988

RASMUSSEN, W. D. The Impact of Technological Change on American Agriculture, 1862-1962. **Journal of Economic History**, v.22, n. 4, pp. 578-591, 1962.

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, 1999.

RUTTAN, V. W. Research on the Economics of Technological change in American agriculture. **Journal of Farm Economics**, v.42, n. 4, pp. 735-754, 1960.

SALOUTOS, T. Land Policy and Its Relation to Agricultural Production and Distribution, 1862 TO 1933. **Journal of Economic History**, v. 22, n.4, pp. 445-460, 1962.

SARMAH, A. K.; MEYER, M. T.; BOXALL, A. B. A. A Global Perspective on the Use, Sales, Exposure Pathways, Occurrence, Fate and Effects of Veterinary Antibiotics (Vas) in the Environment. **Chemosphere**, v. 65, n. 5, 2006.

SCHALLER, W. N. A National Model of Agricultural Production Response. **Agricultural Economics Research**, v. 20, n. 2, 1968.

SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R. A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D.; YU, T-H. Use of US Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land Use Change. **Science**, v. 319, n. 5867, 2008.

SHARPLEY, A. N.; CHAPRA, S. C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J. T.; DANIEL, T. C.; REDDY, K. R. Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters Issues And Options. **Journal of Environmental Quality**, v. 23, n. 3, 1994.

SINHA, R. P. World Food Security. **Journal of Agricultural Economics**, v. 27, n. 1, 1976.

SMITH, A. M. Ethylene Production by Bacteria in Reduced Microsites in Soil and Some Implications to Agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, v.8, n. 4, pp. 293-298, 1976.

SPEEDING, C. R. W.; WALSINGHAM, J. M. Production and Use of Energy in Agriculture. **Journal of Agricultural Economics**, v. 27, n. 1, 1976.

TESTER, M.; LANGRIDGE, P. Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. **Science**, v.327 n. 5967 pp. 818-822, 2010.

THE ECONOMIST. The miracle of the cerrado. Disponível em: <<http://www.economist.com/node/16886442>>

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural Sustainability and Intensive Production Practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, 2002.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D' ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, v. 292, n. 5515, 2001.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BILFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.108, n. 50 pp. 20260-20264, 2011.

TOWNSHEND, J. R. G. Agricultural Land Cover Discrimination Using Thematic Mapper Spectral Bands. **International Journal of Remote Sensing**, v. 5, n. 4, pp. 681-698, 1984.

TSCHARNTKE, T.; KLEIN, A. M.; KRUESS, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; THIES, C. Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity Ecosystem Service Management. **Ecology Letters**, v. 8, n. 8, 2005.

TURNER, M. G.; RUSCHER, C. L. Changes in Landscape Patterns in Georgia, USA. **Landscape Ecology**, v. 1, n.4, pp. 241-251, 1988.

VANVLIET, L. J. P.; WALL, G. J.; DICKINSON, W. T. Effects of Agricultural Land Use on Potential Sheet Erosion Losses in Southern Ontario. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 56, n. 4, pp. 443-451, 1976.

WALD, N.; HILL, D.P. Rescaling alternative food systems: from food security to food sovereignty. **Agriculture and Human Values**, v. 33, n. 1, pp. 203-213, 2016.

WELLS, D. N.; MISICA, P. M.; TERVIT, H. R. Production of Cloned Calves Following Nuclear Transfer with Cultured Adult Mural Granulosa Cells. **Biology of Reproduction**, v. 60, v. 4, 1999.

WITTWER, S. H. Future Technological Advances in Agriculture and Their Impact on the Regulatory Environment. **Bioscience**, v.29, n.10, pp. 603-610, 1979.

WOFSY, S. C.; GOULDEN, M. L.; MUNGER, J. W.; FAN, S. M.; BAKWIN, P. S.; DAUBE, B. C.; BASSOW, S. L.; BAZZAZ, F. A. Net Exchange of CO₂ in a Mid-latitude Forest. **Science**, v. 260, n. 5112, 1993.

Capítulo 2

IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA: CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE PESQUISA MULTI-INSTITUCIONAL

João Eduardo de Moraes Pinto Furtado

joão@elaboraconsultoria.com.br

Elabora Consultoria

Pedro Abel Vieira Júnior

pedroabelvieira@gmail.com

Embrapa

Priscila Socoloski

priscila@elaboraconsultoria.com.br

Elabora Consultoria

INTRODUÇÃO

As mudanças recentes na economia global promoveram forte aumento na demanda e no comércio de produtos agrícolas, possibilitando uma oportunidade ímpar para o Brasil expandir sua agricultura e tornar-se referência mundial nesse setor. Segundo a OCDE (2014), entre seus países-membros, o Brasil obteve o maior crescimento na produtividade total de fatores (PTF) no período de 2001 a 2010. Em um ambiente nem sempre favorável, os agentes dos diversos setores que integram essa complexa cadeia responderam com inovações às dificuldades enfrentadas e souberam aproveitar as oportunidades que se abriram, sejam no mercado doméstico ou no mundial, nos últimos 25 anos, multiplicando por 2,2 a produção agrícola enquanto no mesmo período a área ocupada cresceu apenas 1,5 vez.

A importância da agricultura para o desenvolvimento do Brasil é inquestionável, pois, embora a participação do setor agrícola no produto interno bruto (PIB) venha se reduzindo, o que seria dos serviços, dos transportes e da indústria de transformação se não houvesse a produção agrícola para ser financiada, assistida tecnicamente, transportada e processada? Além de considerar o PIB estritamente setorializado, consideremos as operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas, o armazenamento, o processamento e a distribuição dos produtos agrícolas e seus derivados. Esse número representou, em 2014, entre 22% e 23% do PIB (Brasil, 2014b).

O setor agropecuário, além de participar positivamente no desenvolvimento da economia — em 2015 cresceu 1,8% em relação a 2014 (Brasil, 2015) —, também contribui na área ambiental, por exemplo, quando é usado o sistema de plantio direto. A utilização desse sistema permite a diminuição de consumo de petróleo (de 60% a 70% no consumo de óleo diesel), o aumento do sequestro de carbono (com incremento de seu estoque no solo e concentração da matéria orgânica em decomposição, na superfície), uma menor erosão, a redução das perdas na produção, além da melhoria na capacidade de infiltração e retenção da água no solo, auxiliando assim a regulação do fluxo de água nos corpos aquáticos (Freitas & Landers, 2014) e uma maior produção sustentável de alimentos de qualidade (Embrapa, 2015b).

Para chegar-se ao cenário descrito, a atuação do Sistema de Inovação Agrícola (SIA) do Brasil revelou-se fundamental e tornou o país referência mundial em agricultura tropical. Entre os resultados do SIA encontra-se o desenvolvimento do sistema de plantio direto; de tecnologias ambientalmente sustentáveis, como os inoculantes de soja e os agentes de controle biológico; além de uma indústria de sementes e mudas e de um programa de bioenergia reconhecidos mundialmente. Esses exemplos são importantes, mas o maior feito foi incorporar áreas marginais à produção, como as dos Cerrados com grãos, fibras e carnes e as do Semiárido, com frutas. Como seria o abastecimento da população global sem os mais de 90 milhões de toneladas de soja e os 25 milhões de toneladas de carnes produzidas pelo Brasil?

Esse crescimento de produção e da participação do setor agropecuário nas exportações mundiais é relativamente recente. Foi somente após a década de 1970 que o Brasil diversificou sua produção agrícola e investiu significativamente na geração de tecnologia, o que lhe possibilitou ocupar posição de destaque no meio e tornar-se líder global

na geração de tecnologia para agricultura tropical. Isso resultou em transbordamentos para outros segmentos da sociedade, a exemplo do desenvolvimento do plástico verde, que tem como matéria-prima o etanol da cana-de-açúcar em substituição ao petróleo.

Essa trajetória não foi trivial; ao contrário, exigiu treinamento de cientistas, muitos no exterior, e implementação de uma infraestrutura para pesquisa e produção. Citemos, como exemplo do esforço nacional, o caso da indústria de sementes e mudas que, nos últimos 30 anos, desenvolveu tecnologia, capacitou mão de obra e ampliou o potencial de pesquisa e de produção em ritmo suficiente para passar da dependência à autossuficiência e até a exportação.

Foram várias as instituições envolvidas nesse processo de desenvolvimento tecnológico, entre elas universidades, institutos de pesquisa, empresas públicas como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e empresas privadas. A Embrapa, sucessora do Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária (DNPEA) e coordenadora do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), executou papel fundamental no desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira.

Inicialmente, nas décadas de 1970, 1980 e 1990, o SNPA dedicou-se à ocupação dos Cerrados, com grãos e fibras, e do Semiárido, com frutas, além de prover ganhos de produtividade nas regiões tradicionais do Sul e do Sudeste. Para tanto, a ênfase da pesquisa deu-se no melhoramento vegetal, na produção de sementes e mudas e no manejo de solo, além do uso de defensivos agrícolas, porém com uma atuação marginal na mecanização.

O Brasil investiu em tecnologia, agregou valor à produção agrícola, conquistou mercados e, mais recentemente, vem investindo — com sucesso e como poucos países — na sustentabilidade socioambiental. De fato, está em gestação avançada uma ‘nova’ agricultura brasileira, cada vez mais sustentável e eficiente no uso dos recursos naturais e humanos. Reúne amplo apoio a ideia de que a agricultura brasileira continuará desempenhando um papel muito relevante para o país e para o mundo. O seu desempenho dependerá menos dos preços e do mercado internacional e mais da superação dos vários gargalos, entre os quais continuam destacando-se, apesar da evolução recente e dos projetos em implantação e planejamento, a logística, e, sobretudo, a **defesa sanitária** e a construção de alternativas tecnológicas, e as dificuldades sistêmicas para agregar valor à produção agrícola.

Esse sucesso não se restringiu à produção, mas transcendeu as fronteiras nacionais, transbordando em direção à indústria e aos serviços. Como consequência, “novas” fontes de risco foram incorporadas à agricultura, especialmente na defesa sanitária, que nada mais é que um conjunto de práticas destinadas a prevenir, controlar e/ou erradicar pragas e patógenos com potencial de provocar danos econômicos à produção agrícola vegetal ou animal de um território. Além do aspecto da produção, é comum o uso da defesa sanitária com pretextos comerciais para levantar barreiras, o que causa um “duplo problema econômico”, da produção e do comércio.

Apesar desse ‘duplo problema econômico’ que a defesa sanitária representa, ela é positiva sob a óptica da inovação, pois, para cada epidemia de febre aftosa, para cada surto de doenças em culturas, para cada suspeita de que os insumos utilizados trazem efeitos nocivos ao ser humano, enfim, para cada obstáculo, a ciência entra em campo com novos estudos, novas vacinas, novas variedades de plantas, novas recomendações de prevenção e controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

É hora de o Brasil aproveitar os bônus do período de euforia dos mercados internacionais e investir em pesquisa e produtividade, o pilar que possibilitou ao país o sucesso atual, com ênfase nos riscos a que a agricultura brasileira está submetida. Riscos que são cada vez mais complexos e, como ocorreu no passado, suas soluções não passam por um programa de sementes. Eles requerem aplicação da ‘nova’ tecnologia (engenharia genética, nanotecnologia, tecnologia da informação etc.) associada à tecnologia ‘tradicional’ (melhoramento vegetal, sementes, fitotecnia etc.) e, principalmente, a transferência dessa tecnologia que já não ocorre apenas pela produção de sementes. É o caso dos problemas fitossanitários, que não são novos, mas que agora têm sido agravados pela falta de uma tecnologia que permita um controle mais efetivo sobre eles.

Nesse sentido, as recentes mudanças na legislação brasileira de inovação propiciam ambiente profícuo para essa discussão e implantação de ‘novos’ arranjos de P&D. Este artigo propõe-se a discutir alguns modelos para arranjos de P&D frente ao ‘novo’ cenário da agricultura brasileira e a ‘nova’ realidade da ciência no Brasil.

BREVE RESUMO DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DA AGRICULTURA BRASILEIRA

A trajetória da agricultura brasileira não foi baseada exclusivamente na expansão da fronteira agrícola. Embora a incorporação de

novas áreas tenha sido um vetor importante, notadamente entre as décadas de 1970 e 1990, foi o aumento da produtividade que possibilitou ao Brasil ocupar um lugar de destaque na produção agrícola global. Observa-se (*Figura 1*) que, entre 1975 e 2011, houve intenso crescimento da produção agrícola no Brasil, enquanto o aumento do uso da terra revelou-se muito inferior, o que significa que houve aumento da produtividade.

Quando o rendimento cresce persistentemente, como no período citado, implica que houve mudança de métodos de produção pelos agricultores, ou seja, emprego de tecnologia, que é o fator-chave do crescimento da produção (Alves & Contini, 2014).

Essa trajetória da agricultura brasileira não foi simples. Se no passado ela foi calcada no deslocamento da fronteira agrícola em direção aos Cerrados e ao Semiárido, no presente as exigências socioambientais têm grande importância no direcionamento das políticas e dos investimentos no setor.

Na década de 1970, teve início o deslocamento da fronteira agrícola no Brasil, fato importante para a produção agrícola mundial, notadamente de cereais, frutas e oleaginosas. Até o final da década de 1980, a palavra de ordem era “plante que o Estado garante”, o que possibilitou a aferição de ganhos expressivos de produção com base na expansão da área produtiva, sem outras preocupações.

Apesar dessa lógica simplista, tratou-se de um período importante para preparar a base tecnológica, a exemplo da estruturação da indústria brasileira de sementes, que alcançaria ganhos expressivos de produtividade nas décadas seguintes (*Figura 1*).

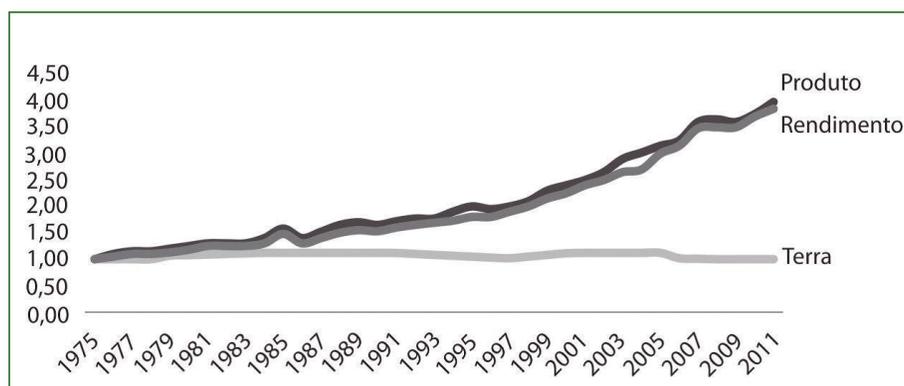


FIGURA 1. Contribuição da terra e do rendimento para o crescimento da produção, entre os anos de 1975 e 2011. Fonte: Gasques et al. (2012).

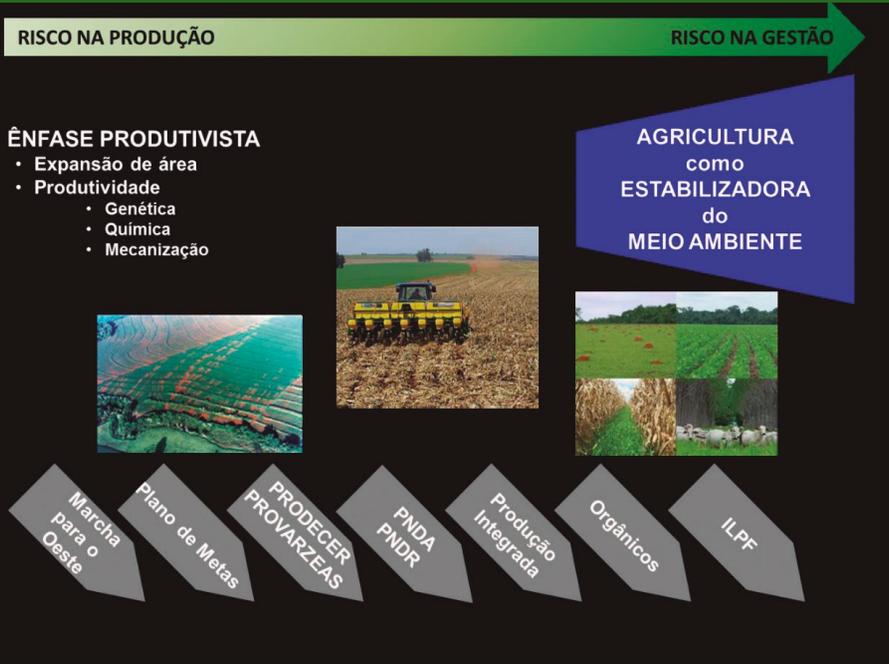
Na década de 1990, em razão das crises econômicas globais e dos consequentes ajustes econômicos e políticos ocorridos em vários países, do aumento na produção agrícola global em taxa superior à demanda e do crescente aumento de subsídios e barreiras não tarifárias, a produção agrícola brasileira sofreu uma reorientação: deixou de ser fortemente orientada pelo Estado e passou a ser orientada pelo mercado, implicando na aceleração dos ganhos de produtividade (*Figura 1*), com implicações positivas sobre a produtividade da terra e sobre a disponibilidade de produtos agrícolas per capita. Na esteira dessas mudanças, o Brasil tornou-se um importante ator no comércio global de produtos agrícolas.

Exemplo significativo desse aumento de produtividade é o caso do algodão brasileiro. Após 1994-1995, a redução na área plantada foi amplamente compensada pelo ganho de rendimento, possibilitando ao país passar de importador a exportador em menos de uma década. Nesse caso, além do aumento no rendimento da terra, o sistema de produção passou por uma reformulação radical, com a substituição da colheita manual pela colheita mecânica, implicando em aumento do fator capital. O aumento de capital, por sua vez, requereu ganhos de escala e deslocamento da produção das regiões ditas tradicionais (Sudeste e Semiárido) para a região dos Cerrados, além de melhorias na qualidade da produção (Buainain & Batalha, 2007).

No lado econômico, a política do “plante que o estado garante”, embora ainda haja participação expressiva dos recursos públicos, foi substituída por “políticas de mercado” (*Figura 2*). Essas mudanças, entre outros aspectos, tornaram a gestão do setor agrícola muito mais complexa, impondo uma miríade de riscos à atividade que, além das ameaças individuais, conectam-se formando um sistema socioeconômico e ambiental extremamente complexo.

O Brasil apresentou um crescimento muito importante de sua produção agrícola e pecuária que contrasta com o crescimento modesto da indústria e da economia brasileira em seu conjunto. A taxa média de crescimento anual de 6% da produção de grãos (entre as safras de 1998-99 e 2014-15) dá mostras de um dinamismo que o país desconhece em qualquer outro setor desde pelo menos os anos 1960-70. Esse crescimento supera também o da agricultura em períodos anteriores, que apresentou taxas muito mais modestas (perto da metade dessa taxa): se no final dos anos 1990 eram utilizados 37 milhões de hectares na produção de grãos, na safra 2015/2016 estima-se que sejam 58,4 mi-

DIMENSÃO DA PRODUÇÃO



DIMENSÃO ECONÔMICA FINANCEIRA

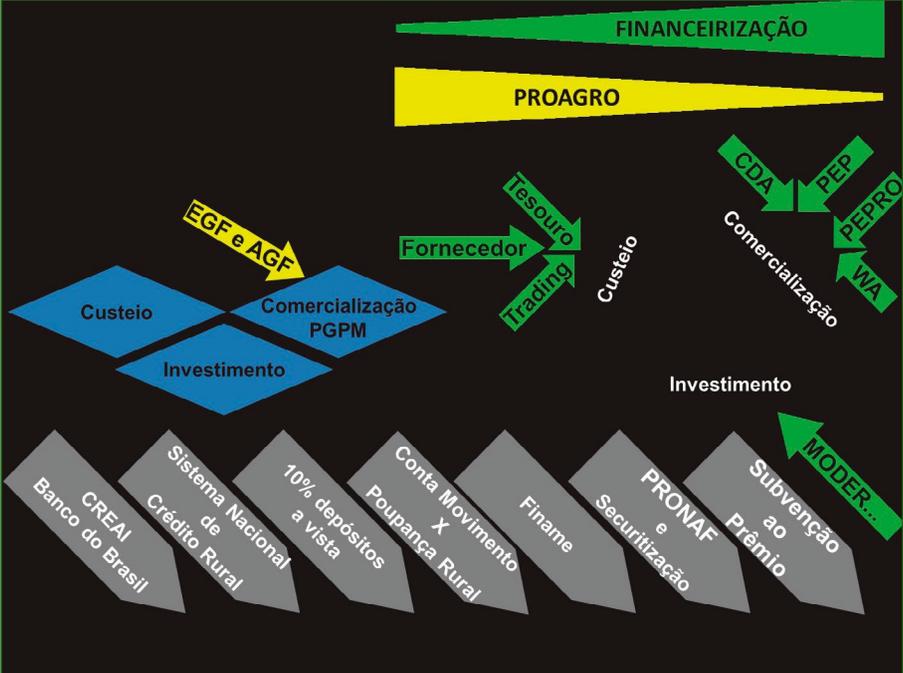


FIGURA 2. Linha do tempo da produção agrícola no Brasil.

lhões, mas o crescimento da produção deve-se também ao crescimento da produtividade¹.

O crescimento forte da agricultura manifestou-se também por meio do aumento de sua importância no comércio exterior: as exportações agrícolas passaram de US\$ 20 bilhões no final dos anos 90 para US\$ 75,15 bilhões em 2015.

O núcleo desse grande dinamismo foi a Região Centro-Oeste, cuja produção de grãos apresentou uma ampliação de 24 milhões para 88,2 milhões de toneladas (na safra de 2014-15), com uma taxa de quase 9% ao ano no mesmo período. Os 54 milhões de toneladas que a Região Centro-Oeste agregou a sua produção nesse curto período representam aquilo que as regiões Sul e Sudeste produziam no final do século XX, após muitas décadas de desenvolvimento de sua produção agrícola e de grãos. O fato de uma região de incorporação recente ao panorama agrícola brasileiro ter sido capaz de elevar em curto intervalo de tempo um volume de produção superior àquele que produziam as duas principais regiões brasileiras, formadas por estados tradicionais produtores, representa um feito notável, que sinaliza a importância dessa região no cenário brasileiro.

Esse crescimento intenso do Centro-Oeste (9% ao ano desde o final dos anos 90), região que abriga a maior parte dos Cerrados brasileiros, foi ainda mais expressivo no caso de Mato Grosso (11% ao ano), que se tornou o mais importante produtor de grãos do Brasil em muito curto intervalo de tempo. Entre o final do século XX (safra 1998-99) e os dados mais recentes, o aumento do volume da produção mato-grossense superou a de cada um dos estados tradicionais. Na safra de grãos 2014/15, segundo dados da Companhia Brasileira de Abastecimento (Conab), o Centro-Oeste respondeu por 42,47%, principalmente de soja, milho e caroço de algodão. Sendo que o Estado de Mato Grosso contribuiu com 24,88% de todos os grãos produzidos no Brasil. No caso de algodão em pluma, os Cerrados respondem por 93,4% da produção nacional, sendo 57,4% somente em Mato Grosso.

Esse dinamismo produtivo notável é resultado de muitos fatores positivos associados ao dinamismo empresarial e do padrão de produção, mas um crescimento tão pronunciado não está isento de tensões importantes e dúvidas. Há dois grupos de tensões que turvam o

[1] Enquanto a produtividade média por hectare aumentou 60% entre as três safras finais dos anos 90 (de 2.205 kg por hectare) e os últimos três anos (média de 3.527 kg por hectare para 2013-2015); a área total aumentou 56,4%.



FIGURA 3.
Abrangência do
Cerrado (AMDA,
s/d).

horizonte da produção agrícola do Cerrado; o primeiro refere-se ao conjunto dos elementos de infraestrutura que têm tornado o escoamento da produção difícil, moroso e caro. É possível considerar, como tem sido dito de modo repetido, que se trata de um problema “para fora da porteira”, para o qual a agricultura depende de soluções externas, nos setores de infraestrutura, de serviços de armazenagem e transportes. São sem dúvida problemas importantes e que precisam ser enfrentados para que a agricultura possa prosperar, gerando riqueza, e que esta não se perca nos custos elevados dos gargalos logísticos e de infraestrutura.

Mas existem também problemas relacionados ao “lado de dentro da porteira”, envolvendo temas e questões propriamente agrícolas e técnicas, muitas vezes dependentes de elos produtivos que são agrícolas e industriais. E enquanto aquele primeiro conjunto de problemas vem sendo identificado há muitos anos e enfrentado com obras que começam a maturar e serviços logísticos que vêm sendo aperfeiçoados², não se pode dizer o mesmo sobre os diversos problemas rela-

[2] Notícias sobre logística em Santos, por exemplo, dão conta de reduções substanciais nos tempos de espera para descarregamento das cargas vindas do Centro-Oeste.

cionados aos “pacotes tecnológicos” dos quais depende crucialmente — e sem alternativas visíveis — a produção, a produtividade e a competitividade da agricultura.

A situação agropecuária do Cerrado brasileiro mostra-se confortável, uma vez que o país dispõe de tecnologia e capital e aumenta sua importância no cenário global. Porém, além das soluções logísticas e socioambientais que já estão em discussão e devem ser implantadas nas próximas décadas, a desaceleração no ganho de produtividade da terra indica que há novos desafios para a sustentabilidade da produção agrícola.

O primeiro desafio é manter a capacidade de resposta aos problemas, a exemplo da defesa sanitária, decorrentes do aumento da produção e da intensificação do trânsito de produtos agropecuários por conta da maior participação no comércio internacional. Outro desafio é atender à necessidade de agregação de valor aos bens produzidos, quer pela produção diferenciada (com certificação de origem, rastreabilidade etc.), quer pela melhoria do processo de industrialização.

Esses desafios implicam, além de manter a atual trajetória de sucesso, superando desafios que essa própria trajetória impõe, incorporar novas dimensões econômicas e desenvolver novos produtos. Esses são os três primeiros passos para o desafio de incorporar valor à produção agrícola e gerar transbordamentos deste para outros setores da economia, notadamente o setor de serviços. A direção está dada, porém, assim como no passado a geração de conhecimento foi um vetor importante para o sucesso atual, o futuro da agricultura brasileira dependerá fortemente da geração de conhecimento, com uma diferença: agora em um ambiente muito mais complexo.

Ainda, o processo de expansão da produção agrícola no Centro-Oeste e no Cerrado³ vem enfrentando uma série de dificuldades relacionadas com o progressivo esgotamento da eficácia das soluções tecnológicas existentes. Esse processo vem recebendo atenção crescente por parte das lideranças regionais, refletindo a preocupação dos agricultores e o conhecimento próximo da realidade local.

[3] O Centro-Oeste compreende os estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A maior parte do Cerrado está localizada no Centro-Oeste, mas ele compreende também áreas localizadas no Tocantins e algumas “manchas” de Cerrado em Roraima (Região Norte), em vários estados do Nordeste (Bahia, Maranhão, Piauí) e nos estados de Minas Gerais e São Paulo, na região Sudeste.

NECESSIDADE DE UM DIAGNÓSTICO COMPARTILHADO PARA O ENFRENTAMENTO DOS NOVOS DESAFIOS DA COMPETITIVIDADE

O discurso mais comum (pelo menos em termos jornalísticos) sobre o chamado agronegócio tem enfatizado uma dicotomia entre o mundo propriamente agrícola (*a porteira para dentro*) e o mundo externo (a armazenagem, as estradas e os demais modais, os portos, ou o *lado de fora da porteira*). Esse discurso tem sido repetido à exaustão, e a opinião pública parece assimilar a mensagem sem filtros.

Por mais que ela sirva para ajudar a priorizar os problemas (graves) que existem fora da porteira pelos poderes públicos, há também custos importantes envolvidos nessa simplificação. O primeiro custo refere-se à oclusão de alguns problemas importantes que rigorosamente se referem ao mundo agrícola, mas não estão exatamente em nenhum dos lados da porteira, mas em ambos: a cadeia agrícola demanda insumos e equipamentos (as duas pernas industriais da agricultura) que não estão dentro da porteira e também não são públicos (ou não têm sido públicos no modelo agrícola brasileiro); e esses esteios da agricultura e de sua produtividade vêm sendo fragilizados por diferentes fatores que poderão, eventualmente, produzir uma crise de produção, de produtividade e de renda dos agricultores, com efeitos ao longo das cadeias a jusante, além de grandes impactos nas regiões agrícolas. O risco é que ocorra uma crise de produtividade, com aumento de custos, e sem que os mercados finais estejam em condições de absorvê-los.

O segundo problema relacionado à dicotomia (muito simplificadora e reducionista) entre os dois lados da porteira refere-se a suas implicações sobre as ações privadas e públicas para a agricultura. A imagem da porteira esconde as relações público-privadas e contribui para adiar a necessidade crescente de abordagens colaborativas e integradas. O Brasil é um caso singular de sucesso na produção agrícola em regiões tropicais — e o principal elemento desse sucesso foi a capacidade de construir um pacote agrícola que se mostrou, apesar de algumas limitações, apto para as condições naturais durante um período importante. Mas boa parte desse pacote, se não seus dois alicerces industriais principais (os insumos químicos e as máquinas), são elementos externos, exóticos, meramente adaptados às condições locais; e eles vêm mostrando progressivamente efeitos adversos e insuficiências. Ambos representam ameaças à sustentabilidade da expansão.

Uma das grandes fragilidades refere-se ao avanço de pragas e

doenças que deveriam ser debeladas pelo sistema de vigilância e defesa sanitária. A defesa sanitária no Brasil não acompanhou o crescimento da produção e do fluxo internacional de produtos agrícolas. Com isso, as práticas necessárias para prevenir, controlar ou idealmente erradicar pragas e patógenos com potencial de provocar danos econômicos à produção agrícola vegetal ou animal de um território padecem de muitas e notórias insuficiências e algumas deficiências graves. São por isso consideráveis as ameaças que pairam sobre a agricultura brasileira.

Um estudo realizado pela Embrapa e pela Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária (Embrapa, 2015) destaca dez pragas como principais ameaças à agricultura brasileira, além das cerca de 150 espécies quarentenárias, com ocorrência em pelo menos um país da América do Sul, que constituem ameaças potenciais à agricultura brasileira.

Os sinais de fadiga do sistema brasileiro de defesa sanitária da agricultura vêm ficando mais claros há muitos anos, e essa exaustão está ligada a sua dificuldade de acompanhar o crescimento do volume de produção e a expansão territorial. Como consequência, perdas importantes vêm sendo registradas em diversas culturas, incluindo algumas das mais importantes.

Os problemas atuais contrastam com casos de sucesso na defesa sanitária brasileira: nas décadas de 1980 e 1990, houve sucesso no combate a doenças como a cercospora e o cancro da haste, que foram debeladas em tempo recorde graças aos programas de pesquisa nacionais. Esse sucesso da defesa sanitária no Brasil foi em grande medida resultado da inteligência estratégica da rede de pesquisa nacional, que antecipou a possibilidade de essas doenças ocorrerem no país e implementou programas de pesquisa. A experiência mostra a necessidade de revigorar a competência de inteligência prospectiva.

Um dos elementos mais preocupantes do modelo consiste em sua excessiva dependência de um progresso técnico exótico e adaptado apenas na margem para as condições locais. Tanto a abordagem química quanto a biotecnológica são lideradas por empresas com atuação global e tênues vinculações com o âmago da agricultura brasileira.

Além da extrema dependência do progresso exótico, houve profundas mudanças na agricultura global, em especial na proteção de plantas e animais. Por exemplo, são vários os indicativos de esgotamento da defesa sanitária calcada na química, sinalizando que, em futuro bastante próximo, a biologia será a base de uma importante

indústria de proteção de plantas e animais. Não por acaso Bayer e Basf uniram-se em uma empresa voltada para o desenvolvimento de produtos para controle biológico de pragas e doenças na agricultura.

A velocidade com que as empresas originárias da química (BASF, Bayer, Dow, DuPont, Monsanto, Syngenta) construíram sua participação forte na indústria de sementes e movem-se em direção a essa “nova” indústria de proteção de plantas mostra ao mesmo tempo seus temores com relação à perda de eficácia das velhas fórmulas químicas e o caráter promissor de uma abordagem extremamente eficaz em termos de proteção da propriedade intelectual dos resultados de seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D)⁴.

Se, no caso da indústria, as empresas de outras origens sempre podem argumentar, com algum fundo de razão (parcial), que suas pesquisas são mais racionalmente (e economicamente) realizadas em suas sedes globais, onde está sua história e de modo próximo de sua estratégia corporativa, não havendo, portanto, necessidade de “duplicação” de esforços e custos, no caso da agricultura, e, sobretudo, da agricultura dos trópicos e dos ambientes diferenciados (como são os do Cerrado), o argumento definitivamente não se aplica. Portanto, a necessidade de realização de esforços autóctones precisa ser reconhecida e priorizada.

A agricultura brasileira é grande demais e importante demais para receber esforços adaptativos, de ajuste, na margem. Além do mais, o Brasil é o país com a maior biodiversidade, ou seja, a “fonte” dessa “nova” indústria de proteção de plantas e, não por acaso, aquele onde as técnicas de controle biológico na agropecuária estão entre as mais desenvolvidas do mundo. Os investimentos a serem priorizados têm, por isso, um caráter muito diferente dos desenvolvimentos adaptativos feitos na margem, para investimentos exóticos (e de grandes volumes) pensados para realidades muito distintas.

O dinamismo que a agricultura brasileira vem apresentando ao longo do século XXI contrasta fortemente com as preocupações — crescentes, mas ainda pouco difundidas — que os agricultores têm revelado sobre as condições básicas de sua atividade. É fato, por um lado, que as condições da demanda mundial mantiveram-se extremamente positivas desde o início do século e que só apresentaram

[4] Aproximadamente 90% das receitas das grandes empresas de biotecnologia vegetal provêm de apenas duas famílias de genes: resistência a pragas e ao glifosato.

breve inflexão ao longo do ano de 2014, logo revertida; mas também é incontestável que a produção tem sido onerada por insumos que demandam uma intensidade de uso crescente, encarecendo a produção. Um exemplo do crescimento nos custos e da dependência externa de insumos pela agricultura brasileira é o uso de fertilizantes químicos, a exemplo do potássio, onde mais de 85% da demanda é suprida por importações. Nesse sentido, apesar de o Brasil, no passado, ter inovado com a substituição da adubação nitrogenada química na soja por inoculantes, o uso de resíduos agrícolas e industriais para a produção de fertilizantes organominerais é uma tecnologia promissora que não tem recebido a devida atenção no Brasil.

Para sustentar — renovando ou reforçando — as vantagens competitivas que permitirão a continuidade do crescimento elevado da agricultura brasileira, é necessário definir e implantar ações efetivas que articulem todos os atores (públicos e privados, agricultores e produtores de seus insumos e equipamentos). É preciso que esses protagonistas programem de modo organizado uma agenda de pesquisa para o enfrentamento dos desafios que acometem a agricultura no Cerrado brasileiro.

Tradicionalmente, a inovação agrícola no Brasil é pautada no investimento público. Porém, exemplos como o do plantio direto requerem que o processo de inovação agrícola envolva elementos para além da pesquisa e do investimento público. Nesse caso, o sistema, embasado na necessidade dos agricultores em conservar o solo, foi desenvolvido pelo produtor rural, com participação ativa da indústria de máquinas agrícolas e apoio da pesquisa pública.

A inovação na agricultura está cada vez mais complexa e dependente da inovação em geral. É crescente a transdisciplinaridade nos processos de inovação, inclusive no setor agrícola. Essa transdisciplinaridade requer a articulação de redes institucionais cada vez mais amplas, o que implica em certa complexidade na gestão e contrapõe-se à lógica do investimento público. Esse é um paradoxo para adoção de um Sistema de Inovação Agrícola (SIA), que tradicionalmente se baseou no setor público, mas é possível no Brasil avançar em direção a uma maior participação do setor privado. Ou seja, um SIA eficaz requer um ambiente de inovação próspero e articulado, de modo a garantir que os conhecimentos gerados em outros campos tornem-se disponíveis para que os atores econômicos e a sociedade em geral compartilhem uma cultura de inovação.

No caso da inovação no Brasil, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) para o período 2012-2015 contempla as seguintes metas: i) reduzir a disparidade tecnológica do país em relação às economias desenvolvidas; ii) liderar os conhecimentos relacionados com a natureza (incluindo a inovação verde, o agronegócio e outras atividades baseadas em recursos naturais); iii) reforçar a internacionalização do sistema de pesquisa nacional; iv) promover o desenvolvimento de uma economia verde; e v) combater as desigualdades sociais e regionais. Essas diretrizes, respaldadas pela implantação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI), conferem à inovação um papel central no desenvolvimento do país e, portanto, criam um ambiente próspero para a inovação na agricultura, como geradora de transbordamentos para os demais setores da economia brasileira (MCTI, 2012).

Porém, o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) agrícola no Brasil ainda é baixo se comparado, por exemplo, aos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e de seus concorrentes diretos na agroeconomia mundial. Apesar de uma posição confortável em relação à América Latina, o Brasil precisa aumentar seus investimentos em pesquisa agrícola para acompanhar o ritmo de seus principais concorrentes no cenário global. Enquanto o investimento público do Brasil em P&D agrícola, no ano de 2013, foi levemente inferior ao que a China investira em 2000 — cerca de US\$ 2 bilhões —, China e Índia despenderam mais de US\$ 3 bilhões e US\$ 6 bilhões, respectivamente. Se, na última década, a China duplicou seus investimentos em P&D agrícola, o Brasil não chegou ao patamar chinês de 2000 e, além de menor, o investimento brasileiro cresce a taxas inferiores às de seus principais concorrentes (OCDE, 2014).

Uma questão fundamental é a predominância do investimento público para a pesquisa agrícola no Brasil que, apesar do crescimento nominal (passou de R\$ 783,17 milhões, em 2000, para quase R\$ 3 bilhões, em 2013), mantém-se baixo em relação ao PIB do país (*Tabela 1*). Além da pesquisa privada, o SIA abrange algumas organizações sem fins lucrativos que, apesar da importância regional e/ou setorial, não são suficientes para mudar a dinâmica do investimento na inovação agrícola brasileira. Dentre essas organizações, é importante destacar as ligadas ao setor de grãos, como a Fundacep (atual Cooperativa Central Gaúcha Ltda. - CCGL), no Rio Grande do Sul, e a Cooperativa

Central de Pesquisa Agrícola (Coodetec), no Paraná, cujo negócio de sementes foi adquirido pela Dow Agrosciences em 2015, além daquelas ligadas aos setores de citros (Fundo de Defesa da Citrocultura - Fundecitrus) e de cana-de-açúcar (Centro de Tecnologia Canavieira - CTC), ambos em São Paulo.

Algumas medidas para incentivar o investimento privado e, principalmente, as relações, em P&D, entre o capital público e o privado já foram implantadas. Citemos como exemplos a concessão de isenções fiscais para promover startups e facilitar a comercialização da inovação, porém, são ainda insuficientes. O papel do setor privado no SIA brasileiro vem crescendo nas últimas duas décadas, porém ainda é mais orientado para o fornecimento de insumos e assistência técnica, com algumas incursões na pesquisa de sementes, máquinas e equipamentos, processamento e insumos agrícolas. Os esforços para que haja maior envolvimento do setor privado nos investimentos em P&D agrícola no Brasil ainda não se traduziram em melhorias: os indicadores locais estão aquém dos de seus principais concorrentes, indicando a necessidade de revisão do modelo atual.

Os indicadores abaixo do desejado e a necessidade da maior participação do investimento privado revelam uma realidade preocupante. Além disso, o volume de recursos aplicados em P&D na agricultura do Brasil não é desprezível, o que sugere que há falta de coordenação e articulação entre os vários entes que compõem o SIA no país.

Esse cenário motivou a reunião de um conjunto muito relevante de atores ligados à agricultura, sobretudo a produção de algodão e grãos no Cerrado, instituições representativas dos segmentos envolvidos, além de um grupo destacado de profissionais ligados ao setor agrícola, em especial, de pesquisadores representando diversas instituições (*Anexo 1*). Esse grupo dedicado de profissionais, que representam o melhor do conhecimento existente no Brasil (tanto o conhecimento vivido pelos agricultores quanto o conhecimento científico das universidades e dos institutos de pesquisa), trabalhou na iniciativa de efetuar um amplo diagnóstico compartilhado dos problemas da agricultura do Cerrado, embora em alguns casos possam ser comuns a outras regiões (como é o caso dos nematoides).

As principais diretrizes apresentadas a seguir condensam o trabalho realizado em estreita colaboração entre a Ampa (Associação Mato-grossense do Algodão), Aprosoja/MT (Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso), Embrapa (Empresa Brasileira de

TABELA 1. Relação entre PIB da agropecuária, PIB do agronegócio e dispêndios em pesquisa agropecuária no Brasil entre os anos de 2000 a 2012 (milhões de R\$ correntes).

	1	2	3	(3/1)	(3/2)
Ano	PIB do agronegócio	PIB da agropecuária	Dispêndios públicos em P&D na agricultura	%	%
2000	276.978,70	57.241,00	783,2	0,28	1,37
2001	307.091,00	66.819,00	851	0,28	1,27
2002	369.401,90	84.251,00	832,7	0,23	0,99
2003	447.562,40	108.619,00	922,5	0,21	0,85
2004	495.888,70	115.194,00	1.055,80	0,21	0,92
2005	506.877,50	105.163,00	1.188,20	0,23	1,13
2006	540.484,80	111.566,00	1.265,10	0,23	1,13
2007	617.363,20	127.267,00	1.509,60	0,24	1,19
2008	722.553,60	152.612,00	1.779,60	0,25	1,17
2009	729.923,40	157.232,00	2.336,10	0,32	1,49
2010	849.476,20	171.177,40	2.501,20	0,29	1,46
2011	957.575,10	192.653,40	2.680,40	0,28	1,39
2012	976.606,40	198.137,10	2.997,40	0,31	1,51

Fonte: Lopes (2015)

Pesquisa Agropecuária) e IMAm (Instituto Mato-grossense do Algodão). O trabalho foi iniciado em setembro de 2013 com uma oficina em que foram discutidos os principais desafios da produção agrícola nos Cerrados do Brasil. É importante ressaltar que essa oficina atendeu aos desafios relacionados à produção agropecuária propriamente dita (dentro da porteira), questões como logística e mercado não foram objeto da discussão.

Essa oficina, que contou com representantes de diversos elos da cadeia de valor agrícola e, portanto, retratou de modo abrangente os problemas e riscos do setor, concluiu que a inovação e a defesa sanitária são questões centrais e podem vir a ameaçar a agricultura brasileira se medidas adequadas não forem implementadas de modo planejado e consistente. O diagnóstico, que foi consensual entre os participantes, pode ser assim resumido:

- O ponto central da fragilidade sanitária foi associado à pesquisa, quer seja para prevenção ou remediação. Para o grupo de profissionais representativo do conhecimento e da prática agrícola, no passado a pesquisa nacional contribuiu para superar as ameaças sanitárias, mas, no presente, a realidade conhecida e vivenciada é bastante diferente e apresenta desafios cujo enfrentamento requer novas abordagens.
- Pragas e doenças como a ferrugem-da-soja, os nematoides e as lagartas Heliiothinae, além do bicudo-do-algodoeiro, não apenas permanecem sem solução como aumentam os prejuízos. No limite, essas pragas e doenças poderão comprometer a posição de destaque que o Brasil detém na produção agrícola global de grãos (milho e soja), fibras e mesmo carnes.
- Há necessidade de “novas” estratégias para a defesa sanitária com uso intensivo da biologia. Por exemplo, no caso da ferrugem-da-soja, doença que pode reduzir em até 70% o rendimento da soja, a situação é alarmante, uma vez que a eficácia das moléculas químicas disponíveis para o controle está se esgotando e a agricultura global não dispõe de outros métodos de controle. Existem também sinais, identificados nas estratégias empresariais dos grandes produtores mundiais de soluções químicas, de que a trajetória anterior possui descontinuidades e inexistem garantias de que haverá alternativas tecnológicas adequadas às condições brasileiras, em especial às da agricultura do Cerrado. Segundo pesquisadores da Embrapa, nas safras entre 2001/2002 e 2011/2012, as perdas acumuladas (perdas propriamente ditas e custos de controle) em decorrência de eventos sanitários totalizaram mais de US\$ 19 bilhões.
- A quebra da resistência dos materiais OGM por parte das lagartas da subfamília Heliiothinae e o avanço dos nematoides são exemplos de fatores de redução contínua da produção com que o agricultor nacional é obrigado a conviver, sem perspectiva de solução.
- O ingresso da praga *Helicoverpa armigera* no território nacional e a carência de soluções são um exemplo da fragilidade das barreiras sanitárias no Brasil e da articulação precária entre os agentes da defesa e da pesquisa. O Brasil carece de ação coordenada, destinando recursos públicos e privados à defesa agro-

pecuária, com foco nas culturas mais relevantes, sob pena de as principais cadeias produtivas brasileiras, de grãos e de fibras, paulatinamente sucumbirem à ação de pragas e doenças.

- Em contraste com a situação brasileira, os grandes competidores do Brasil no cenário global, a exemplo de EUA e Argentina, estão menos sujeitos às mesmas pressões sanitárias. Ademais, o uso da defesa sanitária com pretextos comerciais pode impor barreiras não tarifárias aos produtos brasileiros, o que se soma aos aspectos econômicos da produção. É, portanto, necessário reconhecer que a defesa sanitária está colocando em xeque o desempenho da agricultura brasileira.
- Três caminhos principais foram sugeridos para enfrentamento dessas questões: i) o melhoramento genético convencional e as biotecnologias modernas que permitem direcionar as soluções por meio da aplicação inteligente do conhecimento científico e do uso seletivo de informações científicas; ii) o manejo integrado de pragas, incluindo o controle biológico e novas moléculas químicas com ênfase na semioquímica; e iii) o avanço nas tecnologias e equipamentos voltados para a proteção de plantas.

Além dessas questões que se referem ao diagnóstico, enfatizou-se a necessidade de novas abordagens institucionais baseadas em ações coordenadas por organismos e associações representativas tanto dos atores públicos quanto do setor privado. Nesse sentido, foram apresentados três elementos inovadores:

1. A construção de uma visão compartilhada entre atores localizados em diversos pontos do sistema de pesquisa agrícola sobre os problemas de fundo que ameaçam a continuidade da trajetória de crescimento da produção no Cerrado;
2. O engajamento crescente de atores privados, motivados a assumir novas responsabilidades em matéria de diagnóstico, planejamento e execução de atividades de pesquisa agrícola;
3. A busca por uma nova governança, que permita avançar de modo vigoroso em direção à solução dos problemas identificados, sabendo que o alcance de resultados depende crucialmente de uma mobilização inscrita sobre um horizonte temporal mais longo do que os habitualmente realizados no sistema de pesquisa.

Há no sistema brasileiro de pesquisa desafios a seu aperfeiçoamento institucional e ao alcance de resultados mais efetivos, seja no campo exclusivamente científico (“o avanço da fronteira”), seja na translação desses conhecimentos para a solução de problemas econômicos e sociais. Um fator determinante desses problemas e dos correspondentes desafios decorre do horizonte de planejamento do sistema.

As agendas de pesquisa variam sob a influência de redirecionamentos motivados por ofertas pontuais de recursos. Frente a políticas que não são orientadas por leituras prospectivas de cenários, que as tornariam capazes de identificar prioridades científicas e problemas desafiadores da realidade, os grupos vão buscando recursos e financiamentos em todos os editais e instituições de fomento, estejam ou não alinhados com suas competências centrais. Complementarmente, os grupos mais influentes procuram induzir a formulação das políticas de oferta de recursos para que suas respectivas áreas sejam contempladas. O resultado desse processo é um alargamento recorrente dos temas de cada grupo, com evidente perda de especialização e pulverização sistemática dos recursos de pesquisa em múltiplos temas cujos resultados não chegam a alcançar a robustez necessária para causarem impactos genuínos — seja na fronteira do conhecimento ou nas realidades produtivas.

Os elementos inovadores incorporados nesta proposta encaminham uma solução para este problema recorrente do sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação: uma configuração institucional de tipo *orientada por missão*. A missão é enfrentar, com chances reais de vencer, os quatro desafios elencados pelos participantes das oficinas — lagartas Heliethinae, ferrugem-da-soja, bicudo-do-algodoeiro e nematoides. Partindo de um diagnóstico construído por discussões sucessivas, até o consenso sobre sua relevância e elevada prioridade, o projeto propõe a mobilização de competências e recursos existentes para enfrentar e vencer os problemas urgentes da agricultura do Cerrado. Sem pretender reformar ou reorientar o ambiente institucional estabelecido (e muito funcional para diversos propósitos), o projeto procura organizar um espaço com recursos e as competências existentes para implantar um conjunto estruturado de ações de médio e longo prazo.

A gravidade dos problemas identificados pelos especialistas e sentidos no campo pelos agricultores é suficiente para ensejar esforços vigorosos e prioridade elevada. Entretanto, outras circunstâncias tor-

nam a busca de soluções ainda mais urgente; em primeiro lugar, a conjuntura internacional, que parece estar sofrendo uma inflexão e poderá, nos próximos anos, apresentar tendências de baixa nos preços das principais *commodities* agrícolas. Em segundo lugar, mas não menos importante, parece estar consolidando-se um movimento de recuo das políticas energéticas que apostaram, nos últimos anos, em fontes alternativas para mitigar os efeitos do aquecimento global e a forte dependência com relação ao petróleo importado. Por último, mas não menos importante, porque as empresas de diversos países têm buscado assegurar um elevado grau de provisão das suas necessidades e, com isso, têm estimulado o aumento da oferta em diversas regiões do mundo.

UMA AGENDA PARA O FUTURO: ABORDAGENS INOVADORAS PARA UM REFORÇO DA PESQUISA E O ENFRENTAMENTO DOS DESAFIOS DA AGRICULTURA BRASILEIRA

Independentemente de qualquer avaliação que seja feita sobre o notável papel que a Embrapa e as demais organizações públicas de pesquisa cumpriram e ainda cumprem no desenvolvimento da agricultura brasileira, sobretudo na expansão em direção às novas regiões, os desafios de uma agricultura de vastos territórios e condições diversas são múltiplos e complexos. São também sujeitos a influências de fatores exógenos e com impactos extremamente imponderáveis, que demandarão mais e mais atenção de organismos com capacidade de prospecção e ação sobre o longo prazo. A agenda não imediata, aquela que nenhum agente individual consegue enxergar e muito menos reconhecer como capaz de suscitar movimentos de resposta a seu alcance, essa é necessariamente uma agenda pública, estatal, mesmo que seja compartilhada com os demais atores relevantes. Esta sobrecarga do imponderável (efeitos) decorrente do ponderável (as mudanças climáticas) reforça a necessidade de compartilhamento das agendas de pesquisa entre uma pluralidade de atores.

O advento das biotecnologias modernas concorre para reforçar e tornar mais premente a necessidade de enfrentar com abordagens novas a complexidade e as dificuldades de uma agenda cujas responsabilidades, excessivas, não podem ser enfrentadas por uma só instituição, por maior e mais capilar que ela seja. Esses desafios múltiplos

e variados demandam uma abordagem inclusiva e participativa, ao longo do processo, dos diagnósticos à concepção dos programas, sua implantação tempestiva, execução, monitoramento, revisões periódicas e avaliações dos resultados para aperfeiçoamento regular.

A responsabilidade desse processo não pode recair exclusivamente sobre os ombros de uma única instituição, mesmo que ela seja extraordinariamente competente e merecedora dos maiores créditos por seu papel precursor no passado e sustentador no período mais recente. Se outras razões não existissem, a simples consideração de que os vínculos da pesquisa agrícola com as realidades regionais e locais são fundamentais para que se possa implantar com agilidade a agenda de pesquisa, testando em escala real, por vastos territórios e variedade de condições, os resultados de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Mas existem outras razões, de natureza econômica e de mercado. A evolução da indústria de sementes e do complexo industrial associado no sentido de um elevado grau de oligopolização recomenda um olhar estratégico sobre o futuro. Pode o Brasil depender tão intensamente de um grupo restrito de empresas, que ademais de terem conquistado um vasto número de empresas independentes também estabeleceram, entre si, acordos tecnológicos e comerciais?

O planejamento de longo prazo da agricultura brasileira deve contemplar, ao lado de sua necessária expansão, a defesa dos interesses econômicos dos agricultores e promoção da qualidade dos produtos e dos processos produtivos.

Os desafios futuros da agricultura brasileira são, reconhece-se, muito diferentes daqueles cujo enfrentamento sustentou seu desenvolvimento no passado. Em primeiro lugar, a agricultura brasileira é hoje muito diferente — maior, mais tecnificada, mais capitalizada. É também uma agricultura mais dependente de poucos produtos, voltada para a soja, para o milho, para a cana-de-açúcar e, no Cerrado, para o algodão. A intensidade dessa agricultura é, em si, um grande desafio e produz efeitos secundários que redobram a amplitude desses desafios.

A vastidão territorial do Brasil, o gigantismo de sua agricultura, a quantidade de suas culturas e a variedade das condições econômicas e sociais de seus agricultores definem uma agenda de problemas de política pública e de pesquisa agrícola de dimensões consideráveis. Entretanto, por mais que todos os problemas sejam pertinentes, as

culturas que sustentam a prosperidade de vastas regiões, grandes contingentes demográficos de agricultores e vários setores a jusante demandam soluções prioritárias, que evitem riscos de resultados devastadores e de alto impacto.

A abordagem de problemas de alto impacto envolve a reunião de esforços que podem assim ter chances reais de frutificar. O esforço inicial que os parceiros — Ampa, Aprosoja/MT e Embrapa — realizaram ajudou a produzir um diagnóstico realista e qualificado, que possui ademais a vantagem do compartilhamento. O alardeado distanciamento entre a ciência e a realidade (ou as realidades) do Brasil é também, quando se verifica, um reflexo do distanciamento entre a realidade e a ciência. Por isso, a aproximação que foi produzida pelo esforço empreendido pelos parceiros ajuda a dar visibilidade para problemas reais aos cientistas e, em sentido inverso, ajuda os homens de ação do campo a compreenderem de modo mais concreto as possibilidades oferecidas pela ciência. Por essas razões é que o esforço realizado pelos parceiros pode ser considerado um passo extremamente promissor: ao identificar uma pauta relevante de assuntos extraordinariamente instigantes também em termos científicos, a iniciativa dos parceiros sinaliza para comunidade científica um conjunto de temas motivadores. Essa construção representa um passo decisivo para a permanência das agendas. Mas é preciso que se desdobre em outros.

A construção de editais por parte das políticas de C&T tem que ser integrada aos esforços definidos pelos parceiros nessa etapa inicial. E a integração tem que ocorrer em dois sentidos; em primeiro lugar, é necessário dar sustentação temporal às agendas. Isso deve ser feito apontando para o reconhecimento das prioridades e de sua continuidade em todas as etapas: formação de recursos humanos, equipamento de laboratórios, chamadas regulares, grandes programas (como os INCTs, no plano federal, e os CEPIDs, no plano estadual de São Paulo). Em segundo lugar, e de forma complementar, mas não menos importante, é necessário que as prioridades definidas não sejam poluídas e dispersas com uma sequência de lançamentos posteriores que desviem as atenções da comunidade (estudantes, pesquisadores, líderes de pesquisa, gestores de projetos, lideranças de instituições científicas) dos objetivos definidos como prioritários para outros temas. Nada deve impedir a liberdade de pesquisa, até porque os pesquisadores, individualmente, são capazes de identificar temas que ajudam a construir caminhos de conhecimento desconhecidos

na partida e não previstos pelas políticas e pelo planejamento científico. Mas entre a liberdade dos pesquisadores acadêmicos e a miríade de temas estimulada pelas políticas e seus programas existe uma diferença extraordinária. Ela exige a coordenação dos esforços. Exige, portanto, que o esforço feito até aqui tenha um desdobramento no plano federal (CNPq, Finep; Capes e Sesu; CNPEM; BNDES; MAPA) e nos planos estaduais (secretarias de Ciência e Tecnologia; universidades; fundações de amparo à pesquisa).

Além dos alinhamentos com os organismos de fomento e afins, há também a demanda por um processo de visibilidade e de atração de talentos junto à comunidade de pesquisadores propriamente ditos: estudantes talentosos bem podem ser motivados a construir suas carreiras de pesquisadores em torno de projetos desafiadores e dotados de qualidades científicas ao lado de compromissos com o desenvolvimento brasileiro. Que jovem cientista talentoso e comprometido com o desenvolvimento do Brasil não se sentiria atraído por tal desafio? Também aqui a visibilidade da agenda e a redução (ao longo do tempo) de alternativas erráticas e diversionistas podem ajudar a definir trajetórias consistentes, articuladas com as linhas mestras da agenda.

A construção de alinhamentos “para cima” e de motivações científicas “para baixo” é uma forma de conferir permanência e vigor ao programa e pode cumprir papéis muito importantes ao longo do tempo. Mas o núcleo do programa de pesquisa deve ser formado pelas articulações interinstitucionais e pelos instrumentos de gestão, acompanhamento e avaliação.

Em resumo, os principais desafios em curto, médio e longo prazos consistem em:

[1] Realizar uma prospecção abrangente

Para subsidiar os esforços de planejamento e envolver instituições de pesquisa e de fomento no detalhamento da agenda e na organização das responsabilidades.

[2] Atrair talentos individuais e grupos consolidados

Para a agenda de longo prazo, direcionando progressivamente seu envolvimento com os temas e as abordagens definidas.

[3] Consolidar as prioridades de pesquisa nas agências de fomento

Para a perspectiva de enfrentamento continuado dos problemas.

[4] Desenvolver e implantar sistema de pesquisa inovador

Para o encadeamento do desenvolvimento tecnológico e industrial das soluções encontradas.

A criação de uma plataforma de pesquisa multi-institucional para o enfrentamento dos desafios fitossanitários que ameaçam o prosseguimento da expansão agrícola brasileira, centrada no Cerrado, e a própria competitividade do setor, resume-se, portanto, no enfrentamento de dois grandes desafios de natureza institucional:

1. Um planejamento de longo prazo dos desafios da pesquisa científica e dos instrumentos e mecanismos para sua translação em tecnologias; e
2. Uma governança compartilhada que assegure a coparticipação dos principais atores, públicos e privados, agrícolas e não agrícolas.

PROPRIEDADE INTELECTUAL

Transversalmente ao modelo proposto, existe uma necessidade de assegurar a translação dos conhecimentos para a exploração comercial. Sobretudo no campo da biotecnologia, a distância entre o conhecimento científico e seu uso tecnológico pode ser extraordinariamente reduzida. Demandas regulatórias podem adiar por longos intervalos a exploração comercial, mas é fato amplamente reconhecido que o conhecimento científico pode ter valor “ainda na bancada”. Esse valor será acrescido dos esforços despendidos ao longo da cadeia de desenvolvimento, mas o ponto de partida científico pode ter valor; e isso coloca para as configurações a serem escolhidas algumas demandas que precisam ser planejadas. Nem todas as formas institucionais são facilmente aptas para uma transferência do conhecimento científico-tecnológico para a escala industrial, econômica e comercial. E não se trata aqui de questionar qualquer necessidade de reconhecimento dos direitos econômicos das partes envolvidas, mas de viabilidade, agilidade e capacidade de realizar de modo tempestivo os contratos e as negociações necessários para a translação dos conhecimentos em utilidades economicamente viáveis.

O problema deve ser separado em dois: a) os direitos econômicos decorrentes da propriedade intelectual e b) a capacidade de estruturar soluções úteis e ágeis a partir de elementos (estabelecidos ou não) de propriedade intelectual. Esta separação tem efeitos práticos decisivos sobre a estratégia de pesquisa e de construção de soluções. Os problemas mais relevantes relacionados com a PI de pesquisas em temas relevantes de aplicação referem-se ao emaranhado de direitos,

expectativas de direitos e bloqueios institucionais decorrentes de uma presunção de valores que raramente se materializam. E raramente se materializam também em decorrência dos bloqueios institucionais, pois sem uma base sólida as etapas avançadas simplesmente não conseguem captar os recursos necessários para que os resultados cheguem a bom termo. Por isso, há que se criar um mecanismo que assegure uma repartição equânime dos possíveis benefícios econômicos de qualquer solução que venha a ser comercializada, para que o processo de desenvolvimento e implantação das soluções criadas não seja interrompido prematuramente por falta de aportes de partes interessadas. As partes envolvidas deveriam, por isso, renunciar previamente aos direitos de propriedade intelectual em favor de um fundo sem benefícios econômicos, que reinvesta seus resultados em novas pesquisas. Esse mecanismo impede a criação — tão comum — de expectativas artificiais de ganhos assimétricos e transfere os resultados para uma alimentação do fundo, administrado pelas partes (independentemente do modelo institucional que venha a ser escolhido).

Precedente do modelo: nas encomendas de projetos tecnológicos dos ministérios nos EUA, inclusive no Departamento de Energia, que possui numerosos e volumosos contratos, é comum que a PI da solução (produto, processo) seja integralmente do beneficiário da encomenda, geralmente uma empresa privada. Filosofia subjacente a essa transferência é tão simples quanto eficaz: o ganho social e público da solução, uma vez adotada em escala, é muito superior aos ganhos privados da sua exploração econômica e ao investimento público realizado. O que importa ao poder público são a solução e o processo de criação de riqueza (privada e social) associado. O “retorno” do investimento realizado dá-se por meio dos efeitos ampliados na economia e na sociedade, e não por meio da “devolução” aos cofres públicos do montante investido por meio de *royalties* ou participações. A única ressalva a este mecanismo consiste na devolução da PI ao organismo financiador no caso de o beneficiário não ter a intenção de explorá-la comercialmente, deixando o poder público livre para encontrar alguma outra empresa interessada em seu uso.

ALGUMAS EXPERIÊNCIAS INSPIRADORAS

Existem experiências anteriores com algumas das características desta proposta: o projeto Genoma (Fapesp), o projeto das instituições e empresas de florestas plantadas (Ipef), o projeto de Bioenergia (Fapesp) e uma experiência internacional (controle biológico) oferecem alguns elementos comuns.

(A) PROJETO GENOMA

Em 1997, um grande salto qualitativo e quantitativo foi dado com o início do Projeto Genoma da Fapesp (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo), com um financiamento recorde (à época) de US\$ 25 milhões.

Uma rede com colaboração de 21 laboratórios foi organizada por todo o Estado de São Paulo (Onsa - Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis - The Virtual Genomics Institute).

- O objetivo inicial foi detalhar por completo o sequenciamento do genoma de *Xylella fastidiosa* (uma bactéria fitopatogênica de grande importância econômica para o Estado, causadora de doença cítrica).

Resultados

Com o sucesso do primeiro projeto Genoma, o Instituto Virtual de Genômica expandiu seus objetivos e projetos:

Primeiros contratos externos foram assinados (*Xylella fastidiosa* da videira).

- Genoma de câncer humano;
- Genoma de cana de açúcar;
- Genoma de *Schistosoma mansoni*;
- Genoma de *Xanthomonas axonopodis* (cancro cítrico).

A rede de laboratórios de pesquisa foi expandida para mais de 50 grupos.

(B) FLORESTAS PLANTADAS – IPEF INTEGRAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA

Desde 1968, o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef)

destaca-se por sua contribuição para o desenvolvimento científico e tecnológico do setor florestal brasileiro.

Com o aperfeiçoamento do modelo de atuação dos Programas Cooperativos, o Ipef envolve os profissionais das empresas em todas as fases dos projetos, abrangendo a concepção, o planejamento, a implantação, a condução, a obtenção dos resultados e conclusões. Possibilitando uma ótima sinergia entre os participantes da academia e das empresas, resultando na otimização da interação entre as empresas cooperantes e outras empresas convidadas, agregando novas contribuições aos trabalhos em andamento.

- Arauco Florestal Arapoti S.A.
- Arborgen Tecnologia Florestal Ltda.
- Aperam BioEnergia Ltda.
- ArcelorMittal BioFlorestas Ltda.
- Brasilwood Reflorestamento S.A.
- Celulose Nipo-Brasileira - Cenibra
- CMPC Celulose Riograndense
- Copener Florestal Ltda.
- Duratex S.A.
- Eldorado Brasil
- Eucatex S.A. Indústria e Comércio
- Fibria Celulose S.A.
- Forestal Oriental
- Gerdau S.A.
- International Paper do Brasil Ltda.
- Jari Celulose, Papel e Embalagens
- Klabin S.A.
- Lwarcel Celulose Ltda.
- Montes Del Plata S.A.
- Ramires Reflortec S.A.
- Rigesa Celulose, Papel
- Stora Enso Florestal RS Ltda.
- Suzano Papel e Celulose S.A.
- Vallourec Florestal Ltda.
- Veracel Celulose S.A.

Programas Cooperativos em andamento

- Monitoramento e Modelagem de Bacias Hidrográficas (Promab)
- Melhoramento Florestal (PCMF)
- Silvicultura e Manejo (PTSM)
- Mecanização e Automação Florestal (PCMAF)
- Clonagem e Enraizamento de Eucalipto (Pece)

Proteção Florestal (Protef)

- Torre de Fluxo (Euflux)
- Tolerância de Eucalyptus Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico (Techs)
- Produtividade Potencial do Pinus no Brasil (PPPIB)
- Certificação Florestal (PCCF)

(C) BIOENERGIA - BIOEN (FAPESP)

Lançado em 2008, o Programa Fapesp de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) tem por objetivo estimular e articular atividades de pesquisa e desenvolvimento utilizando laboratórios acadêmicos e industriais para promover o avanço do conhecimento e sua aplicação em áreas relacionadas à produção de bioenergia no Brasil.

Apoio da Fapesp	
Auxílios à pesquisa em andamento	38
Auxílios à pesquisa concluídos	113
Bolsas no país em andamento	60
Bolsas no país concluídas	288
Bolsas no exterior em andamento	4
Bolsas no exterior concluídas	16
Total de auxílios e bolsas	519

(D) CONTROLE BIOLÓGICO

Soluções que devem ser combinadas para tratar o grande desafio do controle biológico na França

- Reduzir o uso de defensivos agrícolas, mantendo a produção e o rendimento agrícola é um desafio considerável.
- A França decidiu assumir este desafio no contexto do plano de EcoPhyto.

- Para alcançar este objetivo, será necessário combinar uma ampla variedade de soluções, que vão desde a criação de novas variedades, mudanças nas práticas de cultivo e sistemas de produção agrícola, como a ampliação da rotação de culturas, a diversificação do uso da terra e a utilização de métodos de controle biológico.
- Para ter sucesso neste projeto agroecológico, a alternativa aos pesticidas representa um grande desafio e o uso de controle biológico oferece uma oportunidade excelente para agricultores e empresas francesas em termos de opções economicamente promissoras.

Coordenação dos esforços dos atores em pesquisa e inovação para desenvolver uma indústria de controle biológico na França

- Requer esforços coordenados por atores em pesquisa, P&D e Inovação.
- Esforços abrangentes e articulados: ação não restrita a produtos de controle biológico isoladamente, incluindo as condições necessárias para as soluções de controle biológico em sistemas de cultivo, ferramentas de apoio à decisão e atividades de consultoria.
- Ao mesmo tempo, é necessário conjugar esforços em matérias científicas, tecnológicas e regulamentares.
- Em 2013, a indústria francesa de controle biológico alcançou volume de negócios no valor de € 110 milhões e gerou mais de 5,5 mil empregos diretos ou indiretos.
- No horizonte de 2020, a iniciativa deverá permitir o aumento da fatia de controle biológico de 15% do mercado de proteção de plantas francês (5% no presente), e multiplicar por quatro os empregos oferecidos pelo setor.

Instituições de pesquisa

- INRA - Instituto Nacional de pesquisa Agrônômica - França (Institute National de la Recherche Agronomique, em francês)
- Cirad - Centro Internacional de Cooperação em Pesquisa - França (Centre Internationale de Coopération en Recherche, em francês)

- ACTA - Associação de Coordenação Técnica Agrícola Francesa – Rede para pesquisa inovativa em agricultura (Association de coordination technique agricole, em francês)

Ministério

- MAAF Ministério da Agricultura, Agroalimentar e Florestal da França (Ministère de l’agriculture, de l’agroalimentaire et de la forêt, em francês)

Associação

- IBMA France – Associação Internacional de Empresas de Biocontrole (International Biocontrol Manufacturers’ Association – France, em inglês)

Empresas industriais

- Basf
- Bayer
- Goëmar
- InVivo
- Koppert
- Lesaffre
- De Sangosse
- Syngenta

Referências

ALVES, E.; CONTINI, E. Tecnologia: prosperidade e pobreza no campo. In: SENRA, N. C. (Coord.) **O Censo entra em campo: o IBGE e a história dos recenseamentos agropecuários**. Rio de Janeiro: IBGE/Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 2014. p. 205-230.

AMDA. Associação Mineira de Defesa do Ambiente. Disponível em: <http://www.amda.org.br/?string=interna-informacoes-ambientais&cod=32>. Acesso em 08/06/16.

BRASIL. 2015. Portal Brasil. PIB do agronegócio cresceu 1,8% em 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/03/pib-do-agronegocio-cresceu-1-8-em-2015>. Acesso em 13/06/16.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2013/2014 a 2023/2024, projeções de longo prazo**. Brasília: Mapa/ACS, 2014b. 100 p.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.) Cadeia produtiva do algodão. Brasília: IICA e Mapa/SPA, 2007. 108 p. (Agronegócios, v. 4.)

CONAB. 2015. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2014/2015. Décimo segundo levantamento. Setembro/2015.

EMBRAPA. Projetos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/projetos>>. Acesso em: 23 mar. 2015b.

EMBRAPA. 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Portal de notícias. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2514645/pesquisa-mapeia-os-pontos-criticos-para-entrada-de-pragas-no-pais>>. Acesso em 04/06/16.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, [S. l.], v.2, n.1, p. 35-46, 2014.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 83-92, jul./set. 2012.

LOPES, M. A. Aliança para Inovação Agropecuária no Brasil Fundamentos – Atores – Estratégia – Operação. **Apresentação na Reunião do Conselho Superior do Agronegócio – Cosag.** FIESP. 03/11/2015.

MCTI. 2012. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015.

OCDE. Organization for Economic Co-operation and Development. **Oecdscience, technology and industry outlook 2014.** Paris: Ocde Publishing, 2014. 476 p.

Capítulo 3

RISCOS E OPORTUNIDADES: O BICUDO-DO-ALGODOEIRO

Jean-Louis Bélot

jeanbelot@imamt.com.br

IMAmt

Eduardo Moreira Barros

eduardobarros@imamt.com.br

IMAmt

José Ednilson Miranda

jose-ednilson.miranda@embrapa.br

Embrapa Algodão

RESUMO. *O bicudo-do-algodoeiro, desde sua introdução no Brasil, em 1983, tornou-se praga-chave do cultivo algodoeiro. Ele transformou profundamente a estrutura de produção, inviabilizando os sistemas baseados em agricultura familiar; no sistema de produção intensificado e mecanizado, desenvolvido no Cerrado do Centro-Oeste brasileiro, a convivência com a praga é possível, mas requer esforços de todos os produtores de cada região. Qualquer falha na implantação das medidas de controle por parte de um só produtor pode elevar drasticamente as populações do inseto e causar prejuízos significativos para a safra seguinte. Ademais, os custos do controle da praga, diretos (inseticidas principalmente) e indiretos (destruição dos restos culturais) e as perdas de produção causadas no Brasil são estimadas em mais de US\$ 200 milhões anuais.*

No país, a erradicação da praga esbarrara em entraves muito maiores que os encontrados por nossos competidores americanos. O clima brasileiro é muito mais favorável ao inseto, as barreiras naturais não existem, a legislação não consegue ser tão rigorosa e coercitiva e, infelizmente, o nível pleno de conscientização dos produtores quanto à necessidade de ações coletivas, ininterruptas e eficientes para redução da população do inseto ainda não foi atingido. Por outro lado, todos os projetos estaduais de controle do bicudo e

a grande demanda por pesquisas e ações organizadas para seu controle têm gerado expectativas de que a cotonicultura brasileira, tão acostumada a vencer obstáculos, possa superar também esse, que é talvez o maior gargalo para a produção de algodão do Brasil.

O produtor brasileiro precisa de mais ferramentas para incorporar medidas de controle na busca da redução dos riscos ligados ao bicudo-do-algodoeiro. Entidades de pesquisa públicas e privadas precisam unir-se para encontrar inovações decisivas para o combate à praga antes que o cultivo do algodoeiro no Cerrado torne-se insustentável. Com essa visão, a Ampa e outras associações de produtores de algodão brasileiras estão empenhadas em financiar pesquisas, em conjunto com fundos federais e estaduais, no marco de uma rede multi-institucional que envolva Embrapa, IMAMt, universidades e empresas privadas.

INTRODUÇÃO

A cotonicultura no Brasil é muito antiga. Baseava-se inicialmente no cultivo de espécies de algodão nativas, sendo a costa brasileira a região de difusão e domesticação das espécies *Gossypium barbadense* r. brasiliense e *Gossypium hirsutum* r. marie-galante.

Mais recentemente, destacam-se três ciclos bem diferentes para o cultivo no Brasil. Um primeiro, caracterizado pelo cultivo extensivo de algodão Mocó (algodão perene, chamado de algodão “arbóreo”, *G. hirsutum* r. Marie-galante), no Semiárido do Nordeste, desde o final do século XVIII até o fim da década de 1980. Um segundo ciclo, com cultivo de algodão anual “herbáceo” ou “Upland” (*G. hirsutum* r. latifolium) nos estados de São Paulo e Paraná, com emprego de mão de obra familiar, insumos químicos e algum nível de mecanização, pelo menos para os tratos culturais, até a metade dos anos 1990. E, finalmente, o ciclo atual de cultivo nos Cerrados brasileiros, totalmente mecanizado, da semeadura à colheita, e com uso intensivo de insumos químicos, em associação com os cultivos de soja e milho, ciclo que teve início no final dos anos 1990.

Atualmente, o Estado de Mato Grosso é o maior produtor de algodão do Brasil, com aproximadamente 578 mil ha plantados na safra de 2015/16 (Conab, 2016), seguido pelos estados de Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul etc.

O cultivo é de grande importância para o agronegócio do Centro-Oeste; a cultura foi incorporada ao sistema de produção agrícola do Cerrado como alternativa de rotação ao cultivo da soja, modelo de produção totalmente mecanizado e intensificado. Com cultivo predo-

minantemente feito em regime pluvial de sequeiro, o algodão brasileiro alcança as maiores produtividades mundiais nessas condições.

O Brasil é um dos poucos países que conseguem produzir algodão em condições tropicais úmidas, com excesso de chuvas durante o ciclo da planta. Essa é uma das razões por que o espectro de pragas e doenças que prejudicam o cultivo é amplo e diversificado, exigindo diferentes medidas de controle, tanto cultural como químicas ou biológicas. Nesse contexto, o bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis*, tornou-se praga-chave da cultura.

A espécie, específica do algodoeiro, alastrou-se pelas áreas de produção do Brasil desde sua introdução no país, em 1983 (Barbosa *et al.*, 1986), e tornou-se praga-chave por conta de seu alto poder destrutivo e custo de controle elevado. Na vegetação dos Cerrados, *A. grandis* encontrou plantas hospedeiras alternativas que permitem pelo menos sua alimentação e sobrevivência durante a entressafra. A ausência de inverno rigoroso dificulta a destruição dos restos culturais (“soqueira”) e aumenta a possibilidade de as populações de bicudo sobreviverem e/ou desenvolverem-se durante o vazio sanitário.

Conviver com a praga requer a implantação em nível regional e no das unidades produtivas de diversas medidas de controle. Qualquer falha nesse manejo pode acarretar perdas importantes e/ou elevar os custos de controle, inviabilizando economicamente a produção. Assim, mesmo com o uso de todas as ferramentas atualmente disponíveis, o bicudo-do-algodoeiro é um perigo permanente para o produtor, o que justifica a mobilização da pesquisa para encontrar novas alternativas para o controle dessa praga.

1. ORIGEM E DISPERSÃO DO BICUDO-DO-ALGODOEIRO NO CONTINENTE AMERICANO

O bicudo foi detectado pela primeira vez no México, em 1880, causando danos ao algodoeiro (Lanteri *et al.*, 2003). Mas sua presença já teria sido notada há mais de mil anos. Em 1843, Boheman descreveu a espécie *Anthonomus grandis* a partir de indivíduos coletados no México. Esse país é considerado o centro de origem e diversificação das espécies de algodão tetraploides *G. hirsutum* (Brubaker *et al.*, 1999), e o cultivo do algodoeiro naquele país propiciou oportunidade ecológica para o inseto, que coevoluiu com a cultura, tornando-se altamente adaptado e, ao mesmo tempo, dependente da cultura para seu estabe-

lecimento, desenvolvimento e reprodução.

A praga, antes de ser identificada, provavelmente já havia colonizado boa parte da América Central, mas ficava restrita a essas áreas com cultivo algodoeiro não muito expressivo.

Dispersão do bicudo-do-algodoeiro

Com distribuição restrita à América Central durante vários séculos, a praga começou a espalhar-se pelos países vizinhos, por conta do desenvolvimento tecnológico e da consequente dispersão do cultivo do algodoeiro, fenômeno verificado a partir da década de 1980 (*Figura 1*).

Estados Unidos

Do México, o bicudo teria se dispersado para o Sudeste dos Estados Unidos, onde injúrias causadas pelo inseto nas estruturas florais das plantas foram relatadas pela primeira vez em 1894 (Howard, 1894). Tudo indica que o bicudo-do-algodoeiro teria cruzado o Rio Grande para infestar cultivos de algodão do Texas nos anos 1890 (Smith & Harris, 1994). A colonização das lavouras americanas pelo inseto deu-se por um processo de dispersão natural e seleção natural paralela às novas áreas, mais áridas que as regiões mexicanas de origem (Burke *et al.*, 1986). Em algumas décadas, a praga conseguiu infestar todas as regiões algodoeiras dos Estados Unidos, do Cotton Belt até chegar às áreas cultivadas nas proximidades da costa do Oceano Atlântico, no ano de 1922 (Lange *et al.*, 2009).

Por conta das importantes perdas econômicas ocasionadas pelo bicudo, as autoridades públicas e as associações de produtores decidiram implantar um plano de erradicação do bicudo-do-algodoeiro nos estados americanos produtores de algodão (Allen, 2015), que teve início com projetos-piloto nos estados de Mississipi e Luisiana, em 1971, e foi implantado progressivamente nos demais estados produtores. O plano foi considerado um grande sucesso, e, atualmente, somente algumas áreas marginais (sul do Texas) ainda sofrem com danos causados pela praga.

América do Sul

A dispersão do inseto pelo sul do continente americano, a partir dos países da América Central, foi progressiva. Registrou-se a ocorrência do inseto na Venezuela, em 1949 (Whitcomb & Britton, 1953), e na Colômbia, em 1951 (Marín, 1981). Depois de espalhar-se pelos dois

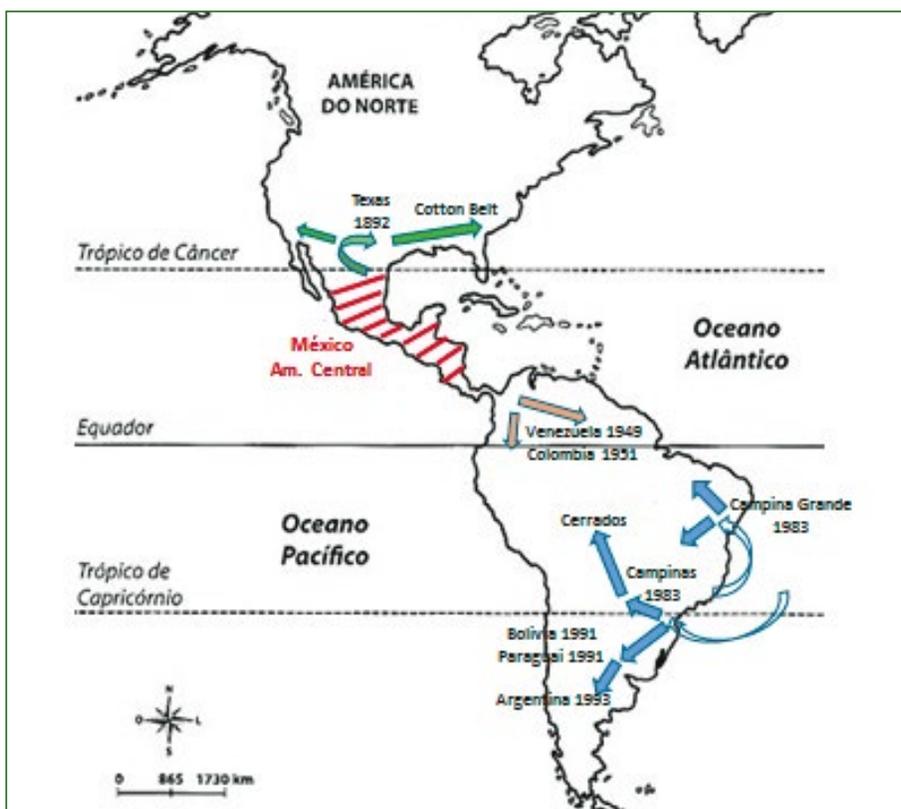


FIGURA 1. Dispersão do bicudo-do-algodoeiro nas Américas.

países, o inseto provavelmente colonizou amplas áreas do norte e do noroeste do subcontinente, mas aparentemente sem invadir e colonizar países algodoeiros vizinhos, como Equador, Peru e Brasil.

O salto deu-se com a introdução aparentemente acidental da praga no Sudeste e no Nordeste do Brasil em 1983 (Nakano, 1983), e seu alastramento natural pelas lavouras de algodão dos países do Cone Sul, para atingir, em 1991, o Paraguai e a Bolívia (Marengo & Whitcomb, 1991; Pretelt *et al.*, 2005), e, em 1993, a Argentina (Lanteri *et al.*, 2003).

No Brasil, em fevereiro de 1983, a presença do bicudo foi constatada em áreas de cultivo de algodoeiro próximo a Campinas/SP, sendo comunicada oficialmente pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq-USP), de Piracicaba (Nakano, 1983; Degrande, 1991; Busoli & Michelotto, 2005). A origem desses insetos introduzidos no Brasil é incerta, com referências na literatura às áreas de produção do Sudeste dos Estados Unidos, Nordeste do México, Haiti, República Dominicana, Venezuela ou Colômbia (Bastos *et al.*, 2005; Degrande, 1991;

Santos, 1999), porém a hipótese mais aceita é a de que a origem desses insetos seja de fato o Sudeste dos Estados Unidos, e que sua introdução tenha sido feita por avião, uma vez que os primeiros focos detectados situavam-se nas proximidades do Aeroporto de Viracopos de Campinas (Nakano, 1983). Confalonieri *et al.* (2000), após avaliarem o DNA mitocondrial de indivíduos de bicudo, confirmaram serem as populações do inseto estabelecidas no Brasil oriundas dos Estados Unidos.

Quando da constatação dos primeiros focos do bicudo no Brasil, a ideia de contenção e mesmo de erradicação do inseto foi considerada, com a implantação de diversas medidas de controle (Braga Sobrinho & Lukefahr, 1983). Não obstante, algumas questões tiveram peso enorme e inviabilizaram as atitudes sugeridas. Do ponto de vista econômico, a cotonicultura praticada naquela época, tanto no Nordeste quanto nos estados de São Paulo e Paraná, não estava preparada para a implantação de medidas enérgicas de controle químico, uma vez que o poder aquisitivo dos produtores não lhes permitia grandes aportes (Cruz, 1991). As questões de segurança alimentar e ambiental também foram cruciais. Parte da área de produção de algodão era feita em sistema de consórcio com culturas alimentícias e temia-se pela contaminação dos alimentos produzidos com o uso intenso de inseticidas contra o bicudo-do-algodoeiro. Mesmo em áreas de cultivo isolado de algodoeiro, julgou-se na época que medidas químicas de contenção populacional provocariam um desequilíbrio ambiental sem precedentes (Barbosa *et al.*, 1986).

Após a detecção do bicudo em Campinas, ele foi encontrado também em julho de 1983 no Estado da Paraíba, provavelmente transportado de São Paulo com caroço usado para plantio de novas áreas (Barbosa *et al.*, 1986). Na ausência de adoção de medidas de contenção, em alguns anos, o bicudo-do-algodoeiro alastrou-se por toda a área algodoeira do Sul e pelos estados do Nordeste do Brasil, onde milhões de hectares de algodão perene eram então cultivados. No Paraná, o bicudo foi identificado pela primeira vez em 1984, em municípios do Norte do Estado. Duas safras após sua introdução no Brasil, a praga encontrava-se disseminada em todas as regiões produtoras (Santos, 2004).

Depois de alastrar-se pelo Sul do Paraná, era uma questão de tempo para a praga chegar aos países vizinhos, como Paraguai, em 1997, com grave comprometimento da produção pelo ataque da praga; Bolívia, com relatos a partir de 1991 e rápida dispersão nas áreas algodoeiras de Santa Cruz de la Sierra e arredores; e Argentina, que teve seu

primeiro registro de ocorrência em 1993, no Parque Nacional Iguazú, em Misiones, uma área onde não se cultivava algodão. No ano seguinte, o inseto já foi notado em Formosa e, em 1996, um foco foi detectado em áreas de pequenos produtores na Província de Corrientes, localizada nas proximidades da divisa com o Paraguai (Lanteri *et al.*, 2003). Uma rede de armadilhas com feromônio foi instalada nas áreas de produção de algodão, a fim de monitorar a dispersão da praga, com especial atenção dada a áreas fronteiriças, rodovias e áreas de cultivo (Manessi, 1997). Durante 10 anos, o programa conseguiu conter e erradicar os focos. Porém, no início dos anos 2000, faltaram recursos, coincidindo com o momento de crise econômica do país. O fato favoreceu a dispersão do inseto e, uma década após a primeira ocorrência, o bicudo chegou em 2003 à região do Chaco, principal região produtora de algodão, que responde por cerca de 60% da produção de pluma no país (Lanteri *et al.*, 2003).

Atualmente, todas as regiões produtoras de algodão da América do Sul estão infestadas, em diferentes níveis, pelo bicudo-do-algodoeiro.

2. BIOLOGIA E ECOLOGIA DO BICUDO-DO-ALGODOEIRO NOS CERRADOS BRASILEIROS

O bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae), é um inseto que apresenta metamorfose completa, passando pelas fases de ovo, larva, pupa e adulto (Cross, 1973). Os adultos podem apresentar coloração que vai do marrom-avermelhado ao cinza-escuro (Figura 2) e que varia de acordo com a idade/dias após emergência.

Os indivíduos medem em torno de 3,8 mm a 8,0 mm de comprimento (Greenberg *et al.*, 2007) e possuem cabeça típica da família Curculionidae, prolongando-se em um rostro, que tem metade do com-



FIGURA 2.
Adulto de bicudo-do-algodoeiro (foto: J. Medeiros).

primário do corpo. As antenas são genículo-clavadas e encontram-se inseridas na metade do rostró, enquanto que as peças bucais encontram-se no extremo distal deste. Como característica para identificar a espécie, tem sido observada a presença de um par de espinhos em cada fêmur do primeiro par de pernas dos adultos (Bastos *et al.*, 2005; Gallo *et al.*, 2002; Torres *et al.*, 2009).

Cada fêmea do bicudo-do-algodoeiro pode ovipositar em média 200 ovos durante um período de 10 a 12 dias (Stadler & Buteler, 2007), e são depositados no interior das estruturas reprodutivas da planta (Showler, 2004). Logo após a deposição do ovo, o orifício é coberto com uma substância gelatinosa translúcida que tem função protetora. As fases de ovo, larva e pupa duram aproximadamente 20 dias à temperatura média de 27°C (Greenberg *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2015) e ocorrem protegidas no interior das estruturas reprodutivas. A exposição reduzida da praga durante as fases imaturas limita a eficiência das ações de controle, especialmente das aplicações de inseticidas, restando apenas os adultos como alvo das aplicações.

Os adultos alimentam-se preferencialmente de botões florais, mas, na ausência destes e sob altas densidades populacionais, as maçãs também são atacadas (Barbosa *et al.*, 1986; Busoli *et al.*, 2004). Os botões florais e as maçãs jovens com oviposição são abortados pela planta após 5-7 dias; larva e pupa então completam o desenvolvimento dentro da estrutura atacada caída no solo (Coakley *et al.*, 1969; Showler & Cantú, 2005). Entretanto, quando a oviposição é realizada em maçãs com mais de 10 mm de diâmetro, estas não são abortadas e todo o desenvolvimento do bicudo-do-algodoeiro ocorre no interior da estrutura ainda na planta (Neves *et al.*, 2013). Ataques a maçãs comprometem a formação e a qualidade da fibra e resulta em capulhos deformados (carimãs) (Praça, 2007; Torres *et al.*, 2009).

Por tratar-se de inseto cuja coevolução com o algodoeiro já data de mais de cem anos, o bicudo apresenta capacidade alta de multiplicação, sendo a alimentação em estruturas reprodutivas do algodoeiro, especialmente botões florais, estimulante para reprodução da espécie. Um aumento exponencial da população de bicudos pode ocorrer em apenas uma safra, já que cada fêmea pode ovipositar entre 150 e 250 ovos, que têm alta viabilidade em nossos ambientes agrícolas. Assim, uma população parental reduzida pode chegar a densidades bastante elevadas após quatro ou cinco gerações. Por simulação, uma população de 50 indivíduos, encontrando condições ideais de sobrevivência e multiplicação,

pode chegar a 30 mil indivíduos em um período de 80 a 110 dias (Knippling, 1986).

A grande dificuldade de controle do inseto nas regiões produtoras brasileiras deve-se, entre outros fatores, às boas condições de sobrevivência da praga na entressafra (inverno ameno), à oferta constante de alimento, a seu alto potencial reprodutivo e à pouca atuação de agentes de controle biológico (Garcia & Miranda, 2012; Santos, 1999). Além disso, podemos considerar as poucas opções de controle (por exemplo, moléculas inseticidas) e/ou a redução de eficiência de alguns inseticidas.

Existem evidências de que a planta hospedeira ancestral do bicudo era do gênero *Hampea*, e não *Gossypium*, mas que, com o processo de domesticação do algodoeiro, o inseto expandiu seu nicho (Sujii & Pires, 2015). A associação do bicudo com diversas plantas hospedeiras contribuiu para a dispersão geográfica da praga para além de seu centro de origem e para sua adaptação a novos ambientes.

Atualmente, o bicudo completa seu ciclo biológico e reproduz-se preferencialmente em plantas do gênero *Gossypium*, mas algumas plantas hospedeiras foram identificadas na tribo Gossypieae, da família Malvaceae. Entretanto, na ausência da planta hospedeira ideal, a praga vale-se de diferentes espécies como fontes alimentares alternativas para sobreviver (Ribeiro *et al.*, 2010; Showler, 2009). No Brasil, tem-se observado alimentação em pólen, néctar, botões florais e/ou frutos de plantas do Cerrado.

Comumente, no período de maturação da cultura, indivíduos adultos remanescentes acumulam reservas de gordura, o que lhes possibilita sobreviver nas condições de entressafra por longos períodos em estado fisiológico de quiescência. Ao final do ciclo da cultura, os adultos dirigem-se a áreas vegetadas (matas, capoeiras, beiras de açudes etc.) existentes nas proximidades da área cultivada. Nesses locais de refúgio, reduzem sua atividade e alimentam-se esporadicamente de grãos de pólen e/ou frutos de diferentes espécies vegetais (Cruz, 1992; Degrande, 1998; Ribeiro *et al.*, 2010; Santos, 1997).

A presença de plantas de algodoeiro na entressafra, ou em meio a talhões de outros cultivos, como soja, tem permitido a manutenção da espécie em estado ativo, alimentando-se nas plantas rebrotadas após a colheita (*Figura 3*), germinadas das sementes caídas ao solo (tigueras) ou ainda em plantas abandonadas em áreas de cultivo.

Todos esses fatores, aliados às condições climáticas favoráveis da região tropical, têm garantido a permanência do bicudo nos talhões.



FIGURA 3. Soqueira imperfeitamente destruída e tigueras de algodão em soja (fotos: J-L. Bélot).

Mesmo não havendo ocorrência de estruturas reprodutivas nas plantas, seu alimento preferido, os insetos podem alimentar-se de folhas jovens, pecíolo e da parte terminal do caule do algodoeiro (Bastos *et al.*, 2005). Assim, as condições brasileiras, com clima tropical e oferta de alimento o ano todo, têm favorecido o bicudo também no período de entressafra, diferentemente do que ocorre nos Estados Unidos, onde a entressafra coincide com o inverno rigoroso (Miranda *et al.*, 2015).

A manutenção de plantas voluntárias de algodoeiro, seja na lavoura sucedânea ao algodão (soja ou milho com plantas de algodão tiguera ou soqueira) ou em áreas adjacentes (beiras de rodovias, áreas de confinamento, cercanias de algodoeiras), é garantia de local de alimentação, abrigo e oviposição para os adultos de bicudo remanescentes da safra. A população da safra seguinte é formada a partir desses indivíduos, e os problemas decorrentes dos ataques são sentidos pelos produtores logo no início do florescimento do algodoeiro da nova safra. Por ocasião de um novo plantio, os indivíduos sobreviventes da entressafra penetram na lavoura, estabelecem-se nas bordaduras e alimentam-se das partes vegetativas até o surgimento dos primeiros botões florais. O surgimento das estruturas reprodutivas nas plantas estimula a movimentação do inseto pela área cultivada e, a partir daí, ocorre um processo de distribuição generalizada do inseto pela lavoura. A disponibilidade de alimento, abrigo e oviposição, em um cenário de utilização de plantas de algodoeiro tolerantes a herbicidas, cultivos

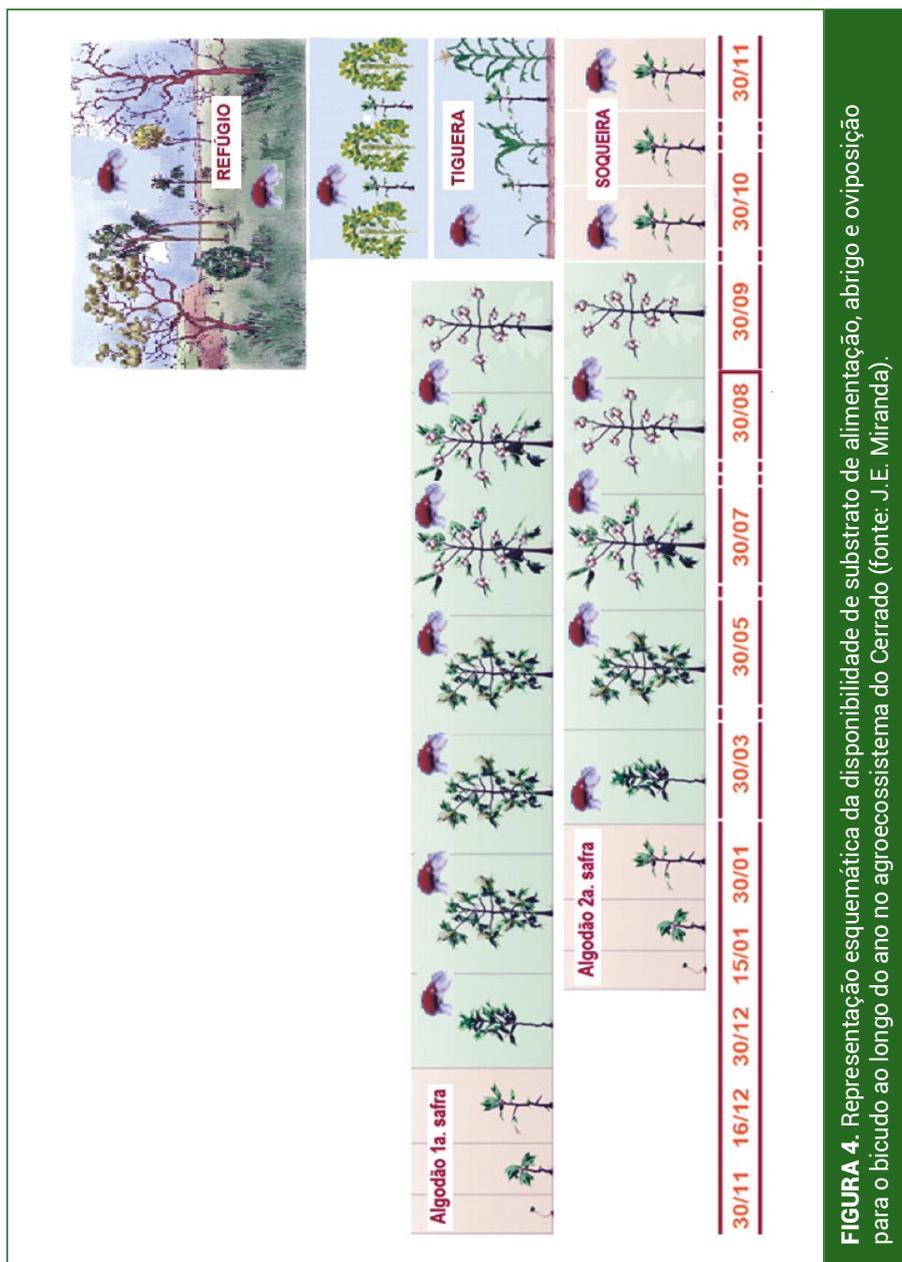


FIGURA 4. Representação esquemática da disponibilidade de substrato de alimentação, abrigo e oviposição para o bicudo ao longo do ano no agroecossistema do Cerrado (fonte: J. E. Miranda).

de primeira e segunda safra, além da presença de refúgios de vegetação nativa, permitem ao bicudo uma alta capacidade de sobrevivência e reprodução no Cerrado brasileiro (Figura 4).

Em resumo, a dificuldade de manejo do bicudo e da adoção de um plano de erradicação no Brasil devem-se a um conjunto de condições favoráveis à praga, entre as quais se destacam a ausência de inverno

rigoroso, elevado potencial biótico do inseto, dificuldade de controle e grande oferta de recurso alimentar na safra e também na entressafra (soqueiras, tigueras, plantas alternativas etc.).

3. IMPACTO ECONÔMICO E SOCIAL DO BICUDO-DO-ALGODOEIRO

Em vários países, a chegada dessa nova praga resultou em aumento significativo dos custos de produção, redução e/ou eliminação do cultivo algodoeiro, migração da área algodoeira para regiões ainda não colonizadas pela praga e, finalmente, mudanças econômicas e sociais nas comunidades atingidas, já que, geralmente, os novos cultivos não empregam tanta mão de obra — direta e indireta — como o cultivo algodoeiro.

3.1 IMPACTOS GERAIS DO BICUDO EM DIVERSOS PAÍSES ALGODOEIROS

Impacto do bicudo nos EUA

Mesmo antes da introdução do bicudo nos Estados Unidos, especialistas que conheciam a espécie no México alertaram as autoridades americanas sobre o poder de destruição da praga, o que foi verificado após sua introdução no Texas e difusão pelos estados produtores de algodão do Sul do país (*Cotton Belt*). O bicudo espalhou-se “naturalmente”, em alta velocidade, entre 40 e 160 milhas por ano. Seu avanço foi chamado por alguns políticos do início do século de “onda do mal” (“wave of evil”).

Estudo realizado por Lange *et al.* (2009), usando dados coletados em estados e municípios produtores de algodão no Sul dos Estados Unidos no período de 1892 a 1922, mostra um impacto drástico da infestação do bicudo-do-algodoeiro nas lavouras, com perdas de produtividade média estimadas em 10,5% no período 1909-1940, e redução significativa das áreas algodoeiras entre cinco e dez anos após a chegada da praga, em detrimento de outros cultivos. O estudo mostrou também mudanças significativas na mão de obra empregada no campo.

Ao longo dos anos, o impacto do bicudo-do-algodoeiro foi tão importante nas lavouras americanas que, em 1956, foi levantada pela primeira vez pelo dr. Knipling a possibilidade de eliminar a praga das lavouras (Allen, 2015). Pesquisas foram intensificadas até o início dos primeiros projetos pilotos de erradicação nos estados de Mississipi e Luisiana, entre 1971 e 1973. O programa definitivo de erradicação foi implementado em alguns estados e estendido ao longo dos anos a todos os estados

produtores de algodão do país. Em 2014, todas as áreas dos Estados Unidos estavam livres dessa praga, exceto o Baixo Vale do Rio Grande, no Texas, por conta de reinfestações oriundas do México (Allen, 2015).

Em 30 anos de esforços conjuntos de produtores, pesquisadores, políticos e governo, foi possível erradicar a praga do território americano. O retorno desse investimento para a sociedade e para o meio ambiente é altamente positivo.

Impacto do bicudo no sistema de produção do Paraguai

No Paraguai, o cultivo algodoeiro era típico da agricultura familiar, com grande importância econômica, social e política. No auge da época algodoeira, em 1990/1991, 550 mil hectares foram cultivados por cerca de 200 mil produtores, decrescendo posteriormente a menos de 100 mil hectares em 2001, e ao redor de 26 mil hectares atualmente (Beltrão *et al.*, 2000).

Com tal modelo de produção, o cultivo é altamente dependente de medidas de caráter político-sociais para que a sustentabilidade da atividade seja garantida. Além de pragas, riscos climáticos, dependência de preços internacionais, falta de sementes produzidas e adaptadas para as condições paraguaias e escassez de serviços de extensão agrícola para apoiar os produtores são ameaças constantes ao sucesso da atividade naquele país (Rodrigues & Miranda, 2007).

O bicudo foi detectado no Paraguai em 1991, com incidências cada vez maiores nas safras posteriores; a partir de 1997, a produção paraguaia de algodão passa a ser seriamente comprometida pelo ataque da praga, demandando esforços governamentais para auxiliar o produtor no combate, os quais nem sempre foram suficientes para permitir boas produtividades. O aumento de aplicações de inseticidas, entre quatro e cinco, e a diminuição do rendimento entre 30% e 40% foram os reflexos diretos da presença da praga no Paraguai, que inviabilizou seu cultivo (Mangano, 2006).

A entrada do bicudo foi claramente o elemento que contribuiu decisivamente para a redução drástica do cultivo algodoeiro no Paraguai.

Impacto do bicudo no sistema de produção da Argentina

Na Argentina, o algodão também tem importância econômica e social considerável. Com área atual de cerca de 400 mil ha, a maior parte do algodão argentino é exportada, com produtividade média de 1.400 kg/ha de algodão em caroço. Entretanto, seu potencial produtivo

é bem maior, faltando para tanto maior incentivo e assistência técnica, notadamente nas áreas da região do Chaco, principal produtora, com possibilidade de alcance de produtividades superiores a 3 mil kg/ha, caso as limitações técnicas e, eventualmente, as climáticas sejam suplantadas (Argentina, 2007). Mas o maior obstáculo ao aumento da produtividade no país ainda é a presença do bicudo-do-algodoeiro.

O bicudo passou a exigir esforços dos produtores e do governo, que respondeu com a criação de um plano de controle. Agora, com infestação geral da área algodoeira, inclusive do Chaco, há um processo de reformulação do programa de controle do bicudo na Argentina, com contratação e capacitação de técnicos, aquisição de dispositivos de capturas etc. Entretanto, o sucesso do plano depende da liberação de recursos financeiros por parte do Estado, e os problemas econômicos do país podem comprometer tal aporte.

Impacto do bicudo nos sistemas de produção do Brasil

O cultivo algodoeiro surgiu no Brasil como atividade agrícola na segunda metade do século XVIII. O Nordeste, que cultivava até então predominantemente o algodão arbóreo perene (tipo Mocó), apresentava produtividades cada vez menores, enquanto que, em São Paulo, começava a surgir uma cotonicultura mais produtiva, em que se adotou o cultivo do algodão anual de fibra curta (algodão “Upland”) (Kassab, 1983).

O modelo produtivo praticado nessas regiões era caracterizado pelo emprego de mão de obra familiar e pequeno número de funcionários externos, contratados em determinados momentos do ciclo de cultivo, uso pequeno a moderado de insumos e mecanização relativamente rudimentar. Antes da entrada do bicudo, a incidência de surtos populacionais de várias pragas-chave da cultura foi constante e altos índices populacionais naquele modelo familiar de produção levavam a quedas acentuadas de produtividade (Azambuja & Degrande, 2014; Cruz & Passos, 1985; Kassab, 1983; Quimbrasil, 1985;).

Na década de 1980, o Brasil viveu um cenário econômico altamente desfavorável para o sistema de produção de algodão então vigente. Enquanto incentivos governamentais facilitavam a importação de pluma de outros países produtores pela indústria de fiação, a produção de algodão no Nordeste estava obsoleta, sendo as propriedades administradas por sistema de arrendamento, o que implicava em pouco ou nenhum interesse ou capacidade de modernização. Produzir algodão no Nordeste era enorme desafio, representado também pelas constantes adversidades

Evolução da Área Algodoeira no Nordeste

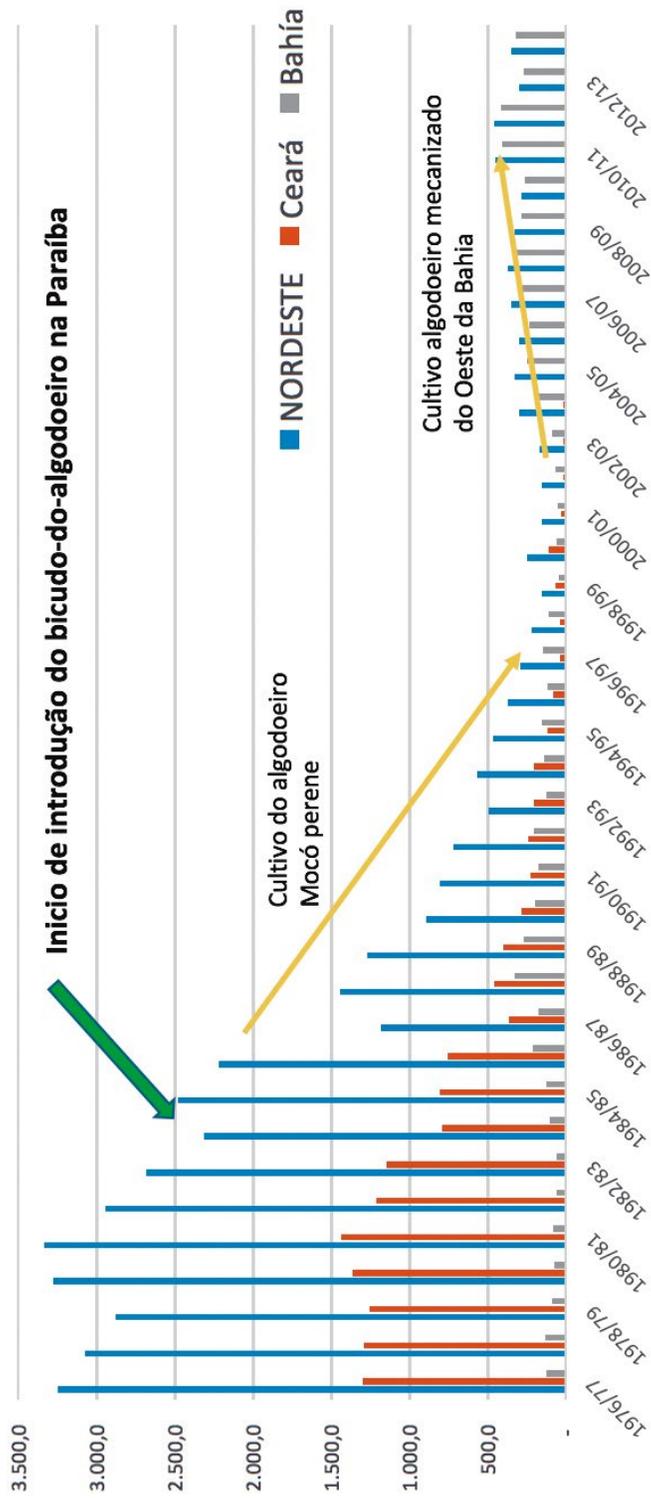


FIGURA 5. Chegada do bicudo-do-algodoeiro e redução da área algodoeira do Nordeste (fonte: J.-L. Bélot)

Evolução da Área Algodoeira em São Paulo e Paraná

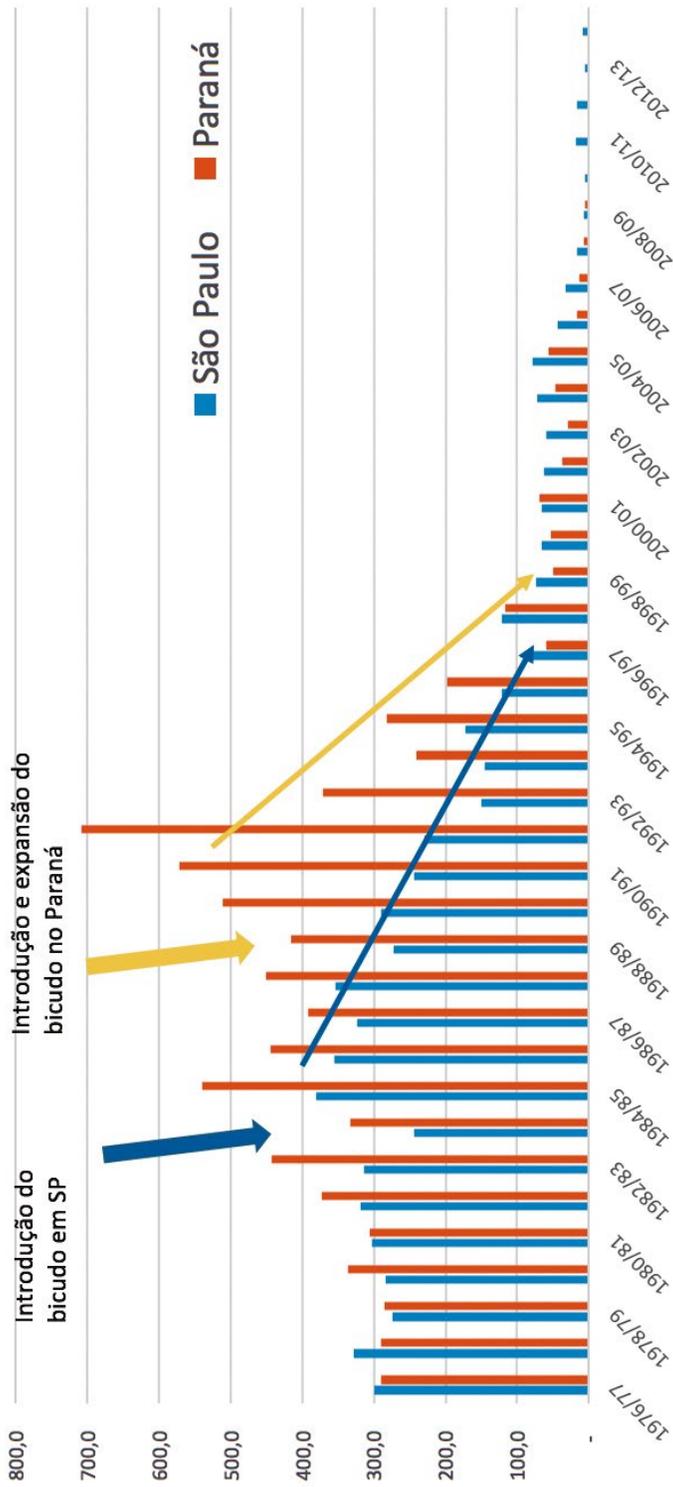


FIGURA 6. Chegada do bicudo-do-algodoeiro e redução da área algodoeira de São Paulo e Paraná (fonte: J.-L. Bélot).

climáticas, com seguidos anos de seca comprometendo a produtividade (Santos *et al.*, 2008). Enquanto isso, na Região Centro-Sul, embora o uso de novas tecnologias fosse uma tendência, a concorrência com mercados externos, que ofereciam a fibra a preços mais vantajosos, e a competição com novas culturas agrícolas em ascensão, como milho, soja, pastagem e cana-de-açúcar, eram fatores desestimuladores e que contribuíram para o declínio da cotonicultura (Martin *et al.*, 1987; Urban *et al.*, 1995).

Em decorrência desse quadro problemático, o aparecimento do bicudo-do-algodoeiro, na década de 1980 (*Figura 5 e 6*), contribuiu decisivamente para decretar a extinção da atividade cotonícola nas regiões do Semiárido Nordeste e também nos estados do Centro-Sul (São Paulo e Paraná). Assim, a produção que existia no Nordeste e o modelo familiar no Sudeste rapidamente viram-se inviáveis (Kouri & Santos, 2006; Santos & Santos, 1997).

O cultivo algodoeiro nos Cerrados

O cultivo algodoeiro mecanizado, modelo de produção vigente no Cerrado brasileiro, teve início no final dos anos 1990, em Mato Grosso. A Associação Mato-grossense de Produtores de Algodão (Ampa), com ajuda financeira dos fundos Facual, IMAmt e IBA, implantou medidas para barrar o alastramento da praga pelo Estado (Bélot, 2015). Porém, em 2006, o inseto já se encontrava em todas as áreas algodoeiras de Mato Grosso. Não foi diferente nos outros estados algodoeiros do Cerrado, Mato Grosso do Sul, Goiás, Oeste da Bahia etc.

O grau de infestação nas diversas regiões depende diretamente do manejo dado pelos produtores nos períodos de pré-safra, safra e pós-safra. Assim, regiões onde o controle é sempre realizado adequadamente registram baixos níveis populacionais. Por outro lado, as áreas de manejo inadequado sofrem com a alta densidade populacional, o que está diretamente relacionado ao nível de dano causado pelo inseto e ao custo de controle químico.

Pulverizações com inseticidas são a principal ferramenta de controle utilizada pelos produtores na tentativa de reduzir a população do inseto. Levantamento realizado por Miranda (2013) mostra que a infestação média de bicudo nas áreas do Cerrado brasileiro varia de 5% a 9% (*Figura 7*), o que indica que o nível de controle é constantemente atingido, exigindo um número intenso de pulverizações para o controle da praga.

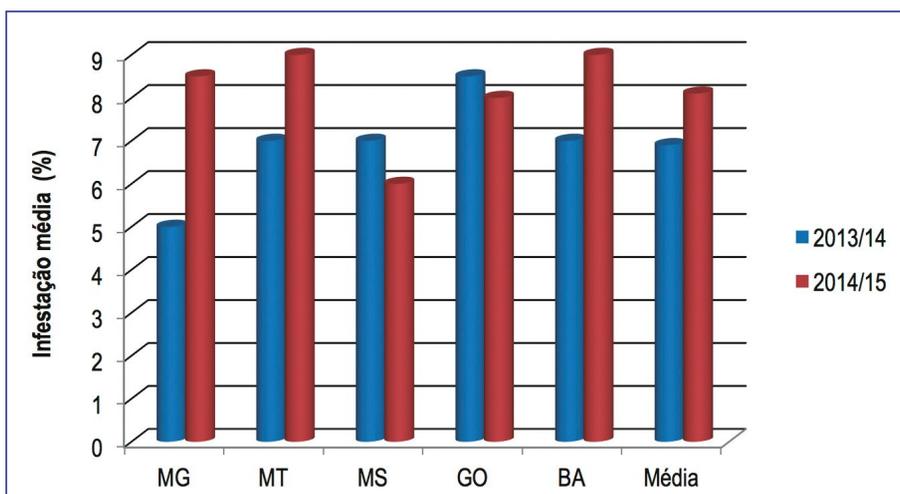


FIGURA 7. Níveis de infestação média do bicudo-do-algodoeiro nas lavouras brasileiras (Miranda, 2015).

3.2 PERDAS ECONÔMICAS GERADAS PELO BICUDO-DO-ALGODOEIRO

Até sua erradicação, o bicudo foi a principal praga do algodoeiro nos EUA; causou grandes perdas econômicas e ambientais, forçando produtores a abandonarem a cultura ou elevarem os custos de produção por conta do número alto de aplicações de inseticidas antes da erradicação (Coppedge & Faust, 2003). De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), até 2003, o custo com controle e perdas ocasionadas pelo bicudo chegaram a US\$ 22 bilhões (Coppedge & Faust, 2003), sendo que as perdas pelo ataque, somadas aos custos de controle anuais nos Estados Unidos, eram estimadas em US\$ 200 milhões (Allen, 2008). Hardee *et al.* (1972) cita o bicudo-do-algodoeiro como a praga mais cara da história da agricultura americana, o que dispensa comentários sobre a importância desta nos locais produtores de algodão em que se encontra presente. Com o avanço do Plano de Erradicação, paulatinamente as perdas ocasionadas pelo bicudo às lavouras americanas de algodão foram sendo reduzidas.

A cadeia produtiva do algodoeiro está intimamente ligada às questões econômicas e sociais. Por exemplo, a indústria têxtil norte-americana é responsável por mais de US\$ 25 bilhões em produtos e serviços por ano e gera mais de 200 mil postos de trabalho, desde a propriedade rural à indústria (USDA-ERS, 2015). No Brasil, a cadeia produtiva do

algodão empregou aproximadamente 79,5 mil funcionários em 2010, considerando toda a cadeia, que vai da “porteira para dentro” (cultivo do algodão) e da “porteira para fora” (beneficiamento e tecelagem dos fios de algodão) (Neves & Pinto, 2012). Considerando todo o setor, este apresenta uma movimentação financeira em torno de US\$ 41 bilhões por safra (Rodrigues, 2015). Assim, a erradicação do bicudo ou o bom manejo, buscando a boa convivência com a praga, é essencial, seja por questões econômicas, sociais e ambientais, uma vez que, nos Estados Unidos, o número de pulverizações na cultura do algodoeiro foi reduzido em entre 40-90% após a erradicação da praga (Coppedge & Faust, 2003). Somente no Estado da Geórgia, passou-se de uma média de 14,4 pulverizações até 1987, antes da erradicação, para 5,4 pulverizações após a erradicação do bicudo, oficialmente declarada em 1990 (Haney *et al.*, 1996).

No Paraguai, a introdução do bicudo-do-algodoeiro gerou um aumento médio de 4-5 aplicações de inseticidas e a diminuição do rendimento entre 30-40% nas lavouras daquele país (Mangano, 2006). O impacto econômico não pôde ser absorvido pelos agricultores, que forçosamente migraram para outros cultivos. Já na Argentina, o custo para combater o bicudo é estimado em US\$ 70 por hectare (Cámara Algodonera Argentina, 2015).

No Brasil, em lavouras de algodão infestadas pelo bicudo, sem adoção de medidas de controle, os ataques constantes podem resultar em perdas de até 75%, segundo Azambuja & Degrande (2015). Entretanto, perdas de 80-95% têm sido registradas em áreas abandonadas em Mato Grosso e Bahia. Desta forma, é fato que a praga tem potencial de inviabilizar o cultivo do algodão em uma região, como observado na redução drástica na área cultivada com algodão em estados do Nordeste, no Paraná e em São Paulo. Com a redução de área cultivada e até mesmo abandono da cultura, o bicudo foi uma das causas que contribuíram para o deslocamento do algodão para regiões que antes não o cultivavam, como os Cerrados do Centro-Oeste e, mais tarde, os Cerrados do Nordeste do Brasil (Miranda *et al.*, 2015).

Grandes esforços têm sido empreendidos pelo setor produtivo do algodão no sentido de reduzir o impacto do bicudo nas lavouras brasileiras. Um levantamento da situação de pragas na cultura do algodoeiro foi efetuado nas regiões produtoras do Brasil, abrangendo nove estados; informações foram coletadas com cerca de 32 grupos empresariais e 54 consultores, para servir de diagnóstico do impacto

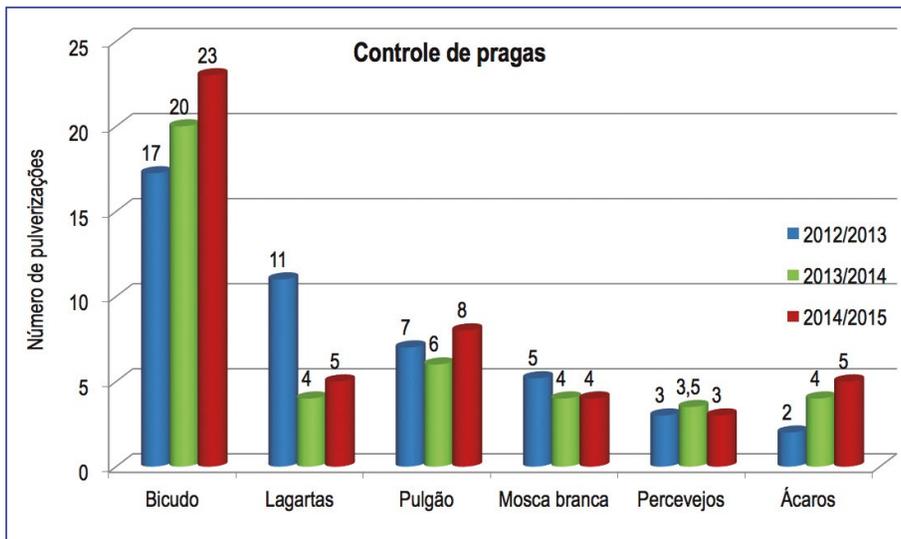


FIGURA 8. Número médio de aplicações de inseticidas para o controle do bicudo e custo médio de controle da praga (Miranda, 2015).

de pragas e seu controle no cenário agrícola de produção do algodão no Brasil (Miranda, 2013). Os resultados mostraram que o número de aplicações de inseticidas para controle do bicudo-do-algodoeiro no Cerrado brasileiro pode variar de 17 a 25 para cada safra. No Estado de Mato Grosso, realizam-se em média 15 aplicações específicas para o controle do bicudo, podendo variar de sete a 26. A variação verificada entre as regiões depende do manejo realizado durante toda a safra e a pressão na safra atual, da intensidade de ocorrência de plantas voluntárias (tiguera e soqueira) e das condições edafoclimáticas.

Os dados desse trabalho permitiram a elaboração de comparativos do custo de controle de pragas, da ordem de importância destas pragas e do número de pulverizações requeridas para seu controle em cada região. Perda média de 11% da produção foi ocasionada pelo ataque de pragas na cultura; o custo de controle de pragas situou-se em R\$ 1.570 por hectare na safra 2012/2013, contra R\$ 1.260 na safra 2011/2012, significando aumento de 25%. Deste custo, na safra 2012/2013, 29% foram relacionados às ações de controle contra o bicudo, perdendo apenas para os gastos feitos para controlar lagartas, por conta dos grandes esforços empregados para controlar a então recém-detectada *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Na safra seguinte, o percentual subiu para 35%, praticamente metade dos gastos de controle de pragas direcionado para o controle do bicudo. Considerando-se a área total

de abrangência das lavouras de algodão no Brasil, o ranqueamento das pragas em ordem de importância naquele período destacava a lagarta *Helicoverpa armigera* e o bicudo nas primeiras posições, seguidos por outras pragas polífagas do sistema: falsa-medideira, pulgão, ácaros, percevejos e mosca-branca.

O número de pulverizações na cultura do algodoeiro aumentou significativamente entre 2011 e 2013, cerca de 10-15%, e isso esteve ligado diretamente aos ataques da lagarta *Helicoverpa* e à dificuldade de controle do bicudo (Tabela 1). Entretanto, o custo com o controle do bicudo foi se elevando, enquanto que o custo para controlar a lagarta *Helicoverpa* reduzindo-se, por conta das infestações menores verificadas nas safras seguintes, cujas causas podem ser relacionadas ao uso cada vez mais intenso de algodoeiro *Bt* resistente a lagartas e ao manejo efetuado. Para controlar o bicudo, cerca de US\$ 180 foram gastos para cada hectare cultivado com algodão em 2012/2013 (Tabela 1), o que significou, em média, 17 pulverizações específicas para controlar o inseto em cada safra de algodão. Estes números, transpostos para a área total de produção de algodão naquela safra (cerca de 1,1 milhão de hectares) constituíram valores situados próximos a US\$ 200 milhões. Na safra seguinte, o número de pulverizações chegou a 20. Considerando-se a área de 1,12 milhão de hectares plantada em 2013/2014 e valores médios de US\$ 189 gastos com o bicudo por hectare, chega-se a valores brutos da ordem de US\$ 210 milhões (Miranda, 2013).

Levantamento mais recente, realizado em março 2016 pela equipe do IMAmt, sobre custos de produção de algodão nas diferentes re-

TABELA 1. Levantamento da situação de pragas (por grupos) na cultura do algodoeiro. Safras 2012/2013 e 2013/2014 (fonte: Miranda, 2013).

Praga	Número de pulverizações*		% do custo de controle de pragas	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Lagartas	11	4	45,0	7,0
Bicudo	17	20	29,3	35,0
Sugadores	12	10	10,8	24,0
Ácaros	2	4	5,2	22,0
Percevejos	3	3,5	5,2	11,0
Outros	3	3	4,5	1,0

* As pulverizações não são cumulativas, uma vez que costumam ser feitas para mais de um alvo.

giões produtores do Brasil e perdas ocasionadas pelo bicudo-do-algodoeiro (*Tabela 2*), revela que o custo médio de produção de um hectare estaria em US\$ 2.187. Este valor pode variar de US\$ 1,7 mil a US\$ 2,7 mil, em função da tecnologia adotada, do manejo de pragas e doenças, do controle intensivo do bicudo, da adoção de plantio em primeira ou segunda safra, entre outros (*Tabela 2*). Um dos pontos que têm contribuído para essa elevação nos custos relaciona-se com a maior ou menor adoção das medidas de manejo do bicudo. Somente com o controle do bicudo (inseticidas mais aplicações), os produtores estão gastando em média US\$ 190 por hectare, algo em torno de 9% do gasto total de produção (*Tabela 2*). O número médio de pulverizações específicas para o controle do bicudo em Mato Grosso gira em torno de 15, mas casos que ultrapassam as 20 aplicações são comuns.

Além das aplicações de inseticidas, que são as ações de manejo emergenciais, ainda há os gastos com medidas proativas (ou preventivas) que envolvem destruição de soqueira, eliminação de plantas tigueras, inclusão de inseticidas em desfolha e/ou dessecação, instalação de dispositivos atrai-e-mata (tubo mata-bicudo), entre outras. O custo médio dessas medidas tem girado em torno de US\$ 70,25 por hectare, podendo variar muito em função da adoção ou não de algumas medidas em cada propriedade.

Apesar desse manejo oneroso adotado pelos produtores, estes estimam ainda uma perda de 5,45 arrobas (@) por hectare ocasionada pelo bicudo, podendo variar de 0,7 @ a 15 @. Se atribuímos as perdas médias para bicudo e os gastos com o manejo, podemos chegar ao valor médio de US\$ 389 por hectare por ano (*Tabela 2*). Desta forma, somente no Estado de Mato Grosso, maior produtor de algodão do Brasil, com área cultivada estimada em 586 mil hectares (safra 2015/2016), podemos considerar que as perdas e os gastos com o bicudo possam chegar a US\$ 228.352.480 por ano. Levando-se em conta apenas os gastos com o controle, o montante gasto pode chegar a US\$ 111,34 milhões; estendendo os cálculos para a área total cultivada no Brasil, de 960 mil hectares (safra 2015/2016), as perdas e gastos com a praga podem estar em torno de US\$ 374 milhões por ano, com custos específicos para controle do bicudo de cerca de US\$ 182 milhões anuais.

Frente aos valores elevados que envolvem o controle do bicudo, com gastos em manejo e perdas associadas a seu ataque, podemos afirmar que o impacto financeiro causado pelo inseto é bastante sig-

TABELA 2. Valores médios e amplitude de custo de produção de algodão por hectare, custos de controle do bicudo-do-algodoeiro por hectare, gastos com medidas de manejo complementares (destruição de soqueira, plantas tigueras, inseticidas em desfolha e/ou dessecação, instalação de tubo mata-bicudo etc.) por hectare e perdas médias estimadas ocasionadas pelo bicudo-do-algodoeiro por hectare. (IMAmt, 2016)

Parâmetros		Valores médios / ha (valores mínimos e máximos em USD) ¹
1	Custo de produção de algodão ²	2.187/ha (1.700-2.700)
2	Custo de controle do bicudo-do-algodoeiro ³	190/ha (150-244,20)
3	Custo com medidas complementares de manejo do bicudo-do-algodoeiro ⁴	70,25/ha (50,00-107,70)
4	Perdas estimadas ocasionadas pelo bicudo-do-algodoeiro ⁵	5,45 arrobas (@) de pluma/ha (0,7-15)
5	Custos de manejo e perdas envolvendo o bicudo-do-algodoeiro (2+3+4) ⁶	389,68/ha/ano

[1] Dados levantados após consulta a consultores e associações estaduais de produtores de algodão, sendo eles: Associação Mato-grossense de Produtores de Algodão (Ampa/IMAmt), JF Consultoria – Norte de MT (sr. Jerley Fernando), Guerra Consultoria (sr. Jonas Guerra), Associação Sul-Mato-grossense dos Produtores de Algodão (Ampasul), Associação Maranhense de Produtores de Algodão (Amapa), Ceres Consultoria Agrônoma (sr. Evaldo Kazushi Takizawa), Fundação Goiás (sr. Davi Laboissière E. Garcia), Quality Cotton Sistemas Integrados (sr. Wanderley Oishi), Astecplan Ltda. (sr. Rubem Cesar Staudt) e Círculo Verde Assessoria Agrônoma S/C. Ltda. (sr. Celito Breda).

[2] Custo médio de produção de algodão por hectare nas diferentes regiões produtores do Brasil; os valores estão envolvendo toda condução da cultura. A variação de valores deve-se à tecnologia adotada, ao manejo de pragas e doenças, ao controle intensivo do bicudo-do-algodoeiro, à adoção de plantio em primeira ou segunda safra, entre outros.

[3] Custo médio com controle do bicudo-do-algodoeiro por hectare, com adoção de medidas emergenciais (aplicações de inseticidas).

[4] Custo com medidas complementares de manejo do bicudo-do-algodoeiro, sendo medidas consideradas pró-ativas, que podem envolver destruição de soqueira, eliminação de plantas tigueras, inclusão de inseticidas em desfolha e/ou dessecação, instalação de tubo mata-bicudo etc.

[5] Perdas médias em arrobas (@) de pluma de algodão por hectare ocasionadas pelo bicudo-do-algodoeiro, mesmo após adoção de medidas de manejo.

[6] Somatório dos custos de controle mais custos das medidas de manejo complementares do bicudo-do-algodoeiro mais perdas ocasionadas pela praga. As perdas ocasionadas pelo bicudo foram calculadas considerando o valor médio da arroba de pluma R\$ 76 (fonte: Instituto Mato-grossense de Economia Aplicada - Imea, em 8/3/2016), transformado em dólar, considerando o câmbio de R\$ 3,20 por dólar americano - USD).

nificativo, justificando a adoção de estratégias de manejo diferenciadas e rígidas, que devem ser realizadas de forma coordenada e em conjunto entre produtores, com manejo intensivo nos períodos de safra (atenção ao final de ciclo da cultura) e entressafra, buscando o controle efetivo e a boa convivência com o bicudo.

4. MANEJO E MEDIDAS DE CONTROLE

Para o sucesso no manejo do bicudo-do-algodoeiro, os produtores não devem considerar apenas as ações emergenciais de controle, que são as aplicações de inseticidas; o bom manejo exige a adoção de muitas outras medidas; as proativas são tão ou mais importantes que as próprias ações emergenciais. Dessa forma, o esmero na execução das ações de final de safra e entressafra torna-se muito importante — a destruição adequada de soqueira, o transporte correto de fardos de algodão em caroço, a eliminação de tigueras de soja, plantas de algodão em beira de estradas, a instalação de dispositivos atraí-e-mata (tubo mata-bicudo), as aplicações de inseticidas mesmo na entressafra, quando detectada a presença do bicudo, entre outras medidas proativas —, e devem ser consideradas e mantidas de forma ininterrupta, safra após safra, procurando sempre reduzir a população do bicudo. Por exigir um manejo intenso, que envolve ações desde pré-plantio, safra e pós-safra, os custos sempre são elevados, resultando quase sempre em menor adoção de medidas de manejo proativas, consideradas por muitos, erroneamente, de menor importância. É preciso ressaltar que, mesmo o bicudo estando bem manejado, qualquer descuido (relaxamento, acomodação) e a não adoção das práticas recomendadas de manejo favorecerão a praga, resultando em grandes populações e perdas econômicas elevadas.

4.1 ESTRATÉGIAS DE MANEJO DO BICUDO-DO-ALGODOEIRO

Infelizmente, não há muitas opções para o manejo do bicudo; sem muitas novidades desde a chegada da praga ao Brasil. Ademais, problemas têm surgido, como perda de eficiência de inseticidas e banimento do mercado de algumas moléculas, o que dificulta esse manejo. Além das simples aplicações de inseticidas, a execução de medidas de manejo, realizadas de forma padronizada, coletiva e rígida, tem se mostrado a melhor opção para a boa convivência com a praga.

Os programas regionais de controle têm experimentado safras com controle satisfatório da população do bicudo alternadas com outras em que o controle é inadequado, o que decorre de diversos fatores ligados ao clima, à economia e a outros problemas inerentes à atividade. Esta inconstância talvez seja o maior gargalo na contenção dos níveis populacionais do inseto nas lavouras brasileiras.

Na atualidade, há oito projetos estaduais de controle do bicudo desenvolvidos pelos estados produtores, com o apoio financeiro do Instituto Brasileiro do Algodão (IBA). Estes projetos podem variar tecnicamente de acordo com as associações proponentes, entretanto, todos buscam um bem comum, que é reduzir as perdas ocasionadas pelo bicudo nas áreas algodoeiras. Um bom exemplo é o trabalho que vem sendo realizado em Mato Grosso, onde o IMAmt está incentivando a formação dos chamados Grupos Técnicos do Algodão (GTA). Já estão formados nove GTAs pelo Estado, envolvendo praticamente todas as regionais produtoras de algodão. Os grupos têm a finalidade de reunir a parte técnica da cadeia produtiva do algodão de cada região para discussões sobre o manejo do bicudo e outras pragas, com objetivo de padronizar e realizar as ações, envolvendo desde ações proativas (destruição de soqueiras, tigueras etc.) a medidas emergenciais.

4.2 MEDIDAS DE CONTROLE IMPLANTADAS

4.2.1 CONTROLE ETOLÓGICO

Armadilhas com feromônios

Os bicudos machos secretam feromônios, que são substâncias atrativas para as fêmeas. Para o monitoramento do bicudo pelo seu comportamento, utilizam-se armadilhas dispersoras de feromônio sintético (*grandlure*), que atraem e aprisionam o inseto. As armadilhas para bicudo devem ser utilizadas na entressafra e no período que antecede a fase de produção dos botões florais pelas plantas de algodão (Rodrigues & Miranda, 2007).

Semanalmente, realiza-se a leitura das armadilhas, contando os insetos capturados em cada armadilha. De posse dos dados, gera-se um índice denominado BAS (bicudo/armadilha/semana); dessa forma, tem-se uma ideia clara do potencial de infestação nessas áreas. De acordo com o índice BAS, as áreas são classificadas em verde (caso não haja captura), azul (com índice variando de zero a

um BAS); amarela (entre um e dois BAS); e vermelha (acima de dois BAS). Por meio dessa classificação, determina-se o critério de manejo químico no momento mais crítico da lavoura, ou seja, o número de pulverizações com inseticidas iniciadas no estágio fenológico B1. Em área verde, nenhuma aplicação; em área azul, uma pulverização; em área amarela, duas aplicações; e, em área vermelha, três aplicações sequenciais de inseticidas, que são efetuadas no estágio B1, em intervalos de cinco dias entre si, a fim de se evitar que os indivíduos parentais sobreviventes do período adverso multipliquem-se e/ou eliminar os indivíduos da geração seguinte que emergiriam dos botões florais infestados.

Dispositivos atrai-e-mata

Diferentemente das armadilhas iscadas com feromônio, que servem para o monitoramento da área, a utilização do tubo mata-bicudos (TMB) tem a finalidade explícita de redução populacional da praga, auxiliando no controle dos bicudos que sobraram no fim de safra e que estariam migrando para as áreas de refúgio. O TMB é um dispositivo atrai-e-mata instalado nos perímetros da lavoura para o controle específico do bicudo e incorpora o uso de feromônio *grandlure* e revestimentos que contêm um inseticida (malationa) e um estimulante de alimentação impregnados em um tubo biodegradável de coloração amarelada, também atrativo ao inseto (Plato *et al.*, 2001).

Os feromônios à disposição nos TMB têm efeito atrativo quatro vezes maior do que as armadilhas com feromônios (Villavaso *et al.*, 1993). Isso ocorre pela concentração maior de *glandlure* presente no dispositivo (Spurgeon *et al.*, 1998). A metodologia de uso dos TMB começa com a instalação dos tubos no período de pré-colheita estabelecido pela fazenda, em intervalos de, no mínimo, 150 metros entre cada um. Recomenda-se instalação em todo perímetro do plantio; se não for possível, pelo menos em perímetro da lavoura vizinho às áreas de refúgio. A vida útil dos TBM é de 55-60 dias; logo, é recomendável uma segunda instalação, após 50 dias da instalação do primeiro lote. Nesse caso, não é necessária a retirada dos primeiros tubos instalados, devendo a segunda instalação ser colocada entre os primeiros tubos. Lembrando que, em seguida, aproximadamente 30 dias antes do plantio do algodão subsequente, serão instaladas as armadilhas de

monitoramento do bicudo. Conhecidos os locais de entrada e saída do bicudo para as áreas de refúgio (rota de movimentação), por meio dos monitoramentos, é recomendável a instalação de TMB nesses locais, visando interceptar os indivíduos que estão se deslocando dos refúgios para os talhões. Nessas áreas críticas, pode-se diminuir o intervalo entre tubos (aumentando seu número por local).

4.2.2 CONTROLE CULTURAL

Semeadura em período definido e concentrado

A época de semeadura das áreas de algodão é regulamentada por portarias dos órgãos estaduais de defesa sanitária vegetal. Cada região produtora tem calendários de semeadura e colheita específicos, estabelecidos de acordo com as características regionais relacionadas ao clima, aos sistemas de produção etc.

Colheita rápida

O planejamento inadequado da capacidade operacional das máquinas da fazenda comumente leva a atrasos não somente no manejo direto do inseto, mas também na colheita, fatos que favorecem a manutenção do inseto na cultura e sua multiplicação no ambiente agrícola.

Destruição dos restos culturais e tigueras na entressafra

Para a boa convivência com o bicudo, a destruição eficiente dos restos da cultura é essencial. A presença de soqueiras rebrotadas e tigueras de algodoeiro no período de entressafra pode ser considerada como um dos gargalos na elevação populacional do bicudo. Dessa forma, a destruição das soqueiras após a colheita deve ser priorizada por roçagem e posterior eliminação da soqueira de forma química (herbicidas) e/ou mecânica (uso de implementos específicos). A inclusão de inseticidas para o controle de bicudos nas aplicações de herbicidas ajudará a reduzir a população remanescente. A eliminação de plantas tiguera de algodoeiro em meio a soja, milho ou áreas de pousio também é necessária, bem como a aplicação de inseticidas que tenham efeito sobre o bicudo. Essas ações reduzem as chances de o bicudo manter-se no período de entressafra e de multiplicação da praga nesse período, resultando em populações menores na safra seguinte.

Vazio sanitário do algodoeiro

O período sem presença de plantas de algodão no campo, durante, no mínimo, 60 dias, compreendidos entre o prazo final legal de destruição de soqueiras e o início da germinação da nova safra, constitui o “vazio sanitário” da cultura do algodão. O intuito do vazio sanitário é interromper o ciclo de reprodução do bicudo. A eliminação total das plantas voluntárias de algodão (plantas tigueras ou rebrotas) presentes nas áreas com cultivo posterior ao algodoeiro (geralmente soja), ao longo de rodovias ou em áreas de confinamento bovino, evita a sobrevivência e a reprodução do bicudo.

4.2.3 CONTROLE QUÍMICO

Controle de populações migrantes

Bicudos sobreviventes de uma safra permanecem em quiescência (estado de baixo metabolismo) durante a entressafra, abrigados nos refúgios de vegetação natural do Cerrado. Quando a nova safra de algodão é instalada, os insetos remanescentes voltam à lavoura, atraídos pelos semioquímicos emitidos pelas plantas, e alimentam-se dos botões florais recém-produzidos; as fêmeas adultas efetuam a oviposição. Sabendo-se disso, o controle localizado de populações migrantes do refúgio para as lavouras por meio de pulverizações sistemáticas de inseticida no perímetro das lavouras (aplicações de bordadura) é prática estratégica de controle populacional. Esse controle dos indivíduos provenientes dos locais de refúgio tem o intuito de eliminar os adultos logo na entrada da lavoura, impedindo sua instalação na lavoura e a oviposição nas estruturas florais, evitando, assim, o nascimento de novos indivíduos na lavoura e mantendo a população de bicudo sob controle. Para isso, a partir da fase V₃ (plantas com três folhas verdadeiras) até a fase C (ocorrência da primeira maçã firme), a aplicação localizada de inseticida na faixa de 30-50 metros ao longo do perímetro das lavouras de algodão é incentivada. Esta medida permite o controle de população recém-chegada à lavoura e não detectada pelas armadilhas ou nas amostragens visuais.

É importante salientar que talhões com presença de plantas de algodão (rebrotas da soqueira e/ou tigueras) na entressafra, como em lavouras de soja, devem ser monitoradas quanto à presença de bicudo, pois, se houver indivíduos no interior dos talhões, é necessária aplicação na área total antes da fase BI, já que a praga encontra-se disseminada na área.

Controle na fase B1

O histórico dos índices de infestação gerado pelo armadilhamento é ferramenta ideal para início das aplicações sequenciais em B1, a serem realizadas com base nos resultados do armadilhamento de entressafra, que informam o grau de infestação.

Tomada de decisão de controle químico com base no nível de controle

A detecção visual na lavoura — de 3-5% de botões florais com presença de bicudos adultos e/ou sinais de ataque (postura e alimentação) provocados pelo inseto — é parâmetro utilizado para a tomada de decisão de controle químico no decorrer da safra. Após a fase B1, é preferível a presença constante dos monitores de pragas nos talhões, fazendo o levantamento, detectando o nível de controle do bicudo. Faz-se a amostragem de 200 a 300 botões por talhão e, sendo detectada a presença do inseto ou seu dano, opta-se pela pulverização na área total do talhão. Caso contrário, efetua-se nova amostragem a cada cinco dias na borda e no interior do talhão. As decisões sobre novas intervenções químicas dependerão dos resultados das amostragens visuais. É importante manter o monitoramento e as aplicações quando necessário, mesmo na fase de final do ciclo do algodoeiro, visando evitar multiplicações do bicudo nessa etapa da cultura.

Controle químico na desfolha

No momento do uso do desfolhante (quando 60% das maçãs apresentarem-se abertas e as que ainda estiverem fechadas com mais de 25 dias), a adição de um inseticida contribui para a redução da população de bicudos. O desfolhamento reduz o suprimento alimentar do bicudo (principalmente no ponteiro) e antecipa a colheita. Os indivíduos que permanecerem nas plantas desfolhadas entram em contato com o inseticida aplicado e morrem, reduzindo assim a população dos bicudos que passarão o período de entressafra.

4.2.4 CONTROLE PÓS-SAFRA

Soqueira-isca

Entre as medidas de final de safra, além da aplicação de inseticidas na desfolha e/ou no momento da destruição dos restos culturais e da instalação de dispositivos atraí-e-mata (TMB), está a manutenção de áreas com plantas vegetando após a colheita. Essas plantas remanes-

centes na lavoura e a aplicação sistemática de inseticidas para controle do bicudo são denominadas “soqueiras-isca”, técnica que pode ser também considerada como uma do tipo atraí-e-mata. Tática delicada por demandar alto comprometimento técnico e acompanhamento constante, a soqueira-isca pode ser implantada apenas dentro do período legal de cultivo do algodoeiro ou com autorização do órgão de defesa vegetal quando a prática adentrar o período de vazio sanitário da cultura na região. A soqueira-isca tem grande capacidade de atração dos bicudos remanescentes, que, aliada ao controle subsequente dos indivíduos atraídos com aplicações sequenciais de inseticidas, é fundamental para a redução populacional do inseto na área (Miranda & Rodrigues, 2015).

Transporte adequado

O transporte adequado de algodão da lavoura para a algodoeira e o de caroço de algodão são incentivados para evitar a distribuição de sementes que caem dos veículos e a germinação de plantas voluntárias ao longo das rodovias. As boas práticas incluem o enlombamento e



FIGURA 9. Transporte adequado de algodão após a colheita (fotos: E. Barros).

o acondicionamento dos produtos e subprodutos do algodão nas carrocerias dos caminhões, a utilização de saias laterais para prevenção de quedas de estruturas das carrocerias, o envelopamento das cargas de caroço (*Figura 9*), altura-limite da carga transportada, limpeza dos veículos, cobertura sobre locais de acúmulo de caroço e descarte dos resíduos do beneficiamento.

Participação em reuniões dos grupos técnicos do algodão

O trabalho em conjunto da cadeia produtiva do algodão é uma grande ferramenta para o bom manejo do bicudo e pode ser feito com a participação de produtores, gerentes e de toda a parte técnica nas reuniões/encontros dos grupos técnicos do algodão (GTAs) existentes, para troca de informações, padronização e coletividade das ações de manejo. Quando não existe GTA, a troca direta de informações entre fazendas vizinhas é de fundamental importância.

5. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O CONTROLE DO BICUDO-DO-ALGODOEIRO

Diante do potencial danoso elevado da praga e do custo de seu controle, os Estados Unidos optaram, nos anos 1970, investir em um ambicioso programa de erradicação. O programa, inicialmente implantado nos estados de Mississippi e Luisiana, foi progressivamente ampliado aos demais estados algodoeiros (Allen, 2015), e é um sucesso na maioria dos estados do *Cotton Belt*, com exceção de algumas áreas limitadas no Texas que registram reinfestação da praga a partir do México (Allen, 2015). Portanto, controle do bicudo nos EUA não é mais considerado problema, e os principais centros de pesquisa, tanto públicos como privados, não trabalham mais para desenvolver novas ferramentas de controle.

Então, o bicudo permanece praga-chave unicamente nos países produtores de algodão da América Central e do Sul, sendo o Brasil o mais interessado em resolver o problema. Logo, uma mobilização ampla dos institutos de pesquisa sul-americanos faz-se necessária para desenvolver novas ferramentas que ajudem o produtor a controlar essa praga. Essas instituições trabalham para desenvolver inovações tecnológicas nas áreas seguintes:

5.1 TRANSGENIA PARA RESISTÊNCIA AO BICUDO

Uso de toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt)

Depois da desistência da Monsanto em desenvolver uma planta transgênica resistente ao bicudo (em decorrência da implantação e do sucesso do plano de erradicação nos EUA), algumas equipes da Embrapa (centros da Embrapa — Cenargen e Embrapa Algodão) desenvolveram trabalhos de testes de eficiência de diversas moléculas (inibidores de proteinase, genes de *Bt*) e de transformação genética do algodoeiro, com intuito de controlar o bicudo. Esses trabalhos foram conduzidos desde o início dos anos 2000, com fundos públicos ou das associações de produtores de algodão por meio de Facual, IMAmt e Agopa (Bélot, 2015). Trabalhos foram conduzidos para testar o efeito de inibidores de protease ou da enzima colesterol oxidase sobre o desenvolvimento das larvas de bicudo, assim como com diversas toxinas de *Bt*. Alguns métodos de transformação genética de plantas — incluindo transformação via *Agrobacterium tumefaciens*, biobalística, via tubo polínico etc. — foram adaptadas para o algodão.

Porém, até o momento, nenhum dos eventos de transformação obtidos nesses trabalhos apresentou eficiência suficiente para uso em variedades comerciais para combater o bicudo.

Uso da técnica de RNAi

As técnicas de silenciamento gênico baseadas em mecanismos de RNA interferência (“silenciamento gênico pós-transcricional”) são muito promissoras para o controle específico de insetos-praga (Price & Gatehouse, 2008).

No caso do bicudo-do-algodoeiro, estudos preliminares sobre os principais genes do bicudo que poderiam constituir objetivo para esse silenciamento gênico foram conduzidos desde 2010 pela equipe da Embrapa Cenargen da dra. Grossi de Sá, relatados por Coelho *et al.* (2010), Firmino (2012) e Firmino *et al.* (2013). Porém, ainda faltam muitos estudos para chegar ao objetivo final de inibir o desenvolvimento da larva do bicudo com base na alimentação em plantas transgênicas que produzam dsRNA.

Plataforma de transformação

Desde 2015, liderado pelo IMAmt, um projeto ambicioso de plata-

forma de transformação genética do algodoeiro para controle do bicudo-do-algodoeiro e de lagartas está sendo articulado com Embrapa, universidades e empresas privadas nacionais e internacionais, e financiamento das associações de produtores (Ampa, Abapa, Agopa etc.) e do Instituto Brasileiro do Algodão (IBA). Nesse projeto, uma das ações prioritárias é a busca de novas moléculas de *Bt* efetivas contra essas pragas que possam ser usadas na construção de uma planta geneticamente modificada (GM); o uso da tecnologia de silenciamento gênico por RNAi está também contemplada no projeto. Com essa plataforma de transformação genética do algodoeiro, as diversas tecnologias poderão ser incorporadas ao genoma da planta e testadas em relação a sua eficiência no controle do bicudo.

Porém, não podemos nos esquecer de que o desenvolvimento de uma planta GM resistente a uma praga requer ao redor de 15 anos de trabalho antes de poder ser posta à disposição do produtor, tempo que inclui a fase de pesquisa propriamente dita, a introgressão em variedades de interesse comercial, até a fase de regulação junto à Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). O sucesso do empreendimento dependerá do empenho de todas essas instituições em prol de um objetivo comum.

5.2 TÉCNICA DE PRODUÇÃO E LIBERAÇÃO DE INSETOS MACHOS ESTÉREIS

Técnicas de redução populacional de pragas (SIT- *Sterile Insect Technique*) ou de vetores de vírus foram elaboradas por Knippling, em 1938, com base na liberação no meio ambiente ou na lavoura de insetos machos estéreis (Lindquist, 1955).

Essa tecnologia foi usada com sucesso nos EUA durante os anos 1970 e 1980 para reduzir as populações de pragas do algodoeiro como a lagarta-rosada (*Pectinophora gossypiella*). Nesse caso, populações importantes de insetos machos, tornados estéreis com raios gama (Cobalt⁶⁰), são liberadas a campo a fim de acasalarem, impedindo sua multiplicação (Ingram, 1994). A técnica tornou-se desinteressante com a liberação de plantas GM com toxinas *Bt* para o controle da lagarta-rosada.

No caso do algodoeiro, muitos trabalhos foram feitos entre os anos 1960 e 1980 com machos de *Anthonomus grandis* esterilizados, para tentar aumentar o tempo de sobrevivência dos insetos a campo (Smith & Harris, 1994). Porém, esses estudos acabaram conforme o programa

de erradicação do bicudo foi implantado e tornou-se um sucesso.

Recentemente, novas técnicas usando o conceito de SIT foram desenvolvidas com base em insetos tornados estéreis por modificações transgênicas. Chamada de RIDL (*Release of Insects carrying a Dominant Lethal*), a técnica está sendo testada a campo para o controle de *Aedes aegypti*, vetor de diversas viroses humanas (Halphey, 2014). O procedimento também foi testado para o controle da lagarta-rosada do algodoeiro, *Pectinophora gossypiella* (Morrison *et al.*, 2012). Cogitou-se a possibilidade de usar essa tecnologia para redução das populações do bicudo-do-algodoeiro, mas, por enquanto, o projeto não recebeu financiamento.

5.3 DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS DE INOVAÇÃO PARA CONTROLE DO BICUDO

Estudos já em andamento buscam melhorar a eficiência de detecção e monitoramento e otimizar as formas de controle do bicudo. Entre as linhas de pesquisa destacam-se:

- o monitoramento inteligente com o uso de nariz eletrônico (“electronic nose”), que consiste no desenvolvimento da tecnologia para detecção da presença do bicudo na cultura de algodão por meio da captação pelo sensor eletrônico de semioquímicos liberados pelo inseto e/ou pela planta (Henderson *et al.*, 2010; Suh *et al.*, 2011; Suh *et al.*, 2014). O sensor poderá ser embarcado em máquinas agrícolas ou drones;
- estudos de bioecologia para identificação de rotas de dispersão do bicudo e de plantas atrativas hospedeiras alternativas do inseto. Tais conhecimentos facilitarão a adoção de estratégias pontuais e eficientes de controle do inseto;
- desenvolvimento de feromônios de agregação do bicudo com compostos voláteis produzidos por plantas de algodoeiro. Esses feromônios teriam sua ação potencializada a ponto de serem mais atrativos que as plantas de algodoeiro, o que permitiria seu uso inclusive durante a safra, para monitoramento do inseto por armadilhas;
- desenvolvimento de polímeros atrativos do bicudo para liberação em áreas críticas. Os polímeros contendo agentes microbianos (fungos entomopatogênicos) e feromônios de atração do inseto seriam liberados em áreas críticas de abrigo de bicu-

dos no refúgio (definidas pelos estudos de bioecologia). Nestas áreas, de melhores condições ambientais para a manutenção dos fungos letais ao inseto, os polímeros, por sua constituição gordurosa, também protegeriam os fungos, permitindo que estes venham a esporular somente quando na presença dos indivíduos de bicudo que entrassem em contato com o dispositivo pela atração exercida pelo feromônio.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente, todas essas pesquisas (e outras que poderão surgir a partir de ideias inovadoras de pesquisadores) apresentam dificuldades naturais inerentes que podem ser mais ou menos importantes para atingir o objetivo principal, que é o controle do bicudo-do-algodoeiro, e ter perspectivas de soluções a médio ou longo prazo. Também necessitam da mobilização de recursos financeiros significativos e de equipes de pesquisa altamente capacitadas.

Porém, é preciso lembrar que, apesar de os valores a serem investidos nos projetos de pesquisa parecerem elevados, são, em realidade, bastante modestos, pouco significam quando os relacionamos ao custo atual pago pelos produtores de algodão do Brasil para conviver com a praga (apenas o gasto com controle), estimado em mais de US\$ 182 milhões anuais. O retorno financeiro para a cadeia algodoeira brasileira e para a sociedade (considerando a redução esperada de uso de inseticidas a serem pulverizados nas lavouras), de uma inovação capaz de solucionar, mesmo que parcialmente, o controle do bicudo-do-algodoeiro, é imenso e vale o risco do investimento.

CONCLUSÃO

A história da cotonicultura está intimamente ligada à história da coevolução do bicudo e do algodoeiro, seu hospedeiro potencial. Esforços de redução e eliminação populacional mostram-se frustrados quando não são realizados de maneira austera, comprometida e totalmente dedicada por todos os segmentos envolvidos. Usamos como exemplo o trabalho de erradicação do bicudo nos Estados Unidos: o projeto já tem 30 anos e ainda hoje o bicudo pode ser encontrado, embora bastante contido, em parte do Estado do Texas.

O bicudo-do-algodoeiro, desde sua introdução no Brasil em 1983,

tornou-se praga-chave do cultivo algodoeiro; ele transformou profundamente a estrutura de produção, inviabilizando os sistemas baseados na agricultura familiar. No sistema de produção intensificado e mecanizado desenvolvido nos Cerrados do Centro-Oeste brasileiro, a convivência com a praga é possível, mas requer esforços de todos os produtores de cada região. Qualquer falha na implantação das medidas de controle por parte de um só produtor pode elevar drasticamente as populações do inseto e causar prejuízos significativos à safra seguinte.

Para reduzir ainda mais os riscos ligados ao bicudo-do-algodoeiro, o produtor precisa de novas medidas de controle, tecnologias etc. As diversas associações de produtores de algodão dos Cerrados financiaram vários projetos de P&D desde os anos 2000 (Bélot, 2015) para controlar melhor o bicudo. Alguns desses projetos envolveram o desenvolvimento de plantas transgênicas resistentes ao bicudo. Porém, tais esforços isolados não foram suficientes para desenvolver plantas transgênicas suficientemente resistentes ao bicudo para uso. É preciso maior mobilização de esforços de pesquisa para propor inovações, visando ajudar o produtor a minimizar a incidência da praga. Com essa visão do futuro, a Ampa e as outras associações de produtores de algodão do Brasil estão empenhadas em financiar pesquisas, em conjunto com fundos federais e estaduais, no marco de uma rede multi-institucional envolvendo Embrapa, IMAmt, universidades e empresas privadas.

Referências

ALLEN, C. T. Boll Weevil Eradication: an Areawide Pest Management Effort. In: **Area-wide Pest Management - Theory and Implementation**. KOUL, O.; G. W. CUPERUS; N. ELLIOT (eds). Wallingford, Reino Unido: CAB International, 2008. p. 467-559.

ALLEN, C. T. Erradicação do bicudo-do-algodoeiro: como o programa foi conduzido nos Estados Unidos. In: BÉLOT J.-L. (Ed.). **O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Cuaiabá: IMAmt, 2015. p. 213-226.

ARGENTINA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Declaración sobre la situación del algodón en la Argentina para la 66ª reunión plenaria del comité consultivo internacional del algodón. In: REUNIÓN PLENARIA DEL COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DEL ALGODÓN, 66., 2007, Izmir, Turquía. **Anales eletronicos...** Disponível em: <www.icac.org/meetings/plenry/66_izmir/documents/country_reports/s_argentina.pdf>; acesso em: 11 out. 2007. Acesso em: 11 out. 2007.

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.

AZAMBUJA, R.; DEGRANDE, P. E. Biologia e ecologia do bicudo-do-algodoeiro no Brasil. In: BELOT J.L. (Edt). **O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle.** Cuiabá: IMAmt, 2015. p. 47-59.

BARBOSA, S.; LUKEFAHR, M. J.; BRAGA SOBRINHO, R. **O bicudo do algodoeiro.** Brasília: Embrapa-DDT, 1986. 314 p.

BASTOS, C. S.; PEREIRA, M. J. B.; TAKIZAWA, E. K.; OHL, G., AQUINO, V. R. **Bicudo do algodoeiro: Identificação, biologia, amostragem e táticas de controle.** Embrapa Algodão. 2005, 31p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 79).

BÉLOT, J.-L. Os trabalhos financiados e/ou conduzidos em Mato Grosso pelos produtores de algodão sobre o bicudo-do-algodoeiro. In: BÉLOT J.-L. (Edt). **O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle.** Cuiabá: IMAmt, 2015. p. 227-254.

BELTRÃO, N. E. de M.; LINS, F. C.; MARGULIS, M.; GONZALES, J. E.; GALINDO, J. R.; MANESSI, O. Relatório de viagem às áreas de produção, experimentação e processamento de algodão do Paraguai. Campina Grande: Embrapa CNPA, 2000. 42 p. (Embrapa CNPA. Documentos, 72).

BRAGA SOBRINHO, R.; LUKEFAHR, M. J. **O bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman); nova ameaça à cotonicultura brasileira: biologia e controle.** Embrapa CNPA: Campina Grande, 1983. 32p. (EMBRAPA-CNPA, Documentos, 22).

BRUBAKER, C.L.; BOURLAND, F.M.; WENDEL, J.F. The origin and domestication of cotton. In: Smith C.W. e Cothren, J.T. (eds), **Cotton: Origin, History, Technology, and Production.** John Wiley & Sons, New York, 1999.; p. 3–32.

BURKE, H. R.; CLARK, W. E. ; CATE, J. R.; FRYXELL, P. A. Origin and dispersal of the boll weevil. **Bulletin of Entomological Society of America**, v.32, p.228-238, 1986.

BUSOLI, A. C.; MICHELOTTO, M. D. Comportamento do bicudo: fechando o cerco. Cultivar Grandes Culturas, n. 72. Pelotas, 2005. p.18-22.

BUSOLI, A. C.; PEREIRA, F. F.; LOPÉZ, V. A. G.; SOARES, J. J.; MELO, R. S.; ALMEIDA, C. L. A. Preferência alimentar do bicudo-do-algodoeiro por frutos de diferentes cultivares e idades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.101-104, 2004.

CÂMARA ALGODONERA ARGENTINA. Revista CAA. 90 p. 2015. http://www.camaraalgodonera.com.ar/noticias/Revista_CAA_2015.pdf
Acesso em 21/03/2015.

COAKLEY, J. M.; MAXWELL, F. G.; JENKINS, J. N. Influence of feeding, oviposition and egg and larval development of the boll weevil on abscission of cotton squares. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 62, p. 244-248, 1969.

COELHO, R. R.; SOUZA JÚNIOR., J. D.; MACÊDO, L. L. P.; GROSSI DE SÁ, M. F. Expressão de dsRNA de fragmentos dos genes de vitelogenina e de receptor de ecdisona de *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) em *Escherichia coli*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23, 2010 - Natal, RN. **Resumos.** Natal: SEB, 2010.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos, vol. 6 - Safra 2015/16- Sexto levantamento. Brasília, 2016. 140 p.

CONFALONIERI, V. A.; SACTAGLINI, M. A.; LANTERI, A. Origin and dispersal of the cotton boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) in South America: a mtDNA Phylogeographic study. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 10. 2000. Foz do Iguaçu, PR. **Resumos**. Foz do Iguaçu: SEB, 2000. p.567.

COPPEDGE, J. F.; FAUST, R. M. We don't cotton to boll weevil 'round here anymore – **Boll weevil eradication**. Agricultural Research: News and Events. US Agricultural Research Service. 8p., 2003.

CROSS, W. H. Biology, control and eradication of the boll weevil. **Annual Review of Entomology**, v.18, p. 17-46, 1973.

CRUZ, V. R. Algodão - **Resultados do MIP - Manejo Integrado de Pragas no Estado de São Paulo em região infestada pelo bicudo: ano agrícola 1989/90**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, 1991. 21p. (Documento Técnico, 86).

CRUZ, V. R. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no estado de São Paulo. In: FERNANDES, O. A.; CORREIA, A. do C. B.; DE BORTOLI, S. A. (Eds.). **Manejo integrado de pragas e nematóides**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p.77-94.

CRUZ, V. R.; PASSOS, S. M. G. **As pragas do algodão e os controles convencional e integrado**. Campinas: CATI, 1985. 36p. (CATI. Documento Técnico, 59).

DEGRANDE, P. E. **Bicudo do algodoeiro: manejo integrado**. Dourados: UFMS/Embrapa, 1991. 142p.

DEGRANDE, P. E. **Guia prático de controle das pragas do algodoeiro**. Dourados: UFMS, 1998. 60p.

FIRMINO, A. A. P. Análise do Transcriptoma de *Anthonomus grandis* e avaliação de um gene com potencial aplicação para controle do inseto por silenciamento gênico. **These** Doutorado - UFRGS; Porto Alegre. 155p. 2012

FIRMINO, A. A. P.; FONSECA, F. C. A.; MACEDO, L. L. P.; COELHO, R. R.; SOUZA JÚNIOR, J. D. A.; TOGAWA, R. C.; SILVA JÚNIOR., O. B.; PAPPAS JÚNIOR, G. J.; SILVA, M. C. M.; ENGLER, G.; GROSSO DE SÁ, M. F. Transcriptome Analysis in Cotton Boll Weevil (*Anthonomus grandis*) and RNA Interference in Insect Pests. **PLOS ONE**, 13p. 2013. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0085079>. Acesso em 15/03/2016.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; DE BAPTISTA, 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. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GARCIA, D. L. E.; MIRANDA, J. E. Tecnologia para supressão do bicudo no Brasil. **Revista Campo & Negócios**. Uberlândia. 2012, v.109, p.6-8.

GREENBERG, S. M.; SAPPINGTON, T. W.; SPURGEON, D. W.; SETAMOU, M. Boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) feeding and reproduction as functions of cotton square availability. **Envir. Entomol.** 32. p.698-704. 2003.

GREENBERG, S. M.; JONES, G. D.; EISCHEN, F.; COLEMAN, R. J.; ADAMCZYK JUNIOR, J. J.; LIU, T. X.; SETAMOU, M. Survival of boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) adults after feeding on pollens from various sources. **Insect Science**, 14. P. 503-510. 2007.

HALPHEY, L. Genetic Control of Mosquitoes. **Annu. Rev. Entomol.** 59:205-224, 2014.

HANEY, P. B.; LEWIS, W. J.; LAMBERT, W. R. Cotton production and the Boll Weevil in Georgia: History, cost of control, and benefits of eradication. **Georgia Agricultural Experiment Stations Research Bulletin**, n. 428, 1996.

HARDEE, D. D.; McKIBBEN, G. H.; GUELDER, R. C.; MITCHELL, E. B.; TUMLINSON, J. H.; CROSS, W. H. Boll Weevils in nature respond to *grandlure*, a synthetic pheromone. **J. Econ. Entomol.** 65: 97-100. 1972.

HENDERSON, W. G.; KHALILIAN, A.; HAN Y. J.; GREENE, J. K.; DEGENHARDT, D. C. Detecting stink bugs/damage in cotton utilizing a portable electronic nose. **Computers and Electronics in Agriculture**, 70(1):157-162. 2010.

HOWARD, L. O. A new cotton insect in Texas. **Insect Life**, n.7, p.273, 1894.

INGRAM, W. R. *Pectinophora* (Lepidoptera: Gelechiidae). In: MATTHEWS G. A.; TUNSTALL, J. P. (Eds.). **Insect pests of cotton**. CAB International. p. 107-149. 1994.

KASSAB, A. L. **Algodão**. São Paulo: Ícone Editora Ltda., 1983. 91p.

KNIPLING, E. F. Tecnologia disponível para erradicação ou manejo do bicudo do algodoeiro. In.: BARBOSA, S.; LUKEFAHR, M. J.; BRAGA SOBRINHO, R. **O bicudo do algodoeiro**. Brasília: Embrapa-DDT, p.31-63, 1986.

KOURI, J.; SANTOS, R. F. dos. A recuperação da produção do algodão no Brasil. In.: VI Congresso Brasileiro do Algodão, 2006. **Resumos...** Campina Grande, Embrapa Algodão, 2006.

LANGE, F.; OLMSTEAD, A. L.; RHODE, P. W. The impact of the boll weevil, 1892-1932. **J. of Economic History**, 69, 685-718. 2009.

LANTERI, A. A.; CONFALONIERI, V. A.; SCATAGLINI, M. A. El picudo del algodón en la Argentina: Principales resultados e implicancias de los estudios moleculares. **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, v. 62, n.3-4, p.23-31, 2003.

LINDQUIST, A. W. The use of gamma irradiations for control or eradication of the screw-worm. **Journ. of Economic Entomol.** 48, 467-469. 1955.

MANESSI, O. G. *Anthonomus grandis* Boh. El picudo del algodón. **La super plaga**. FULCPA, Buenos Aires, 1997. 23p.

MANGANO, V. Análisis de rentabilidad del uso del Tubo Mata Picudo (TMP) aplicando Manejo Integrado de Plagas (MIP) para el control del Picudo Mejicano del Algodonero. Asunción: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2006. 35p.

MARENGO, R. M. L.; WHITCOMB, W. H. Discovery of the boll weevil, *Anthonomus grandis* Boheman, in Paraguay (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, n.5, p.44, 1991.

MARÍN, C. H. El picudo del algodón treinta años de existencia en Colombia. *Boll. Tec.* 81. Instituto Colombiano Agropecuario, Colômbia. 196 p. 1981.

MARTIN, D. F.; BARBOSA, S.; CAMPANHOLA, C. Observações preliminares e comentários sobre o bicudo do algodoeiro, no Estado de São Paulo. Jaguariúna, Embrapa-CNPDA. 21p. (EMBRAPA-CNPDA, Circular Técnica, 1), 1987.

MIRANDA, J. E. Perdas por pragas e impacto sobre o custo de produção do algodão brasileiro nas safras 2011/2012 e 2012/2013. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 9, 2013. Brasília. **Resumos...** Brasília: Abrapa, 2013.

MIRANDA, J. E.; RODRIGUES, S. M. M. História do bicudo no Brasil. p. 11-45. In: BÉLOT, J.-L.(Ed.). O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: **Biologia e medidas de controle**. 1 ed. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão - IMAmt, 2015, 250p.

MIRANDA, J. E.; RODRIGUES, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. A. de; SILVA, C. A. D. da; ALMEIDA, R. P. de; RAMALHO, F. de S. Guia de identificação de pragas do algodoeiro. Documento, 255. Campina Grande: Embrapa Algodão. 69 p. 2015.

MORRISON, N. I.; SIMMONS, G. S.; FU, G.; O'CONNELL, S.; WALKER, A. S.; DAFA'ALLA, T.; WALTERS, M.; CLAUS, J.; TANG, G.; JIN, L.; MARUBBI, T.; EPTON, M. J.; HARRIS, C. L.; STATEN, R. T.; MILLER, E.; MILLER, T. A.; ALPHEY, L. Engineered repressible lethality for controlling the pink bollworm, a lepidopteran pest of cotton. **PLOS ONE**, v. 7, n. 12, e50922. 2012.

NAKANO, O. Bicudo: a praga mais importante do algodão. **Agroquímica**, v.21, p.10-14, 1983.

NEVES, M. F.; PINTO, M. J. A. A cadeia do algodão brasileiro: desafios e estratégias. ABRAPA; Brasília: Markestrat; 2012.

NEVES, R. C. S.; SHOWLER, A. T.; PINTO, E. S.; BASTOS, C. S.; TORRES, J. B. Reducing boll weevil populations by clipping terminal buds and removing abscised fruiting bodies. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.146, n.2, p.276-285. 2013.

PLATO, T. A.; PLATO, J. C.; PLATO, J. S.; PLATO, S. E. Results of the BWACT in boll weevil control, prevention, suppression and eradication programs in the Americas. **Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences**. National Cotton Council, Memphis, 2001.

PRAÇA, L. B. *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae). Documentos, 216. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007.

PRETELT, N. E. V.; ÁLVAREZ, J. R. G.; GONZÁLEZ, V. L. Evaluación post-registro de los tubos mata picudos (T.M.P). Cereté: Instituto Colombiano Agropecuario, 2005. 29p.

PRICE, D. R.; GATEHOUSE, J. A. RNAi- mediated crop protection against insects. **Trends in Biotechnology**, v. 26, n. 7, p. 393-400, 2008.

QUIMBRASIL. Algodão do plantio à colheita. São Paulo: Quimbrasil. 1985. 42p.

RIBEIRO, P. A.; SUJII, E. R.; DINIZ, I. R.; MEDEIROS, M. A.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; BRACO, M. C.; PIRES, C. S. S.; FONTES, E. M. G. Alternative food sources and overwintering feeding behavior of the boll weevil, *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) under the tropical conditions of central Brazil. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.39, p.28-34, 2010.

RODRIGUES, J. C. J. Algodão no Brasil: Mudança, associativismo e crescimento. In: FREIRE, E. C. (Ed.), **Algodão no cerrado do Brasil**. 3ª Ed. Revisada e ampliada. Abrapa, 2015. p. 21-37

RODRIGUES, S. M. M.; MIRANDA, J. E. Relatório de Viagem às Áreas Produtoras de Algodão do Paraguai e Argentina. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 29 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 173).

SANTOS, W. J. Eficiência de controle do bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis*, através da aplicação de gotas contendo a mistura de feromônio sexual "Grandlure" e cipermetrina. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 16., 1997, Salvador, BA. **Resumos**. Salvador: SBE/Embrapa-CNPMPF, 1997. p. 298.

SANTOS, W. J. Monitoramento e controle das pragas do algodoeiro. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. (Eds.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: Potafós, 1999. p.133-179.

SANTOS, W. J. Use of the pheromone traps "grandlure" for attraction and control of the boll weevil, *Anthonomus grandis* in cotton. In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 20, 2004, Gramado, RS. **Resumos**. Gramado: SBE, 2004. p.710.

SANTOS, R. F.; KOURI, J.; SANTOS, J. W. O agronegócio do algodão: Crise e recuperação no mercado brasileiro da matéria-prima agrícola. In. BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Eds.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p.31-60.

SANTOS, R. F.; SANTOS, J. W. Crise na cadeia produtiva do algodão. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.1, n.1, p.25-36, 1997.

SHOWLER, A. T. Influence of adult boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) food resources on fecundity and oviposition. **J. Econ. Entomol.** 97: 1330-1334. 2004.

SHOWLER, A. T. Roles of host plants in boll weevil range expansion beyond tropical mesoamerica. **Am. Entomol.** v. 55, n. 4, p. 234-242. 2009.

SHOWLER, A. T.; CANTÚ, R. V. Intervals between boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) oviposition and square abscission, and development to adulthood in Lower Rio Grande Valley, Texas, field conditions. *Southwest. Entomol.* 30: 161-164. 2005.

SILVA, J. B.; SILVA-TORRES, C. S. A.; MORAES, M. C. B.; TORRES, J. B.; LAUMANN, R. A.; BORGES, M. Interaction of *Anthonomus grandis* and cotton genotypes: biological and behavioral responses. *Entomol. Exp. Appl.* 156: 238-253. 2015.

SMITH, J. W.; HARRIS, F. A. *Anthonomus* (Coleoptera: Curculionidae). In: MATTHEWS G. A.; TUNSTALL, J. P. (Eds). **Insect pests of cotton**. CAB International. p. 223-258. 1994.

SPURGEON, S. D.; RAULSTON, J. R.; CANTÚ, R. V.; COPPEDGE, J. R. Competitive interactions and relative attractancy of boll weevil pheromone traps and bait sticks. pp. 1158-1161. **Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences**. National Cotton Council. Memphis. 1998.

STADLER, T.; BUTELER, M. Migration and dispersal of *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) in South America. **Sociedad Entomológica Argentina**. Buenos Aires, v. 66, n. 3-4, p. 205-217. 2007.

SUH, C., P.-C.; DING N.; LAN Y. Using an electronic nose to rapidly assess *grandlure* content in boll weevil pheromone lures. **Journal of Bionic Engineering**, 8 (4): 449-454, 2011.

SUH, C., P.-C.; MEDRANO, E.G.; LAN Y. Detecting cotton boll rot with an electronic nose. **The Journal of Cotton Science**, 18:435-443, 2014.

SUJII, E. R.; PIRES, C. S. S. Plantas hospedeiras do bicudo-do-algodoeiro. In: BÉLOT J.-L. (Ed). **O bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* BOH., 1843) nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Cuiaba-MT; IMAmt, p. 61-78; 2015.

TORRES, J. B., PONTES, I. A. V. F.; SANTOS, R. L.; NEVES, R. C. S. Principais pragas do algodoeiro em Pernambuco. Informativo REDALGO: **Pragas do Algodoeiro**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 6p. 2009.

URBAN, M. L. de P.; BESEN, G. M. V.; GONÇALVES, J. S.; SOUZA, S. A. M. Desenvolvimento da produção de têxteis de algodão no Brasil. **Informações econômicas**. São Paulo, v.25, n.12, p.11-28, 1995.

USDA-ERS. 2015. <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/cotton-wool/background.aspx>. Acesso em 27/05/2016.

VILLAVASO, E. J.; MCKIBBEN, G. J.; SMITH, J. W. Comparing boll weevil bait sticks to pheromone traps. pp. 926-927. **Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences**. National Cotton Council, Memphis, TN. 1993.

WHITCOMB, W. H.; BRITTON, L. A. The control of the cotton boll weevil, *Anthonomus grandis* Boh. in Venezuela. **Empire Cotton Grow Review**, n.30, p.177-181, 1953.

Capítulo 4

RISCOS E OPORTUNIDADES: FERRUGEM DA SOJA

Cláudia V. Godoy

claudia.godoy@embrapa.br

Embrapa Soja

Franciscimar C. Marcelino-Guimarães

franciscimar.marcelino@embrapa.br

Embrapa Soja

RESUMO. *A ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é considerada a doença mais severa da cultura, podendo causar perdas de até 80% de produtividade. O fungo, originário da Ásia, foi relatado no Brasil em 2001 e encontrou nas condições tropicais ambiente propício para sua sobrevivência e multiplicação durante todo o ano. Sua introdução trouxe consequências ao sistema produtivo da soja, como a intensificação na utilização de fungicidas, a adoção de períodos restritivos para a cultura e a periodização de semeadura. O controle da doença tem sido ameaçado pela redução da menor sensibilidade do fungo aos principais fungicidas, colocando em risco a sustentabilidade da cultura. Genes de resistência têm sido incorporados às cultivares, mas as opções ainda são restritas. Este capítulo apresenta as mudanças no sistema de produção da soja decorrentes da entrada do fungo no Brasil, as medidas de controle atualmente usadas para evitar perdas, a trajetória da redução da eficiência dos principais fungicidas e o risco da estabilidade de produção frente à menor sensibilidade do fungo aos fungicidas. Também são abordadas as pesquisas com novas tecnologias envolvendo estratégias biotecnológicas que podem contribuir para o manejo da doença no futuro.*

1. HISTÓRICO

A ferrugem da soja foi relatada pela primeira vez no Japão como *Uredo sojae* Henn. (Hennings, 1903). Até 1992, acreditava-se que apenas uma espécie de fungo causava a ferrugem da soja, então denominada *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. Os primeiros relatos de ferrugem em soja no Continente Americano são de 1976 em Porto Rico (Vakili & Bromfield, 1976) e de 1979 no Brasil (Deslandes, 1979).

Embora descrito como *P. pachyrhizi*, o comportamento do fungo no Hemisfério Ocidental era menos agressivo do que aquele observado na Ásia e na Austrália. Bonde e Brown (1980), comparando os isolados de Taiwan e os de Porto Rico, encontraram diferenças de reação na cultivar Wayne para os isolados. Porém, não observaram diferenças morfológicas nos uredósporos que permitissem diferenciação taxonômica.

A existência de duas espécies foi confirmada no trabalho de Ono *et al.* (1992), com base na diferença morfológica entre os anamorfos e os teleomorfos das populações. *Phakopsora pachyrhizi* correspondia às populações da Ásia e da Austrália, denominadas ferrugem-asiática, e *P. meibomiae* (Arthur) Arthur, às populações da América, denominadas ferrugem-americana. Ambas as espécies pertencem ao filo Basidiomycota, classe Pucciniomycetes, ordem Pucciniales e família Phakopsoraceae.

A diferenciação das espécies pode ser feita pela fase telial (Ono *et al.*, 1992; Carvalho Jr. & Figueredo, 2000) ou pela análise das regiões ITS (*internal transcribed spacer*) do DNA, que codificam a subunidade 18S do RNA ribossômico dos uredósporos, por meio da reação em cadeia da polimerase (Frederick *et al.*, 2002).

A ferrugem-americana (*P. meibomiae*) é considerada menos agressiva e, no Brasil, ocorre em regiões com altitudes superiores a 800 m e temperaturas amenas (média abaixo de 25°C), com epidemias esporádicas, e raramente causa perdas (Yorinori & Lazzarotto, 2004).

A ferrugem-asiática, causada por *P. pachyrhizi*, é a mais severa e ficou restrita ao Hemisfério Oriental até a década de 1990. Em 1994, a espécie foi relatada no Havaí (Killgore & Heu, 1994), entre 1996 e 1998, no leste e no sul do Continente Africano e, em 2001, na Nigéria (Levy, 2005). Na América do Sul, foi constatada em março de 2001, no Paraguai, e em maio, no Brasil, no Estado do Paraná (Yorinori *et al.*, 2005), de onde se disseminou para Argentina, em 2002 (Rossi, 2003), Bolívia, em 2003, Colômbia, Uruguai e Estados Unidos da América, em 2004 (Schneider *et al.*, 2005).

Em razão de a ferrugem-asiática ser economicamente mais importante, o presente capítulo será restrito a esta doença, causada por *P. pachyrhizi*.

2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A ferrugem causada por *P. pachyrhizi* é considerada uma das doenças mais severas da cultura, sendo relatadas perdas de produtividade de até 80% em diferentes regiões do mundo (Hartman *et al.*, 2015). Reduções de produtividade acima de 80% são observadas em ensaios de fungicidas realizados no Brasil, em diferentes regiões produtoras, comparando-se os melhores tratamentos com as parcelas sem controle (Godoy, 2012).

As perdas diretas em produtividade foram significativas nos primeiros anos da introdução do fungo no Brasil, em consequência do desconhecimento de sua ocorrência e manejo por parte dos produtores e dos poucos fungicidas então registrados (Yorinori & Lazzarotto, 2004; Yorinori *et al.*, 2005). As estratégias de manejo adotadas atualmente reduziram as perdas diretas, embora ainda haja situações pontuais de falhas de controle por atraso em aplicações de fungicida, problemas de tecnologia de aplicação ou utilização de fungicidas de baixa eficiência. O custo anual da doença no Brasil é estimado em US\$ 2 bilhões e corresponde principalmente ao custo de controle com a utilização de fungicidas, considerando-se média de três aplicações de fungicida em quase 100% da área produtora no Brasil (Consórcio Antiferrugem, 2016).

3. SINTOMATOLOGIA E CICLO

Os sintomas da ferrugem manifestam-se predominantemente nas folhas, embora possam ser observados em cotilédones e hastes. Nas folhas, são caracterizados por minúsculos pontos mais escuros do que o tecido sadio da folha (*Figura 1*), cuja coloração varia do esverdeado ao cinza-esverdeado, com uma ou mais saliências correspondentes (urédia) na face inferior da folha. As urédias desenvolvem-se predominantemente na face inferior, mas podem, esporadicamente, aparecer na face superior das folhas. Nas urédias abre-se um minúsculo poro por onde são expelidos os uredósporos (Almeida *et al.*, 2005).

Durante os estágios iniciais de desenvolvimento, ainda antes da es-

FIGURA 1.
Sintomas
de ferru-
gem em
folha de
soja.



porulação, as lesões de ferrugem podem ser confundidas com lesões de pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*), de mancha-parda (*Septoria glycines*) e de crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*), sendo a diferenciação feita principalmente pela presença das urédias (Almeida *et al.*, 2005).

As folhas infectadas, com alta densidade de lesões, amarelam e caem precocemente, comprometendo a formação e o enchimento de vagens, o peso final e a qualidade dos grãos (presença de grãos verdes) (Hartman *et al.*, 2015).

A coloração das lesões depende de sua idade e da interação entre o genótipo da planta e o isolado do patógeno. A lesão pode ser do tipo TAN (castanha), sem necrose extensiva e com esporulação abundante, indicando reação de suscetibilidade, ou do tipo RB (marrom-avermelhada - *reddish brown*), com extensiva necrose, menor número de urédias e pouca esporulação, indicando reação de resistência (Bromfield & Hartwig, 1980; Bromfield, 1984). A aplicação de fungicida também pode ocasionar o escurecimento das lesões, deixando-as com aspecto RB.

Os sintomas podem ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, no entanto, a maior incidência ocorre a partir do fechamento do dossel da lavoura, em razão da formação de um microclima mais favorável à infecção, promovido por maior umidade e sombreamento, que protegem os esporos da radiação UV e da radiação solar direta, que têm efeito deletério para sobrevivência do fungo

(Isard *et al.*, 2006). As lesões podem ser observadas antes do fechamento do dossel da lavoura, quando há grande quantidade de inóculo no momento da semeadura, principalmente quando há sucessão de semeadura de soja ou semeadura próxima a áreas de colheita.

O fungo *P. pachyrhizi* é um parasita obrigatório e necessita de hospedeiro vivo para sobreviver e multiplicar-se. É característica típica dos fungos causadores de ferrugem a produção de vários tipos de estruturas reprodutivas (picniósporos, eciósporos, uredósporos, teliósporos e basidiósporos), bem como, em alguns casos, a exigência de mais de um hospedeiro para completar o ciclo de vida (Massola Jr. & Krugner, 2011). O fungo *P. pachyrhizi* produz uredósporos e teliósporos. A germinação do teliósporo e a formação do basidiósporo pode ser induzida em laboratório, embora não relatada na natureza. Não foram relatadas as fases de picniósporos e eciósporos para ferrugem da soja. Na fase uredinial, são produzidos os uredósporos, que são disseminados a longas distâncias pelo vento e constituem o inóculo responsável pelas epidemias (Almeida *et al.*, 2005; Hartman *et al.*, 2015).

A penetração do fungo ocorre de forma direta na folha, através da epiderme. O processo de infecção depende da disponibilidade de água livre na superfície da folha, sendo necessário no mínimo seis horas de molhamento para que ocorram infecções com temperatura na faixa ótima (entre 15°C e 25°C), e mais de oito horas, para valores extremos, como 10°C ou 27°C (Melching *et al.*, 1989). A precipitação favorece o desenvolvimento das epidemias (Del Ponte *et al.*, 2006). Embora haja evidência do efeito negativo de altas temperaturas (acima de 27°C) em experimentos em condições controladas (Melching *et al.*, 1989), epidemias severas foram documentadas no Brasil, em locais onde temperaturas médias dentro desse espectro ocorrem na safra, porém associadas a regime de precipitação bem distribuído (Yorinori *et al.*, 2005; Del Ponte *et al.*, 2006).

O período latente, que é o tempo entre o início da infecção e a esporulação, também é afetado pela temperatura, sendo de seis dias à temperatura de 26°C. Esse período tende a aumentar conforme a temperatura se distancia do ponto ótimo, em ambas as direções, podendo chegar a 12 ou 16 dias à temperatura de 15°C (Alves *et al.*, 2006). Temperaturas acima da faixa favorável à infecção também afetam negativamente a germinação dos esporos e, por consequência, a taxa de desenvolvimento da doença (Kochman, 1979).

A sobrevivência do fungo durante todo o ano baseia-se na produ-

ção contínua de uredósporos em um hospedeiro adequado. Além da soja, pelo menos outras 90 espécies de leguminosas são consideradas hospedeiras de *P. pachyrhizi* (Slaminko *et al.*, 2008). Apesar do grande número de plantas hospedeiras, a maioria produz lesão RB, com pouca esporulação. No Brasil, no Paraguai e na Bolívia, o principal hospedeiro é a soja, que pode ser semeada continuamente ou cresce como planta voluntária no meio de culturas como milho, milheto e crotalária e ao longo das estradas, a partir de grãos perdidos no transporte. O kudzu (*Pueraria lobata*) é um hospedeiro importante de *P. pachyrhizi* em algumas regiões dos Estados Unidos, do Paraguai e da Argentina.

4. MONITORAMENTO

Programas de monitoramento de doenças são importantes para culturas com distribuição geográfica ampla ou para as doenças que podem causar perdas econômicas rápidas e grandes, como, por exemplo, requeima da batata (Krause *et al.*, 1975), ferrugens nas culturas de cereais (Verreet *et al.*, 2000) e ferrugem da soja nos EUA (Sikora *et al.*, 2014).

No Brasil, desde 2004, um mapa com as ocorrências da ferrugem-asiática está à disposição de produtores e assistência técnica, permitindo o acompanhamento dos relatos da doença em âmbito nacional. O mapa está hospedado no site do Consórcio Antiferrugem (<http://www.consorcioantiferrugem.net>) e disponível para aplicativos de celular. As informações do site são inseridas por laboratórios públicos e privados de universidades, cooperativas, unidades da Embrapa, órgãos de defesa e assistência técnica. O mapa da safra começa após o término do primeiro período de vazio sanitário, em 16 de setembro. Os esforços concentram-se na precisão do relato das primeiras ocorrências, para alertar os produtores sobre a presença do fungo na região e a necessidade do início do controle com fungicida. As ocorrências iniciais variam entre safras, sendo bastante dependentes das condições climáticas da entressafra e da safra; mas, após a adoção do vazio sanitário, os relatos tendem a começar no final de novembro e início de dezembro. Desde 2013, plantas de soja voluntárias com ferrugem, remanescentes no inverno, têm sido indicadas no mapa, principalmente nos estados que não adotam o vazio sanitário (Consórcio Antiferrugem, 2006).

5. MANEJO

O manejo da ferrugem envolve a integração de medidas culturais, a resistência genética e, de forma mandatória, a utilização de fungicidas quando a doença incide na lavoura. As opções de cultivares resistentes ainda são poucas e limitadas a alguns genes maiores de resistência. Os fungicidas sítio-específicos vêm perdendo sua eficácia por conta da resistência do fungo. A integração das medidas de manejo é essencial para evitar a redução de produtividade, mas a variabilidade do fungo vem ameaçando a estabilidade de produção da cultura.

5.1 CONTROLE CULTURAL

As áreas de produção de soja no mundo onde há possibilidade da ocorrência de ferrugem podem ser divididas em regiões onde o fungo sobrevive durante todo o ano, se um hospedeiro adequado estiver presente, e outras em que as epidemias de ferrugem sazonais dependem de dispersão a longa distância do inóculo a partir de uma área de origem (Li *et al.*, 2010). As condições ambientais em grande parte de Brasil, Paraguai e Bolívia são propícias para a sobrevivência do patógeno durante todo o ano, enquanto a ocorrência de epidemias de ferrugem na Argentina e no cinturão de soja dos EUA depende de dispersão de esporos produzidos em áreas distantes dessas regiões (Pivonia & Yang, 2004; Li *et al.*, 2010).

Nos primeiros anos após a introdução do fungo *P. pachyrhizi* no Brasil, epidemias severas foram registradas perto de áreas com semeadura de soja irrigada durante a entressafra (junho a setembro). Essas áreas semeadas no inverno mantinham o inóculo para a próxima safra, funcionando como ponte verde para o fungo. A incidência precoce da ferrugem, ainda no período vegetativo, era observada em lavouras semeadas próximo aos plantios de inverno. Na safra 2003/04, em Mato Grosso (Sorriso, Campo Novo do Parecis, Campos de Júlio, Sapezal e Primavera do Leste) e em Goiás (Goiânia), a incidência da ferrugem foi relatada entre 25 e 30 dias após a germinação, atingindo níveis epidêmicos no mês de dezembro (Seixas & Godoy, 2007). Na região de Primavera do Leste, o número de aplicações de fungicida foi de 4,5 a 5 e houve casos de abandono de lavoura (Siqueri, 2005).

Com o objetivo de reduzir o inóculo durante a entressafra, em 2005, em Mato Grosso, a Superintendência Federal de Agricultura

no Estado e o Instituto de Defesa Agropecuária assinaram uma recomendação conjunta para que se mantivessem as áreas irrigadas sob pivô central sem cultivo de soja e sem a presença de plantas voluntárias durante o inverno até o início da semeadura da safra de verão. Porém, naquele ano, foi liberada a soja Roundup Ready® no Brasil, e muitos produtores utilizaram as áreas com irrigação para a multiplicação de semente. Nesse inverno, foram semeados 16.000 ha de soja em Primavera do Leste/MT (30 pivôs). Novamente, no início da safra 2005/06, na região de Primavera do Leste, a ferrugem foi detectada no início do período vegetativo da cultura. A ocorrência de ferrugem no período vegetativo também foi relatada em áreas irrigadas em Guaíra/SP e em Minas Gerais (Seixas & Godoy, 2007).

Em 2006, órgãos de defesa dos estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins instituíram o vazio sanitário por meio de instrução normativa ou portaria. O vazio sanitário é um período que varia de 60 a 90 dias sem plantas de soja no campo, durante a entressafra. Esse período foi definido com base na maior sobrevivência de esporos relatada, que foi de 55 dias em folhas de soja infectadas e armazenadas à sombra (Patil *et al.*, 1998). O objetivo do vazio sanitário é a redução de inóculo do fungo durante a entressafra, por meio da eliminação do principal hospedeiro.

Em 2007, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) implementou o Programa Nacional de Controle de Ferrugem-Asiática da Soja. Nesse programa, todos os estados deveriam avaliar a necessidade de adotar o período mínimo de 60 dias livre de soja na entressafra. No mesmo ano, o vazio sanitário foi regulamentado nos estados de São Paulo, Maranhão, Minas Gerais, Bahia e Paraná e no Distrito Federal. No Rio Grande do Sul, por conta da ocorrência de geadas no inverno que eliminariam a soja voluntária, a comissão de defesa decidiu não adotar o procedimento (Seixas & Godoy, 2007). Os estados de Santa Catarina, em 2008, Pará e Rondônia, em 2009, instituíram o vazio sanitário. Em 2009, Santa Catarina revogou a normativa alegando condições climáticas similares às do Rio Grande do Sul.

Atualmente, 12 estados adotam o vazio sanitário, três com 60 dias (Pará, Maranhão e Bahia) e nove com 90 dias sem cultivo da soja (Figura 2). Seguindo o exemplo do Brasil, em 2011, o Paraguai estabeleceu, por meio de resolução, o período de vazio sanitário de 10 de junho a 30 de agosto (Consórcio Antiferrugem, 2016).

O período de vazio sanitário atrasou os primeiros relatos da ferrugem em lavouras comerciais; os primeiros cadastros foram registra-

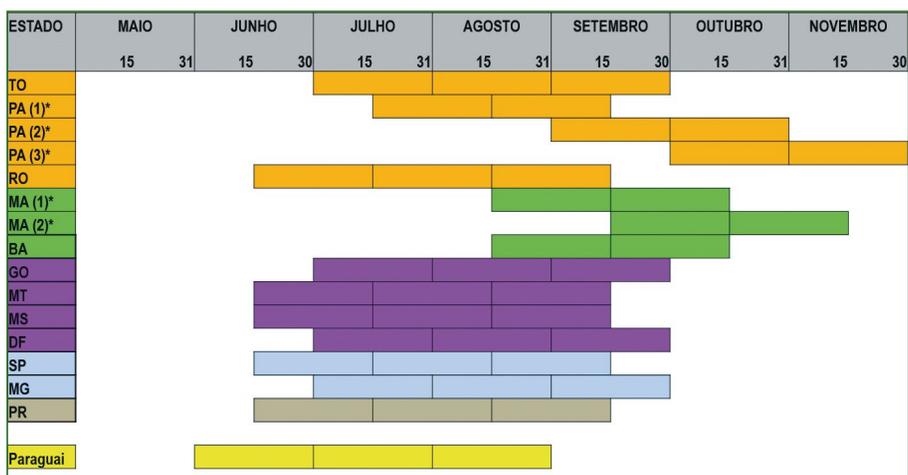


FIGURA 2. Períodos de vazio sanitário da soja no Brasil. PA [1]: microrregiões de Conceição do Araguaia, Redenção, Marabá, São Feliz do Xingu, Parauapebas, Itaituba (com exceção dos municípios de Rurópolis e Trairão) e Altamira (distritos de Castelo dos Sonhos e Cachoeira da Serra). PA [2]: microrregiões de Paragominas, Bragantina, Guamá, Tomé-Açu, Salgado, Tucuruí, Castanhal, Arari, Belém, Cametá, Furos de Breves e Portel. PA [3]: microrregiões de Santarém, Almeirim, Óbidos, Itaituba (municípios de Rurópolis e Trairão) e de Altamira (com exceção dos distritos de Castelo de Sonhos e Cachoeira da Serra). MA [1]: microrregiões de Alto Mearim, Grajaú, Balsas, Imperatriz e Porto Franco. MA [2]: microrregiões de Baixada Maranhense, Caxias, Chapadinha, Codó, Coelho Neto, Gurupi, Itapecuru Mirim, Pindaré, Presidente Dutra, Rosário, Paço do Lumiar, Raposa, São José de Ribamar, São Luís.

dos no site do Consórcio Antiferrugem a partir do final de novembro e início de dezembro, após a adoção do vazio. A incidência da doença nas primeiras lavouras semeadas tende a começar após o fechamento do dossel. A orientação da semeadura no início da época recomendada, com cultivares precoces, é uma estratégia de escape da ferrugem (Consórcio Antiferrugem, 2016).

Mesmo com o período de 60 a 90 dias sem soja no campo, o Brasil possui uma extensa janela de semeadura, sendo possível realizar duas semeaduras consecutivas de soja na mesma área ou mesmo semear após outra cultura, nos meses de janeiro e fevereiro. Essas áreas semeadas tardiamente recebem inóculo das áreas semeadas no início da safra, e, sobre elas, a ferrugem incide precocemente, sendo necessário antecipar as aplicações de fungicidas e reduzir-lhes o intervalo, o que implica em aumento no número de pulverizações. Esse excesso de aplicações exerce grande pressão de resistência no fungo

P. pachyrhizi aos fungicidas. Com o objetivo de reduzir a pressão de seleção para resistência aos fungicidas, a partir de 2014, os estados de Goiás e Mato Grosso definiram datas-limite de semeadura até 31 de dezembro. Essa medida também foi adotada no Estado do Paraná, onde entra em vigor em 2017 (Consórcio Antiferrugem, 2016).

5.2 CONTROLE QUÍMICO

A principal medida de manejo para o controle da ferrugem da soja é a utilização de fungicidas; diversos fungicidas têm sido avaliados para tal fim. Os primeiros estudos no Hemisfério Oriental indicavam que fungicidas protetores eram eficientes na redução da severidade da ferrugem e na manutenção da produtividade (Sinclair & Hartman, 1996). No entanto, estudos realizados na Índia informam que fungicidas sítio-específicos do grupo dos inibidores da desmetilação (IDM, “triazóis”), hexaconazol, triadimefon, propiconazol e difenoconazol apresentavam maior eficiência de controle do que fungicidas protetores, como mancozeb, tridemorph e chlorothalonil (Patil & Anahosur, 1998). Com a disseminação da ferrugem para África e América do Sul, diversos fungicidas IDM e inibidores da quinona oxidase (IQo, “estrobilurinas”), aplicados isoladamente ou em misturas, foram avaliados, verificando-se alta eficiência no controle da doença para vários produtos (Miles *et al.*, 2007; Scherm *et al.*, 2009).

No Brasil, a entrada de *P. pachyrhizi* fez com que o uso de fungicidas na cultura da soja se intensificasse e que o número de fungicidas registrados para ferrugem aumentasse de cinco, em 2002, para 117, em 2016 (AGROFIT, 2016). Nos primeiros anos, a maioria dos fungicidas utilizados pertencia ao grupo dos IDMs e misturas prontas de IDM e IQo. Desde 2013, misturas comerciais de inibidores da succinato desidrogenase (ISDH) e IQo vêm sendo registradas (AGROFIT, 2016).

Os fungicidas registrados apresentam grandes diferenças de eficiência no controle da ferrugem e, desde 2003/2004, estão sendo avaliados em uma rede de ensaios cooperativos, realizados por diferentes instituições públicas e privadas de pesquisa. Os ensaios são coordenados por Embrapa Soja, Tagro (empresa de pesquisa privada) e Universidade de Rio Verde (UniRV). A quantidade de fungicidas avaliados nos ensaios varia a cada ano e inclui aqueles registrados mais utilizados e os novos em processo de registro. Além da eficiência dos produtos, os resultados dos ensaios têm fornecido informações temporais e regionais sobre as

diferenças de eficiência dos diferentes grupos no Brasil (Godoy, 2012).

Até 2007, os resultados dos ensaios mostraram que, em geral, fungicidas IDM aplicados isoladamente apresentavam maior eficiência de controle do que fungicidas IQo, mas com grande diferença de eficácia entre ingredientes ativos. Protioconazol e tebuconazol foram os mais eficientes; fluquinconazol e difenoconazol, os menos (Scherm *et al.*, 2009). A aplicação isolada de IQo foi recomendada apenas nos primeiros anos e, por conta da menor eficiência em comparação com os IDM, só foi recomendada em misturas para controle da ferrugem no Brasil.

A eficiência dos fungicidas IDM tem diminuído ao longo do tempo. O tebuconazol (IDM) apresentava eficiência semelhante à mistura de IDM + IQo até 2006/2007, com base no percentual médio de controle da ferrugem nos ensaios cooperativos (Figura 3). A redução na eficiência de controle dos IDM foi observada no final da safra 2007/08, principalmente na região dos Cerrados, refletindo na média de controle dos ensaios. A partir de 2008/09, iniciaram-se as recomendações para que se evitasse o uso de fungicidas IDM isolados no Cerrado e para que se usassem somente misturas com IQo (Godoy, 2012). Em 2009/10, a redução de eficiência também foi observada no Sul do Brasil, e as recomendações de misturas foram estendidas para todas as regiões produtoras de soja do país. Depois de 2007/2008, a redução de eficiência foi geral para fungicidas IDM, exceto apenas para protioconazol, lançado em 2010, em mistura com trifloxistrobina. Na safra 2014/15, a eficiência média dos IDM tebuconazol e ciproconazol nos ensaios em rede foi de 18% e 27% de controle, respectivamente, com média de três aplicações (Godoy *et al.*, 2015a).

A redução na eficiência dos IDM seis anos após a detecção de *P. pachyrhizi* no Brasil é associada à seleção de populações do fungo menos sensíveis. O monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos fungicidas no Brasil teve início em 2005, pela Bayer CropScience (Frac, 2016). Alta variabilidade da sensibilidade a IDM entre as populações de *P. pachyrhizi* tem sido observada nos estudos de monitoramento conduzidos no Brasil, com redução significativa de sensibilidade ao grupo (Schmitz *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2015).

Para vários patógenos, a base genética da resistência aos fungicidas IDM é associada a uma ou várias mutações pontuais no gene da enzima 14- α -desmetilase, dependente do citocromo P450 (CYP51), um gene nuclear que codifica para a proteína-alvo do fungicida. Análises do CYP51 de isolados de *P. pachyrhizi*, coletados em diferentes re-

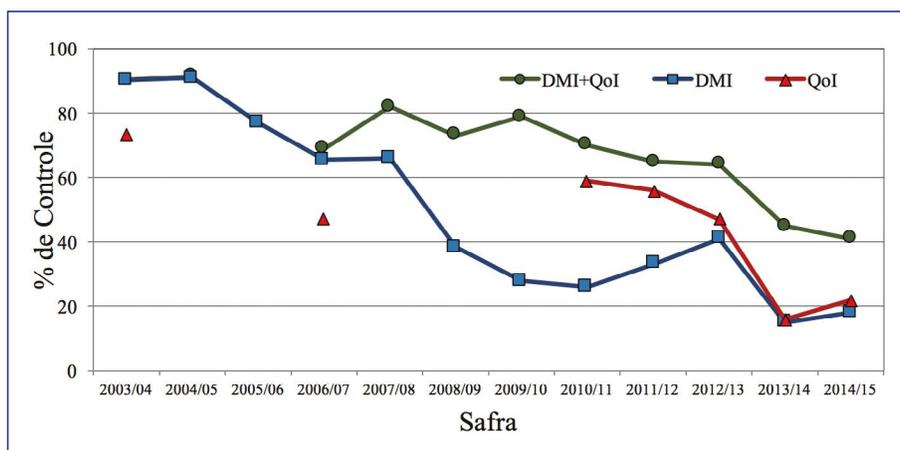


FIGURA 3. Porcentagem de controle da ferrugem nos ensaios cooperativos nas safras 2003/04 (11 ensaios), 2004/05 (20 ensaios), 2005/06 (15 ensaios), 2006/07 (10 ensaios), 2007/08 (sete ensaios), 2008/09 (23 ensaios), 2009/10 (15 ensaios), 2010/11 (11 ensaios), 2012/13 (21 ensaios), 2013/14 (16 ensaios) e 2014/15 (21 ensaios) em diferentes regiões produtoras no Brasil. DMI + QoI = ciproconazol + azoxistrobina; DMI = tebuconazol; QoI = azoxistrobina. Fonte: adaptado de Godoy (2012); Godoy *et al.* (2012, 2013, 2014, 2015a).

giões do Brasil em 2010, mostraram associação das mutações F120L, Y131F/H, K142R, I145F e I475T com a menor sensibilidade do fungo aos IDM. Populações amostradas em 2013 e 2014 mostraram predominância na associação das mutações F129L + Y131H e também a presença de mutações triplas pela primeira vez (F129L + Y131F + I145T) (Klosowski, 2015). Além das mutações pontuais, alguns isolados menos sensíveis também apresentaram aumento na expressão do gene CYP51 de até dez vezes (Schmitz *et al.*, 2014).

Os fungicidas IQo, em razão da menor eficiência nos ensaios em rede, não foram incluídos nos ensaios subsequentes até 2006/07 (*Figura 3*), quando todos os fungicidas foram reavaliados. A partir de 2010, o fungicida azoxistrobina aplicado isoladamente foi incluído nos ensaios para monitoramento de sua eficiência no campo. Quando aplicada sozinha, a azoxistrobina mostrou eficiência semelhante no período de 2010 a 2013 aos resultados de 2006 (*Figura 3*). Em 2013/14 e 2014/15, observou-se redução significativa de sua eficiência nos ensaios (Godoy *et al.*, 2014; 2015a).

A resistência aos fungicidas IQo está associada a mutações no citocromo b. Pelo menos três substituições de aminoácidos nas posições 143, 129 e 137 estão relacionadas à resistência de fungos fitopatogênicos aos IQo. A mutação na posição 143, resultante da substituição de uma

glicina por uma alanina (G143A), é descrita como qualitativa, uma vez que está associada a altos níveis de resistência. As mutações nas posições 129, resultante da substituição de uma fenilalanina por uma leucina (F129L), e 137, resultante da substituição de uma glicina por uma arginina (G137R), conferem apenas resistência moderada (parcial) (Gisi *et al.*, 2000).

Para *P. pachyrhizi* e outros fungos patogênicos, a análise da sequência do citocromo b revelou a presença de um íntron tipo I logo após o códon 143 (Grasso *et al.*, 2006). A mutação nesse ponto impediria a remoção do íntron, levando a uma deficiência do citocromo b, letal para o fungo. Portanto, a evolução da resistência aos fungicidas IQo com base na mutação G143A tem baixa probabilidade de ocorrer em fungos que possuem o íntron logo após o códon 143. No entanto, a análise molecular do citocromo b de populações de *P. pachyrhizi* de 2013/14 mostrou alta frequência da mutação F129L em amostras de campo e isolados monourediniais (Klosowski *et al.*, 2016). Essa mutação não foi encontrada nas análises das populações de 2010 (Schmitz *et al.*, 2014). A presença da mutação F129L em *P. pachyrhizi* pode explicar a redução de eficiência observada nos ensaios em 2013/14; não se descarta, porém, a existência de outro mecanismo de resistência.

A redução de eficiência de fungicidas IDM e IQo comprometeram a eficiência das misturas em diferentes níveis. Embora ocorra resistência cruzada entre os compostos no mesmo grupo, as mutações afetaram os ingredientes ativos de forma diferente. Entre os IQo, a eficiência das misturas contendo picoxistrobina foi a menos afetada, assim como misturas contendo o fungicida protioconazol (IDM) (Godoy *et al.*, 2014; 2015a).

Entre os fungicidas sítio-específicos, o único modo de ação que ainda não teve sua eficiência reduzida foi o ISDH, em razão de sua entrada recente no mercado brasileiro. Novos fungicidas do grupo ISDH foram incluídos nos ensaios em rede desde 2011/12 — benzovindiflupyr, fluxapiraxad e bixafen (Godoy *et al.*, 2012; 2013; 2014; 2015a). Os ISDH foram testados em misturas com IQo ou misturas triplas com IQo e IDM. No entanto, verificaram-se casos de resistência a ISDH para 14 patógenos no mundo, incluindo fungos como *Corynespora cas-siicola* (em pepino) e *Sclerotinia sclerotiorum* (em canola) (Avenot & Michailides, 2010), que também são patógenos da soja. Em função de sua maior eficiência, esses produtos tendem a ser mais utilizados, resultando em maior pressão de seleção para resistência a esses fungicidas.

Apesar do grande número de fungicidas registrados, somente cinco fungicidas comerciais apresentaram eficiência acima de 50% de controle na safra 2014/15, evidenciando um número restrito de opções de controle da ferrugem (Godoy *et al.*, 2015a). Entre os produtos em fase de registro, não há nenhum com modo de ação sítio-específico novo, sendo os fungicidas com registro especial temporário combinações de ativos de IDM, IQo e ISDH.

A exposição frequente do fungo ao mesmo fungicida e o excesso de aplicações são fatores que contribuem para a seleção de isolados menos sensíveis/resistentes. Estratégias antirresistência têm sido recomendadas, o que inclui rotacionar e usar misturas comerciais de fungicidas com diferentes modos de ação e sem resistência cruzada; utilizar dose e intervalo de aplicação recomendados pelo fabricante, ajustados para a epidemia da doença, evitando intervalo extenso entre as aplicações; aplicar preventivamente, monitorando a lavoura e acompanhando a situação do inóculo na região, promovendo a aplicação próximo ao fechamento das entrelinhas da soja, quando a ferrugem já tiver sido detectada na região. Quanto aos fungicidas com ISDH, não devem ser feitas mais que duas aplicações do mesmo fungicida em sequência e, no máximo, duas aplicações de ISDH por cultivo. Fungicidas ISDH não são recomendados quando a ferrugem estiver estabelecida na lavoura (Consórcio Antiferrugem, 2016). A janela de semeadura extensa, com aumento de inóculo do fungo da ferrugem nas semeaduras tardias e a necessidade de aumento do número de aplicações, favorece a pressão de seleção para resistência nesses plantios. A definição de datas-limite para a semeadura é uma estratégia para atrasar o aparecimento da resistência.

Fungicidas multissítios, como mancozeb, oxicloreto de cobre, chlorothalonil, voltaram a ser reavaliados para o controle da ferrugem, isoladamente e em misturas, com o objetivo de aumentar a eficiência de controle de fungicidas que a tiveram reduzida e atrasar o aparecimento de resistência para os que ainda não ocorreu (Godoy *et al.*, 2015b). Esses fungicidas atuam em várias rotas bioquímicas do patógeno e não se transladam pela planta, sendo, dessa forma, sujeitos à lixiviação. Para serem eficientes, devem ser aplicados de forma preventiva, com boa cobertura e necessidade de reaplicação quando houver novo crescimento da planta ou quando ocorrer lixiviação (Rupe & Sconyers, 2008).

O número de aplicações necessárias para o controle da doença depende de vários fatores, como o tipo de fungicida, de quando a epide-

mia de ferrugem teve início e das condições ambientais após seu início. Análises dos dados dos ensaios realizados no Brasil mostram que somente um nível de severidade muito baixo (até 0,05%) foi tolerado na primeira aplicação, sem afetar o controle da doença, no entanto, mesmo com essa baixa severidade, houve redução da produtividade (Scherm *et al.*, 2009). Para que as aplicações possam ocorrer antes do início dos sintomas da doença, o monitoramento e a divulgação dos focos podem orientar o produtor nas aplicações iniciais.

5.3 CONTROLE BASEADO NA RESISTÊNCIA GENÉTICA

A resistência genética é explorada no melhoramento de plantas para o controle de doenças e envolve o emprego de fontes de resistência presentes na espécie em questão. A resistência mediada por genes de efeito maior ou qualitativos, denominados genes de resistência R, ou resistência vertical, é o principal tipo usado; no entanto, limita-se a raças específicas do patógeno (resistência raça-específica).

O produto de expressão dos genes R pode interagir direta ou indiretamente com genes de avirulência (*Avr*) do patógeno, permitindo seu reconhecimento, e, conseqüentemente, a ativação de resposta de resistência na planta hospedeira, também conhecida como imunidade ativada por efetores. A resposta de resistência culmina com a produção de espécies reativas de oxigênio e resposta de hipersensibilidade (HR) seguida de morte celular local, restringindo o patógeno ao sítio de infecção (Dodds & Rathjen, 2010).

Até o momento, seis genes dominantes de resistência à ferrugem da soja (*Rpp1-Rpp6*) foram descritos. *Rpp1*, *Rpp4* e *Rpp6* foram mapeados para três diferentes regiões do cromossomo 18 (Hyten *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2012.), *Rpp2* no cromossomo 16 (Silva *et al.*, 2008), *Rpp3* no cromossomo 6 (Hyten *et al.*, 2009) e *Rpp5* no cromossomo 3 (Garcia *et al.*, 2008). Além disso, o *Rpp?* (Hyyuga) foi mapeado para o mesmo intervalo que *Rpp3* (Monteros *et al.*, 2007) e um novo alelo de *Rpp1*, designado *Rpp1-b*, foi mapeado em PI 594583A e está presente em PI 587880A, PI 587886, e PI 561356 (Chakraborty *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2012; Ray *et al.*, 2009). O alelo *Rpp2* recessivo foi mapeado a partir de PI 224270, na mesma região que *Rpp2* (Garcia *et al.*, 2008), ao passo que três alelos diferentes têm sido relatados para *Rpp5*, incluindo um alelo dominante em PI 200526 e PI 200487, um de dominância incompleta em PI 471904 e um recessivo em PI 200456 (Garcia *et al.*, 2008).

O melhoramento genético para resistência a *P. pachyrhizi* tem sido realizado por meio de métodos de seleção clássicos baseados nas reações fenotípicas TAN, RB e imune. Interações suscetíveis (TAN) são caracterizadas por lesões sem necrose extensiva e com abundante esporulação, enquanto as interações de resistência são caracterizadas pelo crescimento limitado do fungo com lesões marrom-avermelhadas (RB), menor número de urédias, pouca ou nenhuma esporulação. A reação fenotípica imune é uma reação de incompatibilidade sem sintomas visíveis da doença nas folhas do hospedeiro (Bromfield, 1984).

A variação natural para a resistência tem sido explorada por meio da seleção em larga escala de fontes de resistência em bancos de germoplasma, associada ao emprego de marcadores moleculares e/ou a clonagem posicional. Mais de 1.600 acessos de soja foram selecionados para resistência ou tolerância à ferrugem-asiática e apenas algumas fontes adicionais foram identificadas. Nenhuma fonte com amplo espectro de resistência para todos os isolados de *P. pachyrhizi* foi identificada (Miles *et al.*, 2006; 2008).

Adicionalmente, plataformas de sequenciamento em larga escala têm permitido ampliar a capacidade de acesso à variabilidade genética presente em genótipos de soja, revelando importantes polimorfismos de uma base (SNPs) e formação de haplótipos entre indivíduos com diferentes respostas a isolados do patógeno, aumentando a capacidade do emprego de marcadores moleculares para seleção baseada no DNA (Kim *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2015; Harris *et al.*, 2015).

A resistência mediada por um único gene *Rpp*, de herança dominante contra *P. pachyrhizi*, tem sido superada na natureza devido à alta variabilidade do patógeno (Hartman *et al.*, 2005; Yorinori *et al.*, 2005). Além disso, genes que conferem resistência a todos os isolados ainda não foram identificados, mostrando a necessidade de concentrar esforços na busca de medidas de controle alternativas.

A resistência horizontal ou quantitativa, conferida normalmente por um grande número de genes (poligenes), cada um contribuindo um pouco na soma da resistência, tem sido pouco explorada no manejo da ferrugem-asiática. Esse tipo de resistência muitas vezes é efetiva contra todas as raças do patógeno e apresenta-se mais estável no decorrer do tempo; é, porém, mais difícil de ser incorporada a novas cultivares. O emprego de genes de efeito recessivo nos programas de melhoramento seria uma opção na busca de uma resistência mais durável, sendo que pelo menos três genes recessivos ao patógeno, pre-

sentes nos acessos PI 200456, PI 224270 e BR01-18437, já foram reportados na literatura (Calvo *et al.*, 2008; Pierozzi *et al.*, 2008).

Cultivares comerciais de soja que apresentam certo nível de resistência à ferrugem-asiática, mediada por genes *Rpp*, estão disponíveis no Brasil desde 2009, como as denominadas INOX® e BRS, geradas por Tropical Melhoramento & Genética e Embrapa, respectivamente. A estratégia de melhoramento mais comum é a introgressão de genes maiores e/ou sua piramidação, combinando dois ou mais genes em um único material. O acesso japonês Hyuuga representa um exemplo de piramidação natural de genes *Rpp* (Kendrick *et al.*, 2011) e exibe resistência superior a seus ancestrais que contêm apenas um dos genes R (Maphosa *et al.*, 2012). O efeito sinérgico entre os genes R também foi observado quando três genes *Rpp* foram introduzidos em uma única linhagem (Lemos *et al.*, 2011; Yamanaka *et al.*, 2013; Yamanaka *et al.*, 2015).

A busca de fontes de resistência amplia-se ainda para espécies dentro do gênero *Glycine*, em parentes próximos da soja, como as espécies *Glycine soja* e *Glycine tomentella*. A resistência a *P. pachyrhizi* foi identificada em acessos de *G. argyrea*, *G. canescens*, *G. clandestina*, *G. latifolia*, *G. microphylla* e *G. tomentella*, mas não em acessos de *G. arenaria*, *G. cyrtoloba*, *G. curvata* e *G. falciforme* (Hartman & Wang, 1992). A resistência à ferrugem-asiática derivada de *G. tomentella* em linhas híbridas anfidiplóides foi identificada e a sua transferência para a soja cultivada *G. max* pode ser alternativa para o desenvolvimento de resistência à ferrugem (Patzoldt *et al.*, 2007).

6. FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO: ESTRATÉGIAS BIOTECNOLÓGICAS APLICADAS À RESISTÊNCIA À FERRUGEM DA SOJA

6.1 RESISTÊNCIA NÃO HOSPEDEIRA

A resistência não hospedeira pode ser definida como imunidade apresentada por todos os acessos de uma determinada espécie vegetal a todas as variantes genéticas do patógeno e envolve a presença de barreiras pré-formadas, tais como reforço da parede celular, produção de compostos antimicrobianos, metabólitos secundários e elicitores basais da resposta de defesa (Lipka *et al.*, 2005). Diferentemente da resistência mediada por genes R, específicos para uma raça do patógeno que expressa o gene *Avr* correspondente, a resistência não hos-

pedreira pode prover um tipo de resistência ampla e durável, garantida pelo reconhecimento de elicitores múltiplos e gerais ou pela presença de vários genes envolvidos na resposta de resistência que são ativados simultaneamente (Mysore & Ryu, 2004). O entendimento das bases moleculares desse tipo de resistência e seu emprego em associação com genes R do hospedeiro podem fornecer estratégia poderosa para o desenvolvimento de resistência durável à ferrugem, como alternativa ao melhoramento tradicional e ao uso de fungicidas.

A resistência não hospedeira a *P. pachyrhizi* é mais bem descrita nas espécies *Medicago truncatula* e *Arabidopsis*. Ambas não exibem lesões macroscópicas quando infectadas com o fungo, sendo rara a colonização das células do mesófilo. Em *Arabidopsis*, tal resposta envolve a presença de barreiras pré e pós-invasão, tais como a produção de espécies reativas de oxigênio, morte celular em células da epiderme e ativação de rotas de defesa mediadas tanto por ácido jasmônico como ácido salicílico. Embora a colonização das células do mesófilo tenha sido observada durante a infecção de *P. pachyrhizi* no triplo mutante *pen1*, *pen2* e *pen3* de *Arabidopsis*, mutantes relacionados à capacidade de penetração, o fungo foi incapaz de completar seu ciclo infeccioso, indicando que componentes da resistência pós-invasão também estariam envolvidos (Loehrer *et al.*, 2008). A resistência pós-invasão foi comprometida no triplo mutante de *Arabidopsis pen2pad4sag101*, em que o fungo frequentemente avançou no processo infeccioso até a formação do haustório, sem apresentar, no entanto, extensiva colonização das células do mesófilo e esporulação (Langenbach *et al.*, 2013).

Em *Medicago truncatula*, a resistência não hospedeira a *P. pachyrhizi* foi relacionada à composição da cutícula na superfície inferior das folhas. A seleção de plantas mutantes, com resposta de resistência ao fungo alterada, levou à identificação de um mutante identificado como *inhibitor of rust germ tube differentiation*, (*irg1*), em que o fungo apresentou incapacidade de desenvolver estruturas relacionadas à pré-infecção. Tal fato foi relacionado à perda de cristais de cera na superfície cuticular, com consequente redução na hidrofobicidade, levando à inibição do desenvolvimento do fungo. A mutação foi mapeada no gene *PALM1*, que codifica um fator de transcrição do tipo “dedo de zinco” e controla a expressão de genes envolvidos na biossíntese e transporte de ácidos graxos de cadeia longa (Uppalapati *et al.*, 2012).

A transferência de genes envolvidos na resposta não hospedeira

entre espécies, em especial aqueles envolvidos na resposta pós-invasão em *Arabidopsis* para soja, vem mostrando o potencial da estratégia de conferir resistência à cultura em ensaios em casa de vegetação. Linhas de soja geneticamente modificadas, superexpressando de forma independente três genes de *Arabidopsis*, apresentaram resistência à ferrugem, com uma redução de mais de 50% na severidade e no acúmulo de mRNA do fungo (Langenbach *et al.*, 2015).

6.2 RNA INTERFERÊNCIA - SILENCIAMENTO DE GENES DO PATÓGENO

A tecnologia conhecida como RNA interferência (RNAi) baseia-se no silenciamento gênico em nível do RNA mensageiro (mRNA), mecanismo celular também conhecido como silenciamento gênico pós-transcricional (PTGS - *Post transcriptional gene silencing*). O PTGS constitui um processo celular que leva à degradação específica de mRNAs ou ao bloqueio da tradução, impedindo que a informação genética seja expressa. O processo é desencadeado pela presença, no citoplasma celular, de moléculas de RNA fita dupla, conhecidas como dsRNA (*double stranded RNA*), pela transcrição de microRNAs endógenos, ou mesmo pelo desbalanço nos níveis de um determinado mRNA (Barbosa *et al.*, 2004). Uma vez presente no citoplasma, essas moléculas de RNA dupla fita são reconhecidas por proteínas DICER, que atuam como helicases e nucleases, de modo que são clivadas em pequenos fragmentos contendo entre 21-25 nucleotídeos, chamados de siRNAs (*small interfering RNA*). O siRNAs tem suas fitas separadas, e uma delas é incorporada a um complexo proteico chamado RISC (*RNA Induced Silencing Complex*), que usará a sequência contida no siRNA como guia, degradando ou bloqueando a tradução do mRNA presente no citoplasma que possua similaridade de sequência com o siRNA, ou seja, que tenha a sequência complementar à do siRNA (Barbosa *et al.*, 2004).

Este processo molecular foi descrito apenas em eucariotos, sendo caracterizado em várias espécies de nematoides, insetos, plantas, animais e fungos. Nos fungos, a maquinaria de PTGS já foi descrita em várias espécies dos filos Ascomycota e Basidiomycota, tais como as espécies *Neurospora crassa*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Cryptococcus neoformans*, dentre outras (Nunes *et al.*, 2011). Especificamente para Basidiomicetos, a presença desse mecanismo foi identificada em duas espécies, *Malassezia globosa* e *Ustilago maydis* (Nunes *et al.*, 2011).

A tecnologia vem sendo atualmente explorada visando ao silen-

ciamento de genes do patógeno essenciais a sua sobrevivência, bem como aqueles envolvidos na patogenicidade ou efetores. Construções gênicas que apresentem similaridade com tais alvos do patógeno podem ser expressas em plantas geneticamente modificadas, levando à ativação da maquinaria de PTGS, tanto na planta quanto no próprio patógeno, culminando com a produção de siRNAs complementares a tais genes e, conseqüentemente, o silenciamento destes. A tecnologia também é conhecida como silenciamento gênico mediado pelo hospedeiro (HIGS - *Host induced gene silenced*), e o comprometimento na capacidade infectiva e/ou na patogenicidade correlacionada à redução dos níveis dos genes-alvo pode contribuir para o desenvolvimento da resistência das plantas.

A eficácia da tecnologia foi demonstrada na interação entre trigo e cevada com o patógeno *Blumeria graminis*. Ambas as plantas foram alteradas visando à produção de siRNA similares ao fator de avirulência Avr10 do patógeno, levando à redução dos níveis da doença (Nowara *et al.*, 2010). O silenciamento transiente das proteínas cinase MAPK, ciclofilina (PtCYC1) e calcinerina B (PtCNB) nas ferrugens da folha do trigo (*Puccinia triticina*) também foi capaz de suprimir parcialmente o crescimento de *P. triticina*, *P. graminis* e *P. striiformes* (Panwar *et al.*, 2013). Uma estratégia similar também foi desenvolvida com objetivo de produzir plantas de *Arabidopsis* e cevada transgênicas estáveis e/ou com expressão transiente, produzindo siRNAs capazes de silenciar o gene que codifica a proteína citocromo desmetilase P450 (CYP51), alvo do fungicida tebuconazol, em diferentes espécies de fungos. Tais plantas apresentaram níveis elevados de resistência ao patógeno, bem como inibição de crescimento fúngico em meio de cultura (patente: WO2015/004174). A tecnologia de RNAi também foi explorada para obtenção de plantas transgênicas de soja que produzissem siRNAs contra o gene STMI de *P. pachyrhizi* (patente:US 2012/0246758), que codifica um esteroil metiltransferase, uma enzima-chave na biossíntese do ergosterol, um componente das membranas celulares dos fungos. Algumas linhas transgênicas apresentaram redução em mais de 50% na quantidade de folhas infectadas.

Recentemente, grande número de genes candidatos a proteínas efetoras em ferrugens vem sendo descrito, bem como genes envolvidos na penetração, na absorção de nutrientes e na biotrofia. Além disso, com a disponibilidade da sequência do genoma e/ou transcriptoma de diversas espécies de ferrugens (Duplessis *et al.*, 2011; Nemri

et al., 2014), a predição de novos candidatos por meio de análises de genômica estrutural e comparativa vem aumentando significativamente (Cantu *et al.*, 2013; Hacquard *et al.*, 2011; Saunders *et al.*, 2012; Link *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2016). Tais genes constituem ativos biotecnológicos importantes, que podem ser explorados como alvos para o desenvolvimento de novas estratégias com intuito de empregar a tecnologia de RNAi.

CONCLUSÕES

A ferrugem-asiática é a doença mais desafiadora da cultura da soja no Brasil. A maioria das regiões produtoras é favorável ao desenvolvimento de epidemias, e o fungo é capaz de sobreviver o ano todo se houver hospedeiro disponível. A adaptação de *P. pachyrhizi* aos fungicidas, a ausência de novos modos de ação em teste e a capacidade do fungo em quebrar genes R de resistência mostram que nenhuma solução isolada será capaz de manter a sustentabilidade da cultura. Para evitar perdas de produtividade, todas as estratégias de manejo devem ser associadas, assim como investimentos em pesquisa de estratégias biotecnológicas que possam auxiliar no controle da doença.

Referências

AGROFIT. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 19 mar. 2016.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças de soja. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de Fito patologia: doenças das plantas cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Ceres, 2005. p.569-588.

ALVES, S. A. M.; FURTADO, G. Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa MG. Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2006. p. 37-59.

AVENOT, H. F.; MICHAILIDES, T. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. **Crop Protection**, v.29, p.643-651, 2010.

BARBOSA, A. S.; LIN, C. J. Silenciamento de genes com RNA interferência: um novo instrumento para investigação da fisiologia e fisiopatologia do córtex adrenal. **Arq Bras Endocrinol Metab**, v.48, p. 612-619, 2004.

BONDE, M. R.; BROWN, M. F. Morphological comparison of isolates of *Phakopsora pachyrhizi* from different areas of the world. **Canadian Journal of Microbiology**, v.26, p.1443-1449, 1980.

BROMFIELD, K. R. **Soybean Rust**. Monography 11. St. Paul, MN: APS Press, 1984. 65 p.

BROMFIELD, K. R.; HARTWIG, E. E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, v. 20, 254-255, 1980.

CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A.; HARADA, A.; HIROMOTO, D. M. Two major recessive soybean genes conferring soybean rust resistance. **Crop Science**, v.48, p.1350-1354, 2008.

CANTU, D.; SEGOVIA, V.; MACLEAN, D.; BAYLES, R.; CHEN, X.; KAMOUN, S.; DUBCOVSKY, J.; SAUNDERS, D. G. O.; UAUY, C. Genome analyses of the wheat yellow (stripe) rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* reveal polymorphic and haustorial expressed secreted proteins as candidate effectors. **BMC Genomics**, v.14, p.18-24, 2013.

CARVALHO JR., A. A.; FIGUEREDO, M. B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v.26, p.197-200, 2000.

CARVALHO, M. C. da C. G.; NASCIMENTO, L. C.; DARBEN, L. M.; POLIZEL-PODANOSQUI, A. M.; LOPES-CAITAR, V.; QI, M.; ROCHA, C. S.; CARAZZOLLE, M. F.; KUWAHARA, M. K.; PEREIRA, G. A. G.; ABDELNOOR, R. V.; WHITHAM, S. A.; MARCELINO-GUIMARAES, F. C. Prediction of the in planta *P. pachyrhizi* secretome and potential effector families. **Molecular Plant Pathology**. DOI: 10.1111/mpp.12405. 2016.

CHAKRABORTY, N.; CURLEY, J.; FREDERICK, R. D.; HYTEN, D. L.; NELSON, R. L.; HARTMAN, G. L.; DIERS, B. W. Mapping and confirmation of a new allele at *Rpp1* from soybean PI 594538A conferring RB lesion-type resistance to soybean rust. **Crop Science**, v.49, p.783-790, 2009.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. Disponível em: <www.consorcioantiferrugem.net>. Acessado em: 19 mar. 2016.

DEL PONTE E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, p.797-803, 2006.

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia brasileira**, v.4, p.337-339, 1979.

DODDS, P. N.; RATHJEN, J. P. Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. **Nature Reviews Genetics**, v.11, p.539-548, 2010.

DUPLESSIS, S.; CUOMO, C. A.; LIN, Y.-C.; AERTS, A.; TISSERANT, E.; VENEULT-FOURREY, C.; JOLY, D. L.; HACQUARD, S.; AMSELEM, J.; CANTAREL, B. L.; CHIU, R.; COUTINHO, P. M.; FEAU, N.; FIELD, M.; FREY, P.; GELHAYE, E.; GOLDBERG, J.; GRABHERR, M. G.; KODIRA, C. D.; KOHLER, A.; KÜES, U.; LINDQUIST, E. A.; LUCAS, S. M.; MAGO, R.; MAUCELI, E.; MORIN, E.; MURAT, C.; PANGILINAN, J. L.; PARK, R.; PEARSON, M.; QUESNEVILLE, H.; ROUHIER, N.; SAKTHIKUMAR, S.; SALAMOV, A. A.; SCHMUTZ, J.;

SELLES, B.; SHAPIRO, H.; TANGUAY, P.; TUSKAN, G. A.; HENRISSAT, B.; VAN DE PEER, Y.; ROUZÉ, P.; ELLIS, J. G.; DODDS, P. N.; SCHEIN, J. E.; ZHONG, S.; HAMELIN, R. C.; GRIGORIEV, I. V.; SZABO, L. J.; MARTIN, F. Obligat biotrophy features unraveled by the genomic analysis of rust fungi. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v.108, p.1–23, 2011.

FRAC. Available at: <<http://www.frac.info/>>. Acessado em: 19 Mar. 2016.

FREDERICK, R. D.; SNYDER, C. L.; PETERSON, G. L.; BONDE, M. R. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. **Phytopathology**, v.92, p.217–227, 2002.

GARCIA, A.; CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. D.; HARADA, A.; HIROMOTO, D. M.; VIEIRA, L. G. E. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles. **Theoretical and Applied Genetics**, v.117, p.545–553, 2008.

GISI, U.; CHIN, K. M.; KNAPOVA, G.; KÜNG FÄRBER, R.; MOHR, U.; PARISIS.; SIEROTZKI, H.; STEINFELD, U. Recent developments in elucidating models of resistance to phenylamide, DMI and strobilurin fungicides. **Crop Protection**, v.19, p.863–872, 2000.

GODOY, C. V. Risk and management of fungicide resistance in the Asian soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi*. In: THIND, T. S. (Ed.) **Fungicide Resistance in Crop Protection: Risk and management**. London, UK: CAB, 2012. p.87–95.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; HENNING, A. A.; FEKSA, H. R.; NUNES JR., J.; COSTAMILAN, L. M.; CARNEIRO, L. C.; SILVA L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; ITO, M. F.; BARROS, R.; BALARDIN, R. S.; SILVA, S. A.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; BARROS, V. L. P.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2011/12: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina, 2012. 8 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 93).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JR., E. R.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JR., J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; ITO, M. F.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; BARROS, V. L. N. P.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2013/14: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina, 2014. 7p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 103).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; ROESE, A. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JR., J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; ITO, M. F.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; BARROS, V. L. N. P.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina, 2013. 7p. (Embrapa Soja: Circular Técnica 99).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JR., E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JR., J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MONTECELLI, T. D. N.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina, 2015a. 6p. (Embrapa Soja: Circular Técnica 111).

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JR., E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; NUNES JR., J.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; MADALOSSO, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas multissítios e fertilizantes no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** Londrina, 2015b. 7p. (Embrapa Soja: Circular Técnica 113).

GRASSO, V.; PALERMO, S.; SIEROTZKI, H.; GARIBALDI, A.; GISI, U. Cytochrome b gene structure and consequences for resistance to Qo inhibitor fungicides in plant pathogens. **Pest Management Science**, v.62, p.465–472, 2006.

HACQUARD, S.; PETRE, B.; FREY, P.; HECKER, A.; ROUHIER, N.; DUPLESSIS, S. The poplar-poplar rust interaction: insights from genomics and transcriptomics. **Journal of Pathogens**, Article ID 716041, p.1–11, 2011.

HARRIS, D. K.; KENDRICK, M. D.; KING, Z. R.; PEDLEY, K. P.; WALKER, D. R.; CREGAN, P. B.; BUCK, J. W.; PHILLIPS, D. V.; LI, Z.; BOERMA, H. R. Identification of unique genetic sources of soybean rust resistance from the USDA soybean germplasm collection. **Crop Science**, v. 55, p. 1-16, 2015.

HARTMAN, G. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v. 89, p. 664-666, 2005.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C. Sources of resistance to soybean rust in perennial *Glycine* species. **Plant Disease**, v.76, p.396–399, 1992.

HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. J.; RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (ED.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5 ed. St. Paul, Minnesota: APS Press, 2015, p. 56-58.

HENNINGS, V. P. A few new Japanese Uredinaceae. *Hedwigia*, v.42, p.107-108, 1903.

HYTEN, D. L.; HARTMAN, G. L.; NELSON, R. L.; FREDERICK, R. D.; CONCIBIDO, V. C.; NARVEL, J. M.; CREGAN, P. B. Map location of the *Rpp1* locus that confers resistance to soybean rust in soybean. **Crop Science**, v.47, p.837-840, 2007.

HYTEN, D. L.; SMITH, J. R.; FREDERICK, R. D.; TUKER, M. L.; SONG, Q.; CREGAN, P. B. Bulk segregate analysis using the Golden Gate assay to locate the *Rpp3* locus that confers resistance to *Phakopsora pachyrhizi* (soybean rust) in soybean. **Crop Science**, v.49, p.265–271, 2009.

ISARD, S. A.; DUFAULT, N. S.; MILES, M. R.; HARTMAN, G. L.; RUSSO, J. M.; WOLF E. D.; MOREL, W. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Plant Disease**, v.90, p.941–945, 2006.

KENDRICK, M. D.; HARRIS, D. K.; HA, B. K.; HYTEN, D. L.; CREGAN, P. B.; FREDERICK, R. D.; BOERMA, H. R.; PEDLEY, K. F. Identification of a second Asian soybean rust resistance gene in Hyuuga soybean. **Phytopathology**, v.101, p.535–543, 2011.

KILLGORE, E.; HEU, R. First report of soybean rust in Hawaii. **Plant Disease**, v.78, p.1216, 1994.

KIM, K.; UNFRIED, J. R.; HYTEN, D. L.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L.; NELSON, R. N.; SONG, Q.; DIERS, B. W. Molecular mapping of soybean rust resistance in soybean accession PI 561356 and SNP haplotype analysis of the *Rpp1* region in diverse germplasm. **Theoretical Applied Genetics**, v.125, p.1339–1352, 2012.

KLOSOWSKI, A. C. Sensibilidade de isolados de *Phakopsora pachyrhizi* aos fungicidas tebuconazol (inibidor de desmetilação) e azoxistrobina (inibidor da quinona externa). 2015. 97p. **Tese** (Doutorado em fitopatologia) - Universidade Federal do Paraná.

KLOSOWSKI, A. C.; MAY DE MIO, L. L.; MIESSNER, S.; RODRIGUES, R.; STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science**, v.72, p.1211–1215, 2016.

KOCHMAN, J. K. Effect of Temperature on Development of Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, p.273–277, 1979.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B.; HYRE, R. A. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight (*Phytophthora infestans*). **Plant Disease Reporter**, v.59, p.95–98, 1975.

LANGENBACH, C., CAMPE, R., SCHAFFRATH, U., GOELLNER, K., CONRATH, U. UDP862 glucosyltransferase UGT84A2/BRT1 is required for Arabidopsis nonhost resistance to the Asian soybean rust pathogen *Phakopsora pachyrhizi*. **New Phytologist**, v.198, p.536–545, 2013.

LANGENBACH, C.; SCHULTHEISS, H.; ROSENDAHL, M.; TRESCH, N.; CONRATH, U.; GOELLNER, K. Interspecies gene transfer provides soybean resistance to a fungal pathogen. **Plant Biotechnology Journal**, v. p.1–10, 2015.

LEMOES, N. G.; DE LUCCA E BRACCINI, A.; ABDELNOOR, R. V.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; SUENAGA, K.; YAMANAKA, N. Characterization of genes *Rpp2*, *Rpp4*, and *Rpp5* for resistance to soybean rust. **Euphytica**, v.182, p. 53–64, 2011.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, v.89, p.669-674, 2005.

LI, S.; SMITH, J. R.; RAY, J. D.; FREDERICK, R. D. Identification of a new soybean rust resistance gene in PI 567102B. **Theoretical and Applied Genetics**, v.125, p.133-142, 2012.

LI, X.; ESKER, P. D.; PAN, Z.; DIAS, A. P.; XUE, L.; YANG, X. B. The uniqueness of soybean rust pathosystem. An improved understanding of the risk in different regions of the world. **Plant Disease**, v.94, p.796-806, 2010.

LINK, T. I.; LANG, P.; SCHEFFLER, B. E.; DUKE, M. V.; GRAHAM, M. A.; COOPER, B.; TUCKER, M. L.; VAN DE MORTEL, M.; VOEGELE, R. T.; MENDGEN, K.; BAUM, T. J.; WHITHAM, S. A. The haustorial transcriptomes of *Uromyces appendiculatus* and *Phakopsora pachyrhizi* and their candidate effector families. **Molecular Plant Pathology**, v.15, p.379-393, 2014.

LIPKA, V.; DITTGEN, J.; BEDNAREK, P.; BHAT, R.; WIEMER, M.; STEIN, M.; LANDTAG, J.; BRANDT, W.; ROSAHL, S.; SCHEEL, D. Pre- and postinvasion defenses both contribute to nonhost resistance in Arabidopsis. **Science**, v.310, p.1180-1183, 2005.

LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; GOELLNER, K.; CONRATH, U.; SCHAFFRATH, U. Characterization of Nonhost Resistance of Arabidopsis to the Asian Soybean Rust. **Molecular Plant Microbe Interaction**, v.11, p.1421-1430, 2008.

MAPHOSA, M.; TALWANA, H.; TUKAMUHABWA, P. Enhancing soybean rust resistance through *Rpp2*, *Rpp3* and *Rpp4* pair wise gene pyramiding. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, p.4271-4277, 2012.

MASSOLA JR., N. S.; KRUGNER, T. L. Fungos fitopatogênicos. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 4 ed. São Paulo: Ceres, 2011. p.149-206.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLER, D. L.; ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122, 1989.

MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Evaluation of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant Health Progress**. 2006. Disponível em: <<https://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/research/2006/germplasm/>> Acessado em: 19 mar. 2016.

MILES, M. R.; LEVY, C.; MOREL, W.; MUELLER, T.; STEINLAGE, T.; RIJ, N.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. **Plant Disease**, v.91, p.1450-1458, 2007.

MILES, M. R.; MOREL, W.; RAY, J. D.; SMITH, J. R.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Adult plant evaluation of soybean accessions for resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in the field and greenhouse in Paraguay. **Plant Disease**, v.92, p.96-105, 2008.

MONTEROS, M.; MISSAOUI, A.; PHILLIPS, D.; WALKER, D.; BOERMA, H. Mapping and confirmation of the 'Hyyuga' red-brown lesion resistance gene for Asian soybean rust. **Crop Science**, v.47, p.829-836, 2007.

MYSORE, K. S.; RYU, C. Nonhost resistance: how much do we know? **Trends in Plant Science**, v.2, p.97-104, 2004.

NEMRI, A.; SAUNDERS, D. G. O.; ANDERSON, C.; UPADHYAYA, N. M.; WIN, J.; LA-WRENCE, G. J.; JONES, D. A.; KAMOUN, S.; ELLIS, J. G.; DODDS, P. N. The genome sequence and effector complement of the flax rust pathogen *Melampsora lini*. **Front. Plant Science**, v.98, p.1-14, 2014.

NOWARA, D.; GAY, A.; LACOMME, C.; SHAW, J.; RIDOUT, C.; DOUCHKOV, D.; HENSEL, G.; KUMLEHN, J.; SCHWEIZER, P. HIGS: Host-induced gene silencing in the obligate biotrophic fungal pathogen *Blumeria graminis*. **Plant Cell**, v.22, p. 3130-3141, 2010.

NUNES, C. C.; SAILSBERY, J. K.; DEAN, R. A. Characterization and application of small RNAs and RNA silencing mechanisms in fungi. **Fungal Biology Reviews**, Raleigh, Carolina do Norte, v. 25, p. 172-180, 2011.

ONO, Y.; BURITICA, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotium* and their species on Leguminosae. **Mycological Research**, v.96, p.825-850, 1992.

PANWAR, V.; MCCALLUM, B.; BAKKEREN, G. Host-induced gene silencing of wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* pathogenicity genes mediated by the Barley stripe mosaic virus. **Plant Molecular Biology**, v.81, p.595-608, 2013.

PATIL, P. V.; ANAHOSUR, K. H. Control of soybean rust by fungicides. **Indian Phytopathology**, v.51, p.265-268, 1998.

PATIL, V. S.; WUIKE, R. V.; CHIRAME, B. B.; THAKARE, C. S. Viability and survival of uredospores of *Phakopsora pachyrhizi* Syd in plant debris under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, p.16-19, 1998.

PATZOLDT, M. E.; TYAGI, R. K.; HYMOWITZ, T.; MILES, M. R.; HARTMAN, G.L.; FREDERICK, R. D. Soybean Rust Resistance Derived from *Glycine tomentella* in Amphiploid Hybrid Lines. **Crop Science**, v.47, p.168-161, 2007.

PIEROZZI P. H. B.; RIBEIRO, A. S.; MOREIRA, J. U. V.; LAPERUTA, L. D. C.; RACHID, B. F.; LIMA, W. F.; ARIAS, C. A. A.; OLIVEIRA, M. F.; TOLEDO, J. F. F. New soybean (*Glycine max* Fabales, Fabaceae) sources of qualitative resistance to Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinales, Phakopsoraceae). **Genetics and Molecular Biology**, v.31, p.505-511, 2008.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, v.88 p.523-529, 2004.

RAY, J. D.; MOREL, W.; SMITH, J. R.; FREDERICK, R. D.; MILLES, M. R. Genetics and mapping of adult plant resistance in soybean PI 587886 and PI 587880A. **Theoretical and Applied Genetics**, v.119, p.271-280, 2009.

ROSSI, R. L. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust in the province of Misiones, Argentina. **Plant Disease**, v.87, p.102, 2003.

RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean Rust. **The Plant Health Instructor**, 2008. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01.

SAUNDERS, D. G. O.; WIN, J.; CANO, L. M.; SZABO, L. J.; KAMOUN, S.; RAFFAELE, S. Using hierarchical clustering of secreted protein families to classify and rank candidate effectors of rust fungi. **PLOS ONE**, v.7, p.e29847, 2012.

SCHERM, H.; CHRISTIANO, R. S. C.; ESKER, P. D.; DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v.28, p.774–782, 2009.

SCHMITZ, H. K.; MEDEIROS, A. C.; CRAIG, I. R.; STAMMLER, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-outside-inhibitors and demethylation-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science**, v.7, p.378-88, 2014.

SCHNEIDER, R. W.; HOLIER, C. A.; WHITAM, H. K.; PALM, M. E.; McKEMY, J. M.; HERNANDEZ, J. R.; LEVY, L.; DEVRIES-PATERSON, R. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the Continental United States. **Plant Disease**, v.89, p.774. 2005.

SEIXAS, C. D. S.; GODOY, C. V. Vazio Sanitário: panorama nacional e medidas de monitoramento. **Anais do Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja**, Londrina: Embrapa Soja (Documentos 281). 2007, p.23-33.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A.; BERGSTROM, G.; BRADLEY, C. A.; BOND, J.; BROWN-RYTLEWSKI, D.; CHILVERS, M.; DAMICONE, J.; DEWOLF, E.; DORRANCE, A.; DUFAULT, N.; ESKER, P.; FASKE, T. R.; GIESLER, L.; GOLDBERG, N.; GOLOD, J.; GÓMEZ, I. R. G.; GRAU, C.; GRYBAUSKAS, A.; FRANC, G.; HAMMERSCHMIDT, R.; HARTMAN, G. L.; HENN, R. A.; HERSHMAN, D.; HOLLIER, C.; ISAKEIT, T.; ISARD, S.; JACOBSEN, B.; JARDINE, D.; KEMERAIT, R.; KOENNING, S.; LANGHAM, M.; MALVICK, D.; MARKELL, S.; MAROIS, J. J.; MONFORT, S.; MUELLER, D.; MUELLER, J.; MULROONEY, R.; NEWMAN, M.; OSBORNE, L.; PADGETT, G. B.; RUDEN, B. E.; RUPE, J.; SCHNEIDER, R.; SCHWARTZ, H.; SHANER, G.; SINGH, S.; STROMBERG, E.; SWEETS, L.; TENUTA, A.; VAICIUNAS, S.; YANG, X. B.; YOUNG-KELLY, H.; ZIDEK, J. A coordinated effort to manage Soybean rust in North America: a success story in soybean disease monitoring. **Plant Disease**, v.98, p.864-875, 2014.

SILVA, D. C. G.; YAMANAKA, N.; BROGIN, R. L.; ARIAS, C. A. A.; NEPOMUCENO, A. L.; DI MAURO, A. O.; PEREIRA, S. S.; NOGUEIRA, L. M.; PASSIANOTTO, A. L. L.; ABDELNOOR, R. V. Molecular mapping of two loci that confer resistance to Asian rust in soybean. **Theoretical Applied Genetics**, v.117, p.57–63, 2008.

SIQUERI, F. V. Ocorrência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) no Estado de Mato Grosso – safra 2004/05. In: JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; HAMAWAKI, O. T. (orgs.). **WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE A FERRUGEM ASIÁTICA**, 1, Uberlândia, MG. **Coletânea**. Uberlândia: EDUFU, 2005, p.93-100.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. **Soybean rust workshop**, 9-11 August 1995. College of Agricultural, Consumer, and Environmental Sciences, National Soybean Research Laboratory Publication Number 1. Urbana, IL/USA. 1996.

SLAMINKO, T. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; BONDE M. R., HARTMAN G. L. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. **Plant Disease**, v.2, p.767–771, 2008.

UPPALAPATI, S. R.; ISHIGA, Y.; DORAISWAMY, V.; BEDAIR, M.; MITTAL, S.; CHEN, J.; NAKASHIMA, J.; TANG, Y.; TADEGE, M.; RATET, P.; CHEN, R.; SCHULTHEISS, H.; MYSORE, K. S. Loss of abaxial leaf epicuticular wax in *Medicago truncatula* irg1/palm1 mutants results in reduced spore differentiation of Anthracnose and nonhost Rust pathogens. **The Plant Cell**, v.24 p.353–370, 2012.

VAKILI, N. G.; BROMFIELD, K. R. Phakopsora rust on soybean and other legumes in Puerto Rico. **Plant Disease Reporter**, v.60, p.996–999, 1976.

VERREET, J. A.; KLINK, H.; HOFFMANN, G. M. Regional monitoring for disease prediction and optimization of plant protection measures: The IPM wheat model. **Plant Disease**, v.84 p.816–826, 2000.

XAVIER, S. A.; KOGA, L. K.; BARROS, D. C. M.; CANTERI, M. G.; LOPES, I. O. N.; GODOY, C. V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v.41, p.191–196, 2015.

YAMANAKA, N., LEMOS, N. G., UNO, M., AKAMATSU, H., YAMAOKA, Y., ABDELNOOR, R. V. Resistance to Asian soybean rust in soybean lines with the pyramided three *Rpp* genes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, p.75–82, 2013.

YAMANAKA, N., MORISHITA, M., MORI, T., LEMOS, N. G., HOSSAIN, M. M., AKAMATSU, H. Multiple *Rpp*-gene pyramiding confers resistance to Asian soybean rust isolates that are 1098 virulent on each of the pyramided genes. **Tropical Plant Pathology**, v.40, p.283–290, 2015.

YORINORI J. T., LAZZAROTTO, J. J. **Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul**. Documentos 236, Londrina: Embrapa Soja, 2004, 27p.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; GODOY, C. V.; NUNES JR., J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, p. 675–677, 2005.

YU, N.; KIM, M.; KING, Z. R.; HARRIS, D. K.; BUCK, J. W.; LI, Z.; DIERS, B.W. Fine mapping of the Asian soybean rust resistance gene *Rpp2* from soybean PI 230970. **Theoretical and Applied Genetics**, v.128, p.387–396, 2015.

Capítulo 5

RISCOS E OPORTUNIDADES: LAGARTAS HELIOTHINAE

Rafael Major Pitta

rafael.pitta@embrapa.br

Embrapa Agrossilvipastoril

Jacob Crosariol Netto

jacobnetto@imamt.com.br

IMAMt

RESUMO. *No Brasil, três espécies da subfamília Heliiothinae, Helicoverpa zea (Boddie), Heliothis virescens (Fabricius) e, recentemente, Helicoverpa armigera (Hübner), têm elevada importância no cenário agrícola por alimentarem-se de estruturas reprodutivas das plantas, causando prejuízos consideráveis a culturas economicamente importantes, como soja, algodão e milho.*

Os sistemas de plantio adotados atualmente no Cerrado caracterizam-se pela sucessão de cultivos e pela utilização do sistema de plantio direto. Tais sistemas beneficiam o desenvolvimento dessas espécies de lagartas, que possuem hábito polífago (alimentam-se de diversas espécies vegetais), apresentam potencial biótico elevado (capacidade reprodutiva e de sobrevivência) e grande capacidade de dispersão. Esses fatores contribuem para sua rápida proliferação e colonização de novas áreas de cultivo, uma vez que encontram alimento largamente disponível durante todo o ano agrícola.

A fim de minimizar os danos ocasionados por Heliiothinae e entender a dinâmica dessas pragas no agroecossistema do Cerrado brasileiro, serão abordadas neste capítulo oportunidades de pesquisas que visem à determinação de níveis de controle para as principais espécies cultivadas naquele bioma, além de avanços em tecnologias de aplicação, utilização de semioquímicos, métodos de avaliação, manejo da resistência de plantas Bt e inseticidas e controle biológico. Tais estudos são importantes para o controle eficiente de pragas e estão em consonância com os preceitos de produção sustentável exigidos pela comunidade internacional.

1. IMPORTÂNCIA DE HELIOTHINAE PARA O SETOR AGRÍCOLA

A subfamília Heliiothinae (Lepidoptera: Noctuidae) abrange 381 espécies descritas, muitas classificadas como pragas agrícolas importantes, como as dos gêneros *Helicoverpa* Hardwick e *Heliiothis* Ochsenheimer, que atacam folhas, flores e frutos de plantas (Pogue, 2013). A maioria das espécies conhecidas de Heliiothinae restringe-se a uma ou a poucas espécies de plantas hospedeiras (Mitter *et al.*, 1993). Mais de 80% dessas lagartas alimentam-se de plantas da família Asteraceae ou de famílias próximas, como Lamiaceae, Scrophulariaceae, Polemoniaceae, Solanaceae, Poaceae e Fabaceae. Entretanto, cerca de 30% das espécies, incluindo a maioria das espécies-praga, são polípagas, alimentando-se de uma ou duas ordens de plantas (Cho *et al.*, 2008). Estima-se que os danos causados por lagartas de Heliiothinae causem prejuízos anuais à agricultura mundial da ordem de bilhões de dólares (Fitt, 1989).

Espécies polípagas como *Helicoverpa zea* (Boddie) e *Heliiothis virescens* (Fabricius) estão basicamente distribuídas no continente americano, mas há registros das duas espécies na França e um registro de *H. zea* na China (Cabi, 2016) (*Figura 1a*). Segundo Kogan *et al.* (1989), citados por Cunningham & Zalucki (2014), mais de 230 espécies de plantas hospedeiras, pertencentes a 36 famílias, são alvos dessas duas espécies de lepidópteros, e várias são hospedeiras de ambas. A *Figura 1b* apresenta as diferentes fases de desenvolvimento de lagarta da subfamília Heliiothinae.

2. HELIOTHINAE NO BRASIL

(A) HISTÓRICO

No Brasil, até 2012, o complexo Heliiothinae era composto apenas por *H. zea*, cujo alvo principal era a cultura de milho e, eventualmente, a do tomate, e *H. virescens*, atuando como praga principalmente nas culturas de algodão e soja. A ocorrência de *Helicoverpa gelotopoeon* (Dyar) no Sul do país em cultivos de soja (Bertels, 1975) também foi descrita, porém sem relatos importantes de danos.

A partir de 2013, quando houve a confirmação da presença de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Czepak *et al.*, 2013; Specht *et al.*, 2013), a preocupação com Heliiothinae aumentou drasticamente no país, por tratar-se de uma das pragas mais importantes da agricultura

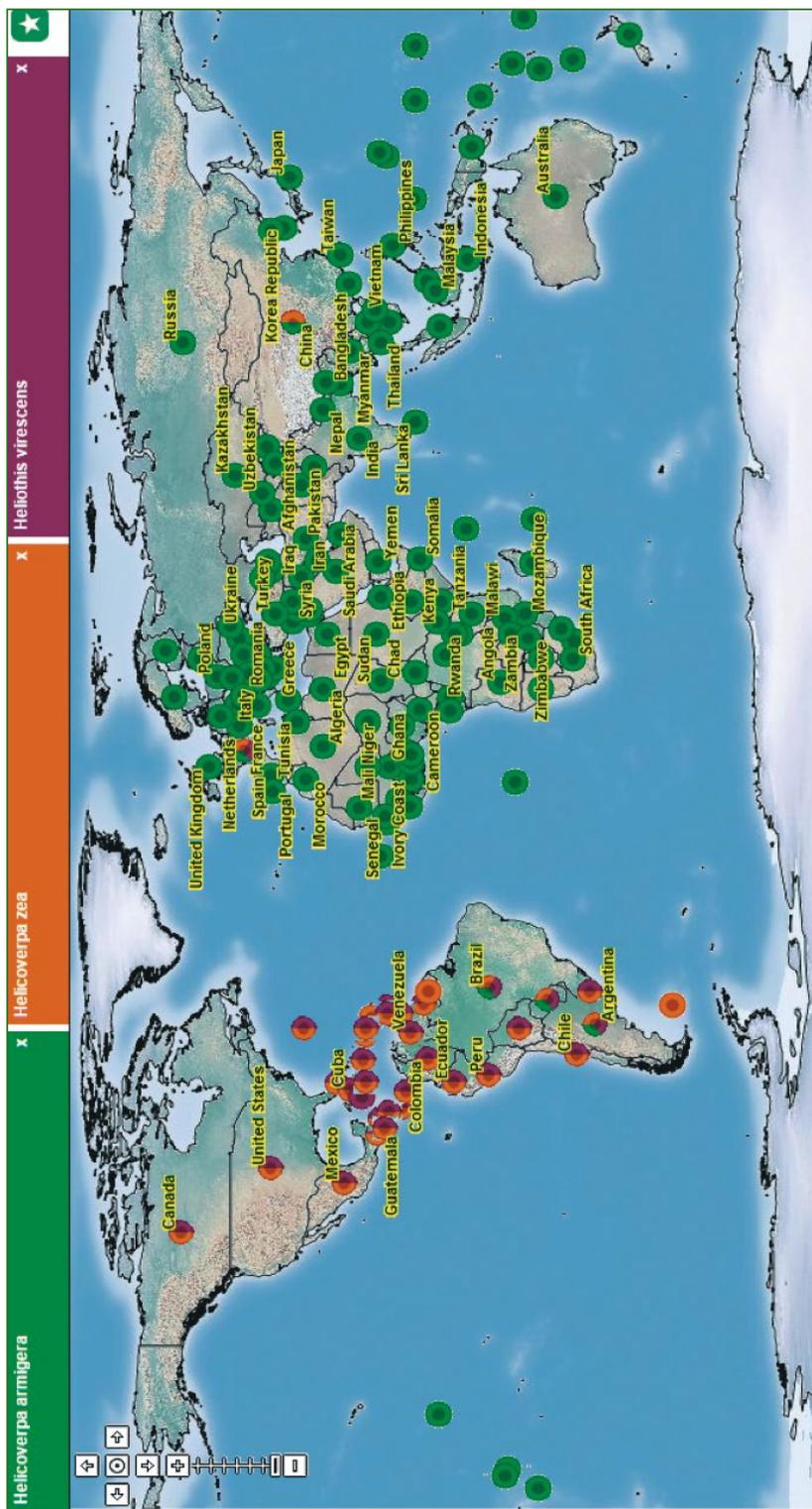
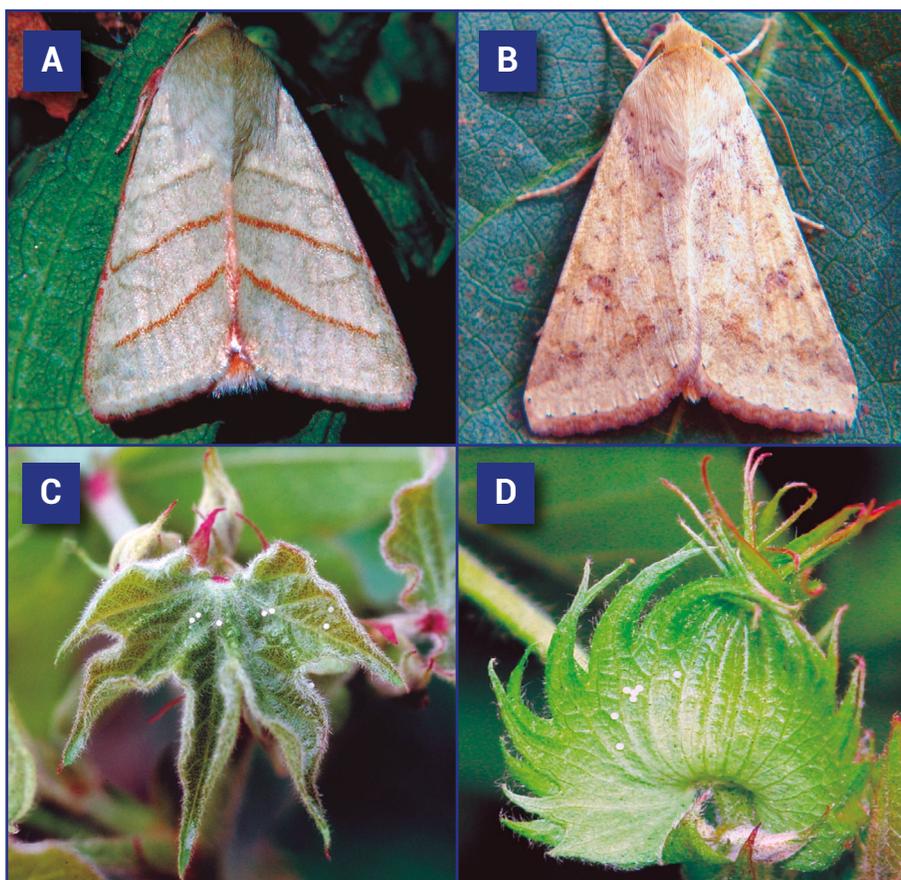


FIGURA 1a. Mapa-múndi com registros oficiais de *H. armigera*, *H. zea* e *H. virescens*, segundo banco de dados da Cabi. Imagem gerada no site <http://www.plantwise.org/knowledgebank/pwmap.aspx?speciesid=20236&loc=global#>.



Fotos A, B, D, E e F: Paulo Edimar Saran. Foto C: Pierre Jean Silvie. Foto H: Pogue (2004).

FIGURA 1b. Diferentes fases de desenvolvimento de lagarta da subfamília Heliothinae.

(A) Adulto de *Heliothis virescens*. A principal característica do adulto é a presença de três listras longitudinais nas asas anteriores.

(B) Adulto de *Helicoverpa* spp. Adultos de coloração parda com machas escuras nas asas anteriores, a diferenciação entre *H. zea* e *H. armigera* só é possível por meio da observação da genitália masculina (Figura H).

(C) Postura de *Heliothis virescens*. Normalmente, os ovos estão dispostos de forma isolada na face adaxial das folhas localizadas no ponteiro das plantas do algodoeiro; ovo de coloração branca com a presença de estrias.

(D) Postura de *Helicoverpa* spp. Normalmente, as fêmeas ovipositam nas brácteas dos botões florais e nas folhas mais velhas do algodoeiro, os ovos são dispostos de forma isolada, apresentando coloração branca.

(E) As lagartas de *H. virescens* passam por seis instares e chegam a 30-40 mm comprimento; a coloração é bem variada, podendo ser verde-claro ou escuro, amarelo-esverdeado a castanho, com manchas pretas e faixas longitudinais claras e escuras ao longo do corpo. A presença de microcerdas sobre as protuberâncias dos 2° e 8° segmentos corporais identifica o gênero *Heliothis*. (*continua*)

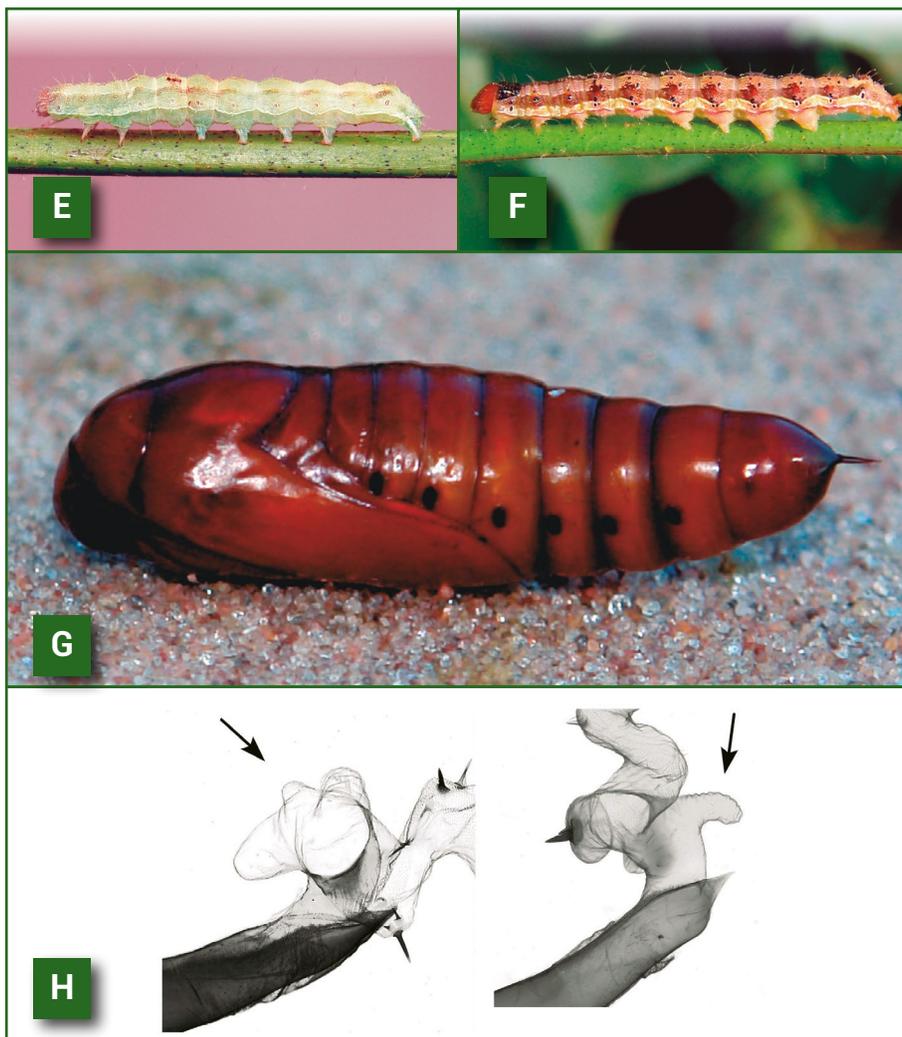


FIGURA 1b. Diferentes fases de desenvolvimento de lagarta da subfamília Heliothinae. (continuação)

(F) As lagartas de *Helicoverpa* spp. possuem cabeça amarelada ou marrom, chegam a medir 45 mm de comprimento e apresentam listras longitudinais escuras e claras, que se alternam ao longo do corpo, sendo as faixas claras laterais as mais evidentes; assim como em *H. virescens*, a coloração é variada e as lagartas apresentam cerdas que saem de protuberâncias lisas nos 2º, 3º e 8º segmentos corporais, no entanto, sem a presença de microcerdas, caracterizando o gênero *Helicoverpa*.

(G) A fase de pupa das lagartas da subfamília Heliothinae ocorre no solo; as pupas têm coloração marrom-escura e cerca de 3 cm a 5 cm de comprimento.

(H) Genitália masculina de *H. zea* (à esquerda) e *H. armigera* (à direita). A diferença dá-se pelo número de lobos na vesica (canal ejaculatório que faz parte do pênis do macho) das duas espécies.

mundial por conta de mobilidade e fecundidade elevadas, diapausa facultativa de suas pupas (Fathipour & Sedaratian, 2013) e hábito alimentar, que é a preferência por partes reprodutivas das culturas, associado a sua habilidade de atacar grande número de hospedeiros (polifagia). Todos esses fatores elevam o status de importância econômica da praga (Cunningham *et al.*, 1999). Outro aspecto preocupante, constatado em estudos em laboratório, demonstrou que *H. armigera* pode acasalar com *H. zea* e gerar híbridos férteis (Laster & Sheng, 1995).

H. armigera está amplamente distribuída em África, Ásia, Europa e Austrália, com registro de mais de 120 plantas hospedeiras (Fitt, 1989). Apesar de sua introdução na América do Sul ser recente, acredita-se que esteja distribuída por todo o continente americano, pois a praga foi registrada na América do Norte oficialmente em 2015, nos Estados Unidos da América (USDA, 2015).

No mundo, estima-se que o prejuízo anual causado por *H. armigera* seja de US\$ 5 bilhões nas diferentes culturas que ataca (Lammers & Macleod, 2007). Somente na região dos trópicos semiáridos da Europa, os prejuízos estimados chegam a US\$ 2 bilhões (Sharma *et al.*, 2008).

No Brasil, apenas na safra 2012/13 no Estado da Bahia, os prejuízos causados por *H. armigera* atingiram R\$ 2 bilhões. Reativamente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) permitiu que os estados de Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Maranhão e Mato Grosso entrassem em estado emergencial fitossanitário, liberando o uso de diversos inseticidas sintéticos e microbianos para o controle da praga. Além disso, foi criado o Grupo de Gerenciamento Situacional da Emergência Fitossanitária para identificar, propor e articular a implantação de ações emergenciais, ágeis e eficazes para contenção da praga (Brasil, 2015).

(B) HELIOTHINAE NO CERRADO

As condições climáticas do Cerrado permitem a intensificação da agricultura, o que acarreta o cultivo de até três safras ao longo do ano. Tal característica torna o Cerrado uma região estratégica para o fornecimento de alimentos no planeta. Entretanto, essa intensificação promove aumentos nos surtos de pragas (Zhao *et al.*, 2015).

No Cerrado, os principais sistemas intensivos de produção com

culturas anuais (*Tabela 1*) favorecem a multiplicação do complexo de espécies de Heliothinae, pois existe um período duradouro de fornecimento de alimento para as pragas. Como consequência, ocorre um maior número de gerações ao longo do ano, ocasionando surtos populacionais.

Para controlar/reduzir os níveis de infestação desses insetos, aumenta-se o uso de inseticidas, que, muitas vezes, são utilizados de maneira indiscriminada, provocando, de acordo com Koppe (2005), a eliminação de insetos polinizadores e inimigos naturais de pragas, a alteração da dinâmica populacional de pragas, com o surgimento de pragas secundárias e a ressurgência de pragas. Além disso, o maior período da praga no campo ocasiona maior pressão de seleção de indivíduos resistentes exercida pelos inseticidas e/ou plantas *Bt* pelo maior contato com essas estratégias de controle quando em comparação com insetos que têm acesso a plantas hospedeiras cultivadas apenas uma vez ao ano.

H. armigera é um exemplo de espécie com vários relatos de populações resistentes a inseticidas e a plantas transgênicas (plantas *Bt*) na literatura internacional (Akhurst *et al.*, 2003; Carrière *et al.*, 2010; Jouben *et al.*, 2012; Kranthi *et al.*, 2000; Liang *et al.*, 2000; Tabashnik *et al.*, 2009). Portanto, ações para mitigar tais impactos são indispensáveis, pois problemas de resistência de pragas às táticas de controle chegam a alterar o sistema produtivo de uma região, como, por exemplo, o cultivo intensificado e escalonado da cultura do tomate indústria, que migrou da área de Petrolina/PE para a Região Centro-Oeste do Brasil, por conta das dificuldades de controle da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) e da mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Villas Boas *et al.*, 2009).

TABELA 1. Principais sistemas produtivos do Cerrado no Centro-Oeste brasileiro envolvendo espécies hospedeiras* de Heliiothinae.

Sistema produtivo	Estado/Região
Soja (1ª safra) - milho (2ª safra)	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, MATOPIBA
Soja (1ª safra) - sorgo (2ª safra)	Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul
Soja (1ª safra) - milheto (2ª safra)	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás
Soja (1ª safra) - milho/algodão (2ª safra) - feijão (3ª safra)	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás
Soja (1ª safra) - algodão (2ª safra)	Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás
Soja (1ª safra) - feijão ou feijão-caupi (2ª safra)	Mato Grosso
Soja (1ª safra) - girassol (2ª safra)	Mato Grosso
Soja (1ª safra) - tomate (2ª safra)	Goiás, Distrito Federal
* Dentre as espécies de Heliiothinae, soja hospeda principalmente <i>H. virescens</i> e <i>H. armigera</i> e, com menor intensidade, <i>H. zea</i> ; milho, principalmente <i>H. zea</i> e <i>H. armigera</i> e, raramente, <i>H. virescens</i> ; sorgo, quase que exclusivamente <i>H. zea</i> e <i>H. armigera</i> ; milheto, <i>H. zea</i> , <i>H. armigera</i> e, raramente, <i>H. virescens</i> ; algodão, principalmente <i>H. virescens</i> , <i>H. armigera</i> e, em menor intensidade, <i>H. zea</i> ; feijão, <i>H. armigera</i> , <i>H. zea</i> e <i>H. virescens</i> ; caupi, <i>H. armigera</i> e <i>H. virescens</i> ; girassol, <i>H. virescens</i> e <i>H. armigera</i> , no entanto as infestações em geral são baixas; tomate hospeda principalmente <i>H. armigera</i> , <i>H. zea</i> e, em menor intensidade, <i>H. virescens</i> .	

Os problemas citados acima podem ser mitigados ou evitados quando se implanta o Manejo Integrado de Pragas (MIP), sistema que auxilia na seleção e no uso de táticas de controle únicas ou harmoniosamente coordenadas em uma estratégia de manejo baseada em análises de custo/benefício que levam em consideração os interesses e impactos sobre os produtores, a sociedade e o ambiente (Kogan, 1998).

Apesar de o MIP ter sido criado há décadas, seus conceitos são atuais e promovem benefícios econômicos, sociais e ambientais. No entanto, nas décadas de 1970 e 1980, quando foi idealizado, pensava-se no manejo das pragas por cultura; porém, os sistemas produtivos atuais no Cerrado são muito dinâmicos e exigem uma visão mais complexa do sistema produtivo, pois o manejo de pragas realizado em uma cultura impacta sobre cultivos concomitantes ou subsequentes. Surge, então, a necessidade da realização do MIP em sistemas produtivos, considerando o efeito da paisagem agrícola sobre a dinâmica de pragas e de seus inimigos naturais (Ali *et al.*, 2015).

Para a implantação do MIP, é fundamental que o monitor de pra-

gas conheça não só as táticas de controle, mas também possua noções básicas de entomologia (Figura 2), que se iniciam pela taxonomia, permitindo a identificação de espécies em campo, a fim de evitar decisões de controle equivocadas. Como exemplo, pode-se citar o erro que alguns monitores cometem ao confundir o percevejo-predador *Podisus nigrispinus* (Dallas) com o percevejo-praga *Euschistus heros* (Fabricius). Tal erro gera a pulverização desnecessária e prejudicial de inseticidas no campo, aumentando o custo de produção, além de desestabilizar a relação predador/presa. Conseqüentemente, novos surtos de pragas podem ocorrer pela eliminação/redução da comunidade de inimigos naturais. Outro engano comum na identificação de pragas, ocorrido principalmente quando *H. armigera* chegou ao Brasil, foi a confusão de lagartas que também se alimentam de partes reprodutivas das plantas com as da subfamília Heliiothinae. Tal erro pode resultar em falhas de controle, caso seja utilizado controle microbiano com o vírus HzNPV, que tem ação sobre Heliiothinae, mas não controla *Spodoptera* spp., por exemplo. Além disso, as doses dos inseticidas necessárias para um controle efetivo podem ser diferentes entre as espécies.

Além da identificação correta, a amostragem/monitoramento é muito importante para permitir uma estimativa de infestação das pragas de maneira fidedigna, assim como quantificar os danos causados à cultura. Segundo Corrêa-Ferreira (2012), se o monitoramento não for efetuado corretamente e dentro da frequência preconizada, haverá sempre o risco de serem tomadas decisões de controle equivocadas, como antecipação de pulverizações (dispensáveis ou não) e realização de aplicações desnecessárias.

No Brasil, um dos grandes erros no monitoramento de pragas está relacionado ao baixo número de pontos amostrais por área e distribuição espacial insuficiente desses pontos. Tais falhas implicam pouca confiabilidade da real infestação pelas pragas, pois muitas espécies têm distribuição espacial do tipo agregada. O complexo de percevejos-praga da soja e a mosca-branca são bons exemplos, pois suas infestações, em geral, têm início pelas bordaduras dos talhões. No procedimento correto, no entanto, não se deve realizar a amostragem somente nas bordaduras, o que pode acarretar em opção equivocada pelo controle em todo talhão. O correto é usar pontos amostrais que estejam distribuídos na bordadura e no talhão, para que se tenha um diagnóstico preciso e, caso seja possível, haja a opção por um controle apenas nas bordaduras, o que reduz o custo de produção, por conta

da menor área controlada e da menor exposição dos inimigos naturais (insetos benéficos) aos inseticidas.

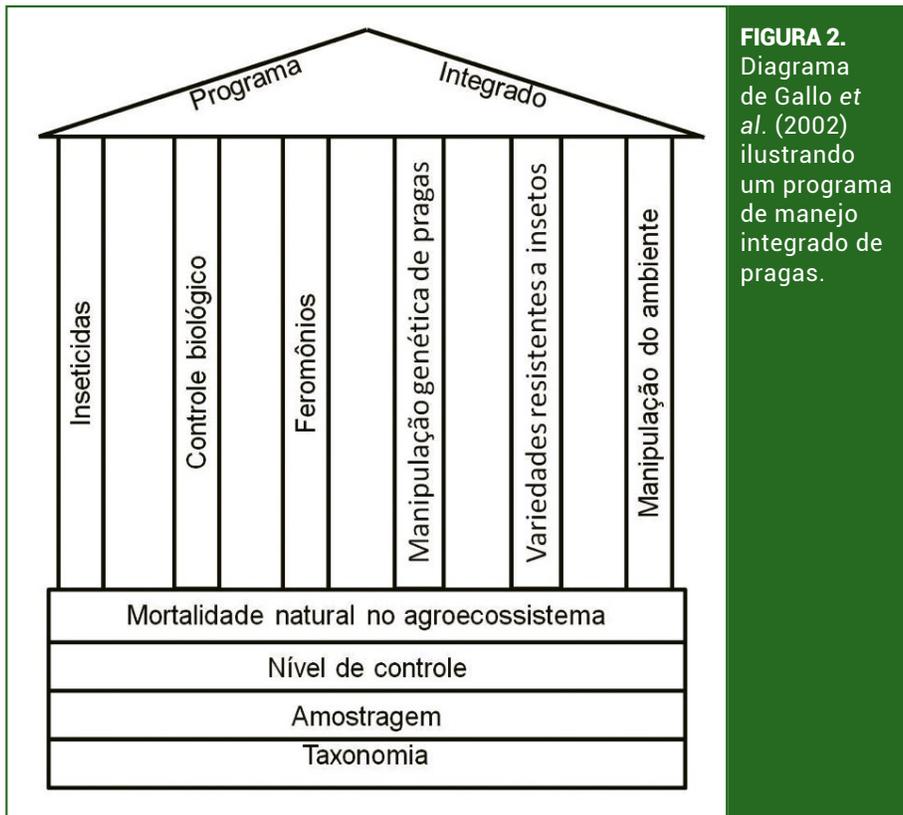
Após a amostragem correta de pragas identificadas corretamente, é necessário levar em consideração a infestação de pragas e os danos causados à cultura, pois existe um limiar de danos que a planta tolera sem que haja comprometimento de sua produtividade (Lara, 1991). Diversos estudos são realizados para determinar qual o limite que cada cultura tolera de cada espécie-praga. Para exemplificar, Rogers & Brier (2010) concluíram, após diversos experimentos, que a planta de soja, durante a fase reprodutiva, tolera até duas lagartas de *H. armigera*.m⁻¹.

Outro fator importante que deve ser levado em consideração no MIP é a mortalidade natural das pragas no agroecossistema provocada por fatores bióticos e abióticos. Se esse fator não existisse, seria difícil controlar as pragas mesmo com a melhor tática de controle disponível, pois as populações seriam extremamente elevadas. Para ilustrar a importância dos fatores bióticos e abióticos na redução populacional de insetos, será utilizado o valor de fecundidade (1.500 ovos/fêmea) de *Spodoptera frugiperda* (Smith), obtido no estudo de Milano *et al.* (2008), ao avaliarem a biologia dessa espécie em cinco temperaturas. Em campo, se não ocorressem mortalidades por fator algum, seja ele biótico ou abiótico, com a oviposição de apenas uma mariposa, haveria 1.500 lagartas e, consequentemente, 1.500 mariposas. Considerando uma razão sexual de 0,5, haveria 750 fêmeas x 1.500 ovos/fêmea, a próxima geração teria uma infestação de 1.125.000 lagartas. Utilizando a cultura do milho como exemplo, com um stand de aproximadamente 60.000 plantas.ha⁻¹ e considerando uma distribuição homogênea da praga na área, haveria 18,75 lagartas por planta. Ou seja, seria praticamente impossível que alguma tática de controle obtivesse sucesso em manter a praga em níveis populacionais que não causassem danos à cultura.

Dentre os fatores abióticos que influenciam a sobrevivência de insetos, pode-se citar a umidade relativa do ar, que afeta a taxa de sobrevivência, porém com pouca influência na duração do ciclo de vida dos insetos; ao contrário da temperatura, que afeta diretamente a duração das fases de desenvolvimento dos insetos, além de influenciar a sobrevivência de forma mais pronunciada nas temperaturas limítrofes inferiores e superiores para cada espécie (Parra, 2000). Outro fator abiótico importante que tem influência na mortalidade natural de insetos é a chuva, como constataram Varella *et al.* (2015) ao estudar os fatores relacionados à mortalidade de *S. frugiperda*.

Entre os fatores bióticos que contribuem para a mortalidade natural de insetos, a comunidade de inimigos naturais, como predadores, parasitoides e entomopatógenos, exerce redução populacional de pragas (Peterson *et al.*, 2009). Outro fator biótico que influencia na mortalidade dos insetos é o canibalismo (ato de alimentar-se de um indivíduo da mesma espécie) praticado por algumas espécies, como *S. frugiperda* e *H. armigera*.

Após levar em consideração todos os casos citados acima, taxonomia, amostragem, nível de controle e mortalidade natural, caso haja necessidade de controle, deve-se decidir qual a melhor estratégia, que pode ser a utilização de uma única tática de controle ou a integração delas (inseticidas, controle biológico, feromônios, manipulação genética de pragas, variedades resistentes a insetos e manipulação do ambiente). Hoseini e Pourmirza (2011) e López *et al.* (2010) constataram maior eficiência de controle da mosca-branca *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, quando se associou o uso de controle químico com liberações do parasitoide *Encarsia* spp., em comparação com o uso das duas táticas de controle isoladas. Ou seja, quando aplicada corretamente, a associação dos controles químicos



mico e biológico torna-se uma ferramenta mais eficaz do que a utilização de um dos dois métodos isolados.

Considerando a importância de estudos em MIP envolvendo sistemas agrícolas e a importância do complexo Heliothinae como pragas de sistemas agrícolas do Cerrado, abordaremos algumas linhas de pesquisa necessárias para o avanço do controle de pragas de forma mais sustentável e econômica e ambientalmente segura.

3. MÉTODOS DE CONTROLE

(A) TECNOLOGIAS PROMISSORAS E INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS DE CONTROLE

Tecnologia de aplicação

Após a comprovação da necessidade de controle da praga, a tecnologia de aplicação torna-se fundamental para garantir o sucesso do procedimento ao depositar o produto no alvo, de forma econômica e com o mínimo de contaminação (Matuo, 1990).

O hábito de alimentarem-se de frutos e permanecerem no terço médio das plantas dificulta que lagartas da subfamília Heliothinae sejam atingidas por pulverizações. O estudo de Reed e Smith (2001) informa que gotas menores promovem maior mortalidade de *H. zea* e *H. virescens* na cultura do algodoeiro, pois atingem o terço médio das plantas com maior eficiência do que gotas maiores. No entanto, é necessário determinar qual o tamanho mínimo da gota que garanta eficiência de controle, pois gotas muito pequenas causam deriva (Oliveira, 2010), acarretando em perda de eficiência da pulverização além dos riscos de contaminação de fontes de água e poluição do ar (Reimer & Prokopy, 2012).

Gotas muito pequenas, abaixo do diâmetro desejado, são produzidas normalmente por pontas de pulverização com pressão hidráulica, pois estas geram gotas bastante desuniformes. Considerando que existem diferenças quanto à uniformidade de gotas entre as pontas de pulverização, como constatado por Cunha *et al.* (2007), estudos sobre uniformidade de gotas nos diversos modelos de pontas são importantes para subsidiar os produtores rurais na escolha destas, principalmente por serem as mais utilizadas no país para pulverizações.

Além de estudos sobre pontas de pulverização com melhor uniformidade de tamanho de gotas, a redução de volumes de aplicação, sem interferência no sucesso do tratamento, é uma demanda do setor produtivo, pois, assim, diminui-se o desperdício de água e aumenta-se a capacidade

operacional, por conta da redução no número de abastecimentos (Ferreira *et al.*, 1998). Alternativas como o bico rotativo e a pulverização eletrostática podem ser importantes para suprir a demanda do setor produtivo na redução do volume de calda.

Os bicos rotativos (*Figura 3a*) são pontas que giram a alta velocidade, fracionando o líquido em gotas uniformes e pequenas, entre 100 μm e 200 μm , possibilitando trabalhar com baixos volumes de calda (Bayer *et al.*, 2011). Oliveira *et al.* (2010) informaram que a utilização do bico rotativo com volume de calda de 17 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ teve a efetividade de controle de *Chrysodeixis includens* igual a um bico hidráulico com volume de calda de 100 $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$. Além disso, a porcentagem de gotas muito pequenas ($\leq 100 \mu\text{m}$), que sofrem o efeito de deriva, foi significativamente menor.

A pulverização eletrostática (*Figura 3b*) é um sistema que carrega eletricamente as gotas geradas nos bicos, o que faz com que sejam atraídas para as plantas (Schroder & Loeck, 2006). Desta forma, é possível trabalhar com gotas muito pequenas, obter maior eficiência da pulverização pelo aumento da deposição dos agroquímicos e reduzir a deriva (Maynagh *et al.*, 2009).

Ao avaliarem a eficiência de deposição de agroquímicos com pulverização eletrostática, Chaim *et al.* (2002) obtiveram uma deposição de gotas de 62% com a mesma ponta de pulverização, mas com o sistema eletrostático desativado. Segundo Chaim (2006), o sucesso da pulverização eletrostática depende de soluções tecnológicas, para que os pulverizadores gerem gotas com tamanhos entre 50 μm a 100 μm de diâmetro e intensidade de carga superior a 4,0 mC/L . O mesmo autor relata a necessidade de formulações específicas para pulverização eletrostática por conta de o

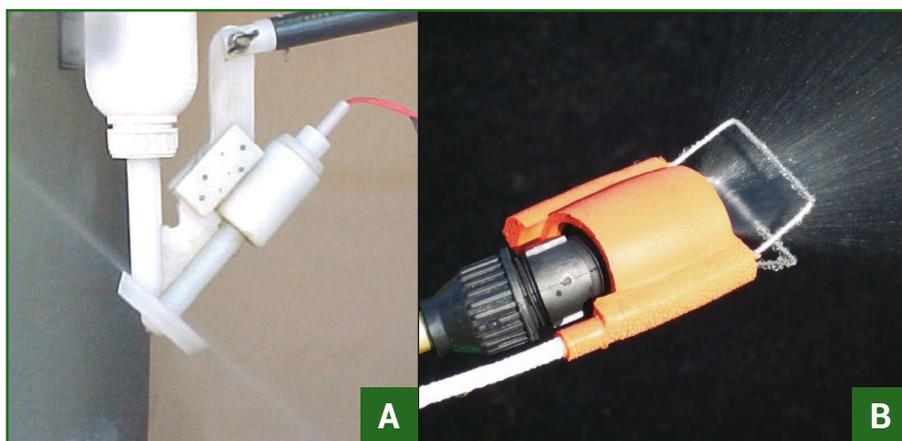


FIGURA 3. Bico rotativo (a) e bico hidráulico com sistema de eletrificação das gotas para pulverização eletrostática (b) (fotos: Aldemir Chaim)

volume de calda consumido ser de aproximadamente 1 L.ha⁻¹.

Após a deposição correta da gota, é necessário que o agroquímico permaneça na planta para que a praga-alvo seja controlada. Chuvas após a pulverização podem reduzir a absorção do produto pela planta ou removê-lo, reduzindo sua concentração a nível que não cause mortalidade. Segundo Mashaya (1993), a permanência do produto após a chuva varia de acordo com a molécula inseticida e suas formulações.

A adição de adjuvantes à calda de pulverização pode auxiliar na redução do tempo necessário para evitar a perda do produto pela chuva. Ao avaliarem o efeito de adjuvantes na perda do produto por chuva, Thacker *et al.* (1999) concluíram que nem todo tipo de adjuvante tem essa característica, devendo ser estudado caso a caso.

Além da possibilidade de reduzir as perdas de inseticidas da planta por causa da chuva, alguns adjuvantes diminuem a porcentagem de gotas menores que 100 µm em bicos hidráulicos (Ferreira *et al.*, 2013), o que pode diminuir problemas de deriva. Outra vantagem possível do uso de adjuvantes é o aumento de eficiência da pulverização eletrostática, ao melhorar a eletrificação das gotas, aumentando, conseqüentemente, a atratividade das gotas às plantas.

Outra demanda do setor produtivo é sobre as interações entre produtos fitossanitários como, por exemplo, misturas em tanque de inseticidas com herbicidas; a mistura de produtos reduz o número de operações no campo. Como consequência, há redução nos gastos com combustível, aumento da capacidade operacional da máquina, diminuição do consumo de água potável e minoração de problemas de compactação, no que se refere à pulverização terrestre.

Apesar dos benefícios citados acima, misturas podem aumentar a fitotoxicidade dos produtos ou comprometer a eficiência dos agroquímicos, como mostra o estudo de Nault *et al.* (2013), que indica uma redução de até 48% na eficiência de controle de tripes em cebola, ao misturar-se inseticidas com fungicida. Além disso, é possível ocorrer excesso de formação de espuma, entupimento de bicos e decantação de produtos no tanque do pulverizador (Gazziero, 2015). Entretanto, existem misturas cujas interações são nulas, como no estudo de Huseth *et al.* (2014), que avaliaram o efeito de inseticidas à base de diamidas em misturas com herbicidas e fungicidas, além de misturas que têm efeito sinérgico, como exemplo de diversos inseticidas que contêm duas moléculas.

Segundo Gazziero (2015), no Brasil não há regulamentações claras sobre o uso de misturas, e a incerteza da legalidade gerou escassez de infor-

mações na pesquisa. No entanto, as misturas são feitas em praticamente todas as propriedades rurais, porém sem subsídio de pesquisas. De acordo com o autor, a mistura em tanque de agroquímicos é um assunto de interesse de todos na área de fitossanidade e precisa ser analisado pelos órgãos governamentais brasileiros.

Uso de semioquímicos

Os insetos têm suas relações ecológicas com o meio ambiente e com outros organismos principalmente por meio de compostos químicos chamados semioquímicos. Segundo Zarbin *et al.* (2009), é por meio da emissão e da detecção desses semioquímicos que os insetos encontram parceiros para acasalamento, alimento ou presa, escolhem locais para oviposição, defendem-se dos predadores e organizam suas comunidades. Portanto, ao entendermos melhor a comunicação dos insetos, podemos utilizar uma combinação de estímulos que modifiquem o comportamento para manipular a distribuição e a abundância de pragas e inimigos naturais para o manejo de pragas (Cook *et al.*, 2007).

Existem diversas estratégias para o uso de semioquímicos no manejo da subfamília Heliothinae, como (1) atração e conservação de inimigos naturais para controle das lagartas, (2) uso de compostos atrativos, como feromônios e atrativos alimentares com inseticidas, para atrair e matar insetos-praga, (3) pulverização de compostos com ação deterrente, a fim evitar que a praga oviposite na planta ou alimente-se desta, (4) pulverização de semioquímicos com inseticidas para estimular a oviposição e a alimentação em outra cultura que não seja a de interesse comercial, (5) aplicação de semioquímicos tóxicos para matar as pragas e (6) mistura de semioquímicos com inseticidas para promover sinergismo do inseticida (Mensah & Moore, 2011).

Nos últimos anos, têm ganhado destaque estudos sobre o controle de mariposas com objetivo evitar a oviposição e, conseqüentemente reduzindo a infestação de lagartas. Tal estratégia permite redução significativa no consumo de inseticidas por área, pois, em geral, os adultos são altamente suscetíveis aos inseticidas em comparação com sua fase larval. Ao avaliarem a toxicidade de diversos inseticidas a mariposas e lagartas de *H. armigera*, Leonova e Slynko (1996) constataram que a molécula do inseticida organofosforado malationa foi 23 vezes mais tóxica para mariposas em comparação a sua fase larval. No entanto, no mesmo estudo, os autores constataram que o piretroide fenvalerato foi mais tóxico para lagartas do que para mariposas. Portanto, estudos visando o controle de

adultos devem ser feitos molécula a molécula.

Resultados iniciais com o uso de substâncias atrativas combinadas com inseticidas para o controle de mariposas, atraí-e-mata, demonstram que essa estratégia pode ser viável para o MIP. Basicamente, substâncias atrativas seriam utilizadas para atrair as mariposas a uma área tratada com a mistura de atrativo e inseticida, onde os adultos se alimentariam. A ingestão do inseticida atuaria na prevenção/redução da reprodução sobre concentrações subletais ou mataria os adultos em concentrações letais (López *et al.*, 2010b). Segundo Joyce e Lingren (1998), o uso da estratégia atraí-e-mata é provavelmente mais eficiente em noctuídeos, como Heliothinae, logo após a emergência das mariposas, por estarem estas em jejum e precisarem alimentar-se de néctar para ter energia suficiente para o voo inicial.

Estudos com as moléculas inseticidas benzoato de emamectina, hexaflumuro e espinosade sobre *H. zea* demonstram sua aplicabilidade na estratégia atraí-e-mata (López *et al.*, 2010b; 2011a; 2011b). Esses autores determinaram concentrações dos inseticidas que não afetavam o consumo alimentar das mariposas, porém causavam mortalidade e redução na fecundidade e na fertilidade das fêmeas. No entanto, é preciso realizar estudos em campo para comprovação da eficiência do método, pois fatores como o efeito da chuva na lavagem do composto e o impacto sobre inimigos naturais têm de ser avaliados. Estudos complementares para determinação do nível de controle dessa estratégia (mariposas por armadilha) precisam ser também efetuados para evitar o uso indiscriminado de inseticidas.

Outra possibilidade de atrair adultos é o cultivo concomitante de espécies vegetais mais atrativas (cultura-armadilha) que a cultura principal, como feijão-guandu para as mariposas de *H. armigera*, e evitar sua oviposição no algodoeiro (Rajapakse & Walter, 2007), ou o uso de semioquímicos atrativos em faixas da cultura principal, como no estudo de Martel *et al.* (2005), ao utilizarem atrativos em faixas na cultura da batata para atrair o besouro *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Para mariposas de Heliothinae, não se encontraram na literatura estudos em campo com substâncias atrativas, porém Lopez e Lingren (1994) verificaram que uma solução de água com 5% de sacarose foi mais atrativa para *H. zea* que atrativos alimentares comerciais para mariposas.

Além da vantagem de reduzir a infestação de pragas, o uso de culturas-armadilha pode atuar como área de refúgio para fornecimento de insetos suscetíveis para acasalamento com indivíduos resistentes de áreas cultivadas com plantas transgênicas que expressem proteínas inseticidas,

como as culturas *Bt*. Na cultura do algodão, espécies como sorgo, milho-doce, feijão-guandu, grão-de-bico e quiabo são utilizadas como áreas de refúgio para *Helicoverpa* spp. (Baker e Tann, 2014; Mensah *et al.*, 2014; Yenagi *et al.*, 2011).

Níveis de controle

Antes da implantação de programas de MIP, o controle de pragas agrícolas era realizado de forma sistemática, com realização de aplicações periódicas com base somente no poder residual dos inseticidas utilizados. Nessas aplicações, não importava se a praga em questão tinha atingido o nível que pudesse causar prejuízo à cultura.

Com a implantação de programas de MIP, principalmente após a década de 1970, as aplicações de inseticida passaram a ser realizadas quando o nível populacional da praga atingisse o chamado nível de controle ou nível de ação, sendo norteadas sempre por amostragens realizadas nas lavouras. Pedigo *et al.* (1996) definiram que o nível de dano econômico e o de ação constituem dois elementos básicos de programas de MIP.

No entanto, para a determinação do nível de ação, vários fatores devem ser usados, sendo o principal deles a chamada condição de praga, ou seja, o inseto é classificado como praga somente quando a densidade populacional ou as injúrias causadas por dada espécie acarretarem perda de produtividade e gerarem prejuízo econômico.

No caso de lagartas da subfamília Heliiothinae, a condição de praga nas culturas presentes no Cerrado já ocorre com a aparição de poucos indivíduos, pois, os danos causados por estas lagartas são classificados como diretos, uma vez que estes têm predileção pelas estruturas reprodutivas das plantas, como, por exemplo, botões e maçãs no algodoeiro, vagens na cultura da soja e feijão e espigas na cultura do milho, comprometendo, assim, diretamente o potencial produtivo da planta.

Vários estudos para a determinação do nível de ação para insetos dessa subfamília foram realizados, como os publicados por Karel (1985), Rowden (1987), Smith e Bass (1972), e Timsina *et al.* (2007). No entanto, as pesquisas entram em contradição, demonstrando que vários fatores, como o momento do ataque da praga e estágio fenológico da planta, podem ter influência na perda de produtividade em culturas como feijão e soja; outro aspecto citado pelos autores é a dificuldade da realização deste tipo de estudo pelo fato de as lagartas atacarem também os pontos de crescimento da planta, como ramos e brotações novas.

No Brasil, desde a constatação de *Helicoverpa armigera* na safra

2012/2013, ações emergenciais foram definidas pela Embrapa, segundo as quais, os níveis de ação estabelecidos dividiram-se por cultura e por método de controle utilizado (Tabelas 2 e 3).

TABELA 2. Níveis de ação para controle de *H. armigera* nas diferentes culturas, com o uso de inseticidas químicos.

Cultura	Nível de ação
Algodão convencional	2 lagartas/metro < 8 mm ou 1 lagarta/metro > 8 mm ou cinco ovos marrons/metro
Algodão Bt	2 lagartas > 3 mm/metro ou 1 lagarta > 8 mm/metro
Soja (estádio vegetativo)	7,5 lagartas/m ²
Soja (estádio reprodutivo)	1-2 lagartas/m ²
Feijão	1-3 lagartas/m ²
Milho	2 lagartas/metro

Adaptado de Embrapa, 2013.

TABELA 3. Níveis de ação para controle de *H. armigera* nas diferentes culturas, com o uso de agentes ou inseticidas biológicos.

Cultura	Nível de ação
<i>Trichogramma pretiosum</i>	Liberar 100.000 vespínhas/ha quando forem observados três adultos de <i>Helicoverpa</i> spp. por armadilha
<i>Baculovirus</i>	Observar os níveis de ação sugeridos na tabela 1, considerando, entretanto, lagarta < 8 mm
<i>Bacillus thuringiensis</i>	

Adaptado de Embrapa, 2013.

Diferentemente dos níveis de controle recomendados pelas medidas emergenciais da Embrapa, Bueno *et al.* (2013) estabeleceram para a cultura da soja níveis de controle baseados em variáveis como fenologia da cultura, nível de desfolha, espécie da praga ocorrente, tamanho das lagartas e tipo de molécula inseticida utilizada (Tabelas 4 e 5).

TABELA 4. Nível de ação para o controle do complexo *Helicoverpa* spp. e *H. virescens* na cultura da soja.

	Fase vegetativa	
	Entomopatógenos e inseticidas reguladores de crescimento	Inseticida de ação rápida
<i>Helicoverpa</i> spp.	4 lagartas pequenas/metro ou 30% desfolha	4 lagartas/metro ou 30% de desfolha
<i>H. virescens</i>		
	Fase reprodutiva	
<i>Helicoverpa</i> spp.	2 lagartas pequenas ou 15% de desfolha	2 lagartas/metro ou 15% de desfolha
<i>H. virescens</i>		

Adaptado de Bueno *et al.* (2013).

Para a cultura do algodoeiro no Brasil, Silva *et al.* (2013) estabeleceram o nível de controle para *H. virescens* quando for constatada a presença de lagartas pequenas em 13% de plantas amostradas, já para *H. armigera*, o nível de controle estabelecido foi de 10% de plantas com a presença de lagartas pequenas. Para as condições do Cerrado, Degrande e Soria (2015) estabeleceram os níveis de ação descritos na *Tabela 4*, além disso, recomendam ainda que, se ao monitorar 100 plantas, forem encontrados 30-50 ovos, deve-se realizar um novo monitoramento após dois dias; se o nível de controle for atingido, realizar uma aplicação para controle. No entanto, Van Hamburg (1981) constatou baixa correlação entre o número de ovos presentes no campo e os danos provocados por lagartas de *H. armigera* em cultivos agrícolas, atribuindo-a a fatores como a presença de ovos inférteis, número de ovos parasitados e capacidade de contagem de ovos no campo.

TABELA 5. Níveis de ação para controle de lagarta-das-maçãs do algodoeiro nas condições do Cerrado.

Praga	Nível de ação
<i>H. virescens</i>	6-8% de plantas infestadas com pelo menos uma lagarta
<i>Helicoverpa</i> spp.	5-8 lagartas encontradas em 100 plantas monitoradas

Adaptado de Degrande e Soria, 2015.

De modo geral, observa-se que não há um consenso sobre o nível de controle para lagartas da subfamília Heliothinae, seja no Brasil ou no resto do mundo. Rownder (1987) e Timsina *et al.* (2007) tentaram estabelecer níveis de controle para *H. armigera* por meio de estudos realizados com desfolha artificial. No entanto, Rogers e Brier (2010) constataram que *H. armigera*, além de provocar desfolha, consome estruturas como nervuras, pecíolos, pontos de crescimento apical e gemas axilares, comprometendo, assim, a capacidade de a planta compensar os danos causados; assim, estudos com desfolha artificial não seriam indicados para estabelecer níveis de controle para esta praga.

Além dessas interações, as condições de temperatura e umidade local podem influenciar na dinâmica populacional e no período de desenvolvimento das lagartas em diferentes regiões ou culturas, dificultando a realização de estudos para determinação do nível de controle. Logo, há necessidade de realização constante de estudos para a determinação dos níveis de controle de lagartas de Heliothinae, e

estes devem ser realizados e aplicados regionalmente, a depender da cultura e das condições ambientais locais.

Métodos de avaliação

Um dos maiores gargalos para o uso amplo do MIP é o dispêndio significativo de tempo com o monitoramento, que demanda quantidade elevada de mão de obra, considerada escassa na maioria das vezes. Portanto, métodos que possibilitem os monitores de pragas ampliarem sua capacidade de área monitorada são necessários para viabilizar o emprego do MIP.

O uso de feromônios é um bom exemplo de aumento da capacidade operacional no monitoramento, pois, com este procedimento, é possível a determinação de níveis de ação das pragas com pesquisas que correlacionem a quantidade de mariposas capturadas em armadilha à infestação que poderá proporcionar danos econômicos. Cruz *et al.* (2010) concluíram que três mariposas de *Spodoptera frugiperda* capturadas em uma noite correspondem ao nível de controle de lagartas na cultura do milho.

Pesquisas para a determinação do nível de controle de espécies da subfamília Heliothinae nas diversas culturas com uso de feromônios são possíveis. Para isso, estudos que proporcionem a atratividade de iscas com feromônios mais específicas tornam-se necessários, pois, atualmente, as iscas com feromônio de *Helicoverpa armigera* atraem também *H. virescens* e, provavelmente, *H. zea*.

Segundo Wu *et al.* (2015), espécies simpátricas ou intimamente relacionadas podem utilizar as mesmas substâncias na composição de seus feromônios, mas suas proporções são diferentes. Além do uso de proporções diferentes dos compostos para a elaboração de feromônios sintéticos, é possível ainda a utilização de compostos antagonistas para melhoria da seletividade da atração da isca, como no estudo de Juárez *et al.* (2016), que atestam que o uso da substância ZII-16:Ald em iscas de feromônio, composto principal dos feromônios sexuais de *H. virescens*, *H. zea* e *H. armigera*, inibe a atratividade de mariposas de *Helicoverpa gelatopoeon*.

Ao determinar os níveis de controle pelo uso de armadilhas com feromônio, a capacidade operacional torna-se ampliada, mas ainda é possível potencializá-la com a automação do monitoramento das armadilhas. Existe atualmente um produto comercial, chamado Ztrap[®], usado para monitoramento de mariposas na cultura da macieira,



FIGURA 4. Armadilha tipo delta com sistema de identificação, contagem de mariposas e transmissão de dados via rede sem fio (foto: <http://www.spensatech.com/spensa.html>).

que contabiliza os insetos capturados pela armadilha de feromônio sexual e transmite os dados em tempo real para um software, permitindo avaliar, em poucos minutos, por computador ou aplicativos de celular, a infestação da praga em toda a propriedade (Figura 4). No entanto, como a armadilha utiliza feromônio sexual como atrativo, apenas uma espécie por armadilha é contabilizada. Existem outras pesquisas em desenvolvimento para identificação das espécies capturadas por imageamento que combinam informações de textura, cor e formato (Wen *et al.*, 2015) ou por padrão do batimento de asas das espécies (Potamitis *et al.*, 2015; Potamitis & Rigakis, 2015).

Além do monitoramento de mariposas, técnicas que permitissem monitorar infestações de lagartas com rapidez atuariam de forma complementar para o monitoramento de pragas em grandes áreas. De acordo com Nansen *et al.* (2014), plantas sob estresse abiótico ou biótico apresentam comportamentos espectrais diferentes de plantas saudáveis. Portanto, o uso de leituras de refletância das plantas pode ser uma ferramenta que permita o monitoramento de pragas de forma rápida e sistematizada com uso de sensores de leitura embarcados em

veículos aéreos não tripulados (Vants) ou em equipamentos agrícolas, como, por exemplo, pulverizadores.

Estudos com plantas de sorgo e soja infestadas por pulgões apresentam reduções de reflectância no infravermelho próximo (NIR) e no índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) (Alves *et al.*, 2015; Elliot *et al.*, 2015). Entretanto, pesquisas ainda são necessárias para permitir o uso de leituras espectrais no monitoramento de pragas, pois é possível a ocorrência interações entre fatores bióticos e abióticos, como no estudo de Board *et al.* (2007), que também obtiveram alta significância da alteração do NDVI em plantas de soja submetidas a níveis de desfolha.

Manejo da resistência a plantas *Bt* e inseticidas e ensaios de eficiência agrônômica

O monitoramento dos níveis de suscetibilidade de Heliiothinae, assim como de outras pragas polífagas, é fundamental, pois os sistemas produtivos no Cerrado intensificam a pressão de seleção de inseticidas e plantas *Bt* pelas pragas por conta do fornecimento de alimento e abrigo aos insetos por um longo período do ano, intensificando, consequentemente, seu contato com pulverizações de inseticidas e proteínas de plantas *Bt*. Pesquisas nessa área são estratégicas, pois permitem a detecção da evolução dos níveis de resistência, para permitir a elaboração de rotações mais eficientes de moléculas inseticidas ou proteínas *Bt*. Desta forma, é possível reduzir o custo de produção e impactos negativos de contaminação ambiental pelo menor número de pulverizações realizadas para o controle da praga.

Na literatura internacional, há diversos registros de populações de espécies de Heliiothinae resistentes a inseticidas e culturas *Bt* (Downes *et al.*, 2010; Gould *et al.*, 1997; Huazhang & Ottea, 2004; McCaffery *et al.*, 1995; Ottea & Holloway, 1998; Park *et al.*, 2000; Roe *et al.*, 2010; Welch *et al.*, 2015). No entanto, na subfamília, *H. armigera* é a espécie que registra maior número de casos de resistência. A capacidade desse inseto na evolução de populações resistentes a inseticidas foi demonstrada em populações de laboratório em Índia, China e Austrália (Akhurst *et al.*, 2003; Kranthi *et al.*, 2000; Liang *et al.*, 2000) e em populações de campo do Sul da África, de Porto Rico, do Oeste da Índia, do Sudeste dos EUA e da Austrália (Carrière *et al.*, 2010; Tabashnik *et al.*, 2009).

Há registros de populações desse inseto-praga resistentes a diversas moléculas inseticidas em vários países (Jouben *et al.*, 2012; McCaffery,

1998; Torres-Vila *et al.*, 2002), como piretroides, organofosforados, carbamatos, organoclorinas (www.pesticideresistance.org) e moléculas mais novas com spinosade (Aheer *et al.*, 2009) e as toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Gujar *et al.*, 2007; Mahon *et al.*, 2007).

No Brasil, publicações sobre os níveis de suscetibilidade de *H. armigera* aos inseticidas são desconhecidas, por tratar-se de praga de introdução recente no país; no entanto, as dificuldades de controle e os grandes prejuízos causados no Estado da Bahia geram preocupação quanto aos possíveis níveis de resistência da praga.

Estudos sobre monitoramento dos níveis de resistência têm como função detectar a evolução dos níveis de resistência antes que ocorram falhas de controle dos inseticidas. No entanto, é inviável monitorar muitas moléculas em cada população coletada por conta da quantidade necessária de mão de obra para tais estudos. De forma complementar, pesquisas colaborativas, envolvendo instituições de pesquisa, cooperativas e instituições de ensino sobre eficiência agrônômica de inseticidas sintéticos e microbianos são uma opção interessante para ampliar a gama de informações disponíveis para os produtores, auxiliando-os no planejamento de compra de inseticidas para melhor rotação de mecanismos de ação na safra seguinte. A exemplo, pode-se citar o trabalho de Crosariol Netto e Barros (2015), que obtiveram resultados distintos de controle de moléculas de inseticida para o controle de *H. armigera* em algodoeiro.

TABELA 6. Eficiência de controle de inseticidas químicos sobre lagartas-alvo (LA) (pequenas+médias) de *H. armigera* em algodoeiro não Bt. Primavera do Leste/MT. Safra 2014/2015.

Ingrediente ativo	Dose mL p.c./ha	Grupo químico	Prévia	% de eficiência (Abbot)		
			LA	3 DAA	6 DAA	14 DAA
testemunha	---	---	6,50	-	-	-
flubendiamida	150	diamida do ácido ftálico	6,50	69,2	100,0	100,0
espinosade	125	espinosina	4,75	61,5	50,0	100,0
metoxifenoziada	625	hidrazida	7,25	23,1	0,0	100,0
clorantroliprole	150	antranilamida	5,75	46,2	66,7	0,0
indoxicarbe	400	oxidiazina	7,50	69,2	50,0	0,0
beta-ciflutrina	300	piretroides	5,25	30,8	16,7	100,0
clorfenapir	1500	análogo de pirazol	5,25	61,5	66,7	0,0
clorantroliprole + lambda-cialotrina	300	antranilamida + piretroide	3,75	69,2	66,7	100,0

DAA - dias após a aplicação

Controle biológico

Diferentes métodos de controle têm sido aplicados para controlar pragas em sistemas de cultivo agrícola visando a produtividade e a qualidade nos sistemas de produção. No sistema agrícola adotado no Cerrado, caracterizado pelo cultivo de diversas culturas durante o mesmo ano agrícola, a ferramenta mais utilizada é o controle químico, no entanto, seu uso excessivo pode acarretar problemas, como resistência e ressurgência de pragas.

Assim, uma opção viável e efetiva seria a utilização do controle biológico, que exerce papel fundamental dentro de um programa de MIP. Lacey *et al.* (2001) constataram que organismos entomopatogênicos, utilizados como ferramenta de controle biológico, podem proporcionar um controle significativo e seletivo quando utilizados como um dos componentes do MIP.

Visando o controle de lagartas da subfamília Heliothinae, Fathipour e Sedaratian (2013) relataram 36 parasitoides pertencentes às ordens Hymenoptera e Diptera, 23 predadores pertencentes às ordens Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera e Neuroptera e nove microrganismos entomopatogênicos, como bactérias, vírus, fungos, protozoários e nematoides, todos estes associados às formas imaturas de *H. armigera*. Nesses estudos, os autores também constataram níveis de controle biológico natural variando de 5% a 76%, dependendo da cultura e do estágio de desenvolvimento da praga em diferentes regiões.

No Brasil, André Shimoriro, citado por Ávila *et al.*, 2013 constatou ocorrência elevada de lagartas do gênero *Helicoverpa* parasitadas por moscas da família Tachinidae em milho safrinha no Estado do Paraná, sendo essa taxa de parasitismo próxima a 50%. Outro agente de controle biológico muito utilizado no mundo é o parasitoide de ovos de lepidópteros *Trichogramma* spp. Fernandes *et al.* (1999) constataram que espécies pertencentes a esse gênero são consideradas os principais agentes de controle biológico de ovos de lepidópteros-praga de diversas culturas, especialmente o algodoeiro.

Parra *et al.* (1992) registraram 95,5% de parasitismo natural de ovos de *H. virescens* por *Trichogramma* em plantas de algodoeiro. Sá *et al.* (1991) constataram porcentagem de parasitismo de 89,2% para ovos de *H. zea* na cultura do milho. No Brasil, atualmente, há oito produtos regularizados pelo MAPA pertencentes a quatro empresas, cujo princípio é a liberação de *Trichogramma* spp de forma inundativa (controle biológico aplicado) para o controle de lepidópteros; as espécies utili-

zadas são *Trichogramma pretiosum* Rylei e *Trichogramma galloi* Zuchi (Agrofit, 2016).

No entanto, um dos principais entraves para a utilização desse agente em áreas extensas, como as cultivadas no Cerrado brasileiro, são os custos operacionais envolvidos no processo de liberação do agente.

Na região do Submédio do Vale do São Francisco, *Trichogramma* é uma ferramenta de controle amplamente utilizada para o controle da traça-do-tomateiro *T. absoluta*. Estima-se que são soltos por hectare aproximadamente 5,4 milhões de parasitoides, sendo que essa liberação ocorre com o parasitoide no estágio de pupa ou no estágio adulto (Haji *et al.*, 2002). Além dos métodos manuais de soltura tradicionalmente utilizados, uma nova técnica chama a atenção por utilizar o sistema de pivô central.

Os mesmos autores explicam que as cartelas com os parasitoides emersos são mantidas em frascos, que são levados a campo e, por meio de um fio de náilon, suspensos no pingente do pivô a cerca de 10 cm das plantas de tomate. Após a distribuição dos frascos em todos os pingentes, põe-se o pivô para funcionar, mantendo-se, porém, a água desligada. Essa liberação deve ser realizada à noite, continuamente, com início no final do dia (17h30-18h) e término ao amanhecer (6h-7h), quando os frascos devem ser retirados e acondicionados em local adequado.

Nas condições agrícolas encontradas no Cerrado, com áreas extensas e constante rotação de cultivos, o meio mais viável seria a liberação aérea de parasitoides. Atualmente, no Brasil, há estudos em andamento sobre a liberação aéreas de *Trichogramma* com o uso de aviões e Vants. No entanto, os estudos ainda se encontram em desenvolvimento e sem resultados concretos.

Já em outros países, como a Guatemala, por exemplo, Sivinski *et al.* (2000) conduziram estudos com liberações aéreas do parasitoide *Dia-chasmimorpha tryoni* (Cameron) visando o controle da mosca-das-frutas *Ceratitidis capitata* (Weidemann). O trabalho foi realizado durante dois anos, e, de acordo com os autores, a taxa de parasitismo encontrada foi de até 84%.

Os microrganismos de ação entomopatogênicas também são amplamente utilizados em programas de controle biológico. Dentre esses destacam-se os vírus da poliedrose nuclear (NPV), que apresentam efeito considerável sobre a população de *H. armigera*. Moscardi (1999) e Raymond *et al.* (2006) destacam o uso de bioinseticida à base de baculovírus como uma das técnicas compatíveis com outros métodos de controle adotados.

Vários estudos, como os realizados por Roome (1975), Moore *et al.* (2004) e Jeyarani *et al.* (2010), mostram a efetividade do baculovírus no controle de *Helicoverpa armigera* em culturas como, sorgo, *citrus*, algodão e grão-de-bico. Além disso, em vários países da Europa e da Ásia, que convivem há muito mais tempo com esse lepidóptero-praga, tem-se constatado que quando utilizado como inseticida biológico, o baculovírus tem apresentado boa eficiência no controle de *H. armigera* (Sun *et al.*, 2004).

No Brasil, por conta da constatação recente de *H. armigera*, o MAPA regulamentou a utilização de produtos à base de baculovírus para o controle dessa praga. Atualmente há cinco produtos comerciais registrados (Agrofit, 2016), que atuam de forma específica para o controle de lagartas da subfamília Heliothinae.

Portanto, o principal entrave para a utilização do baculovírus no controle de *H. armigera* no Cerrado é a presença constante de espécies do complexo *Spodoptera*, como *S. frugiperda*, *S. cosmioides* e *S. eridania*, assim como a ocorrência de *C. includens*. Por conta desse complexo de lagartas, a utilização do baculovírus implicaria em aplicações adicionais de inseticida para controle das demais espécies não pertencentes à subfamília Heliothinae, o que resultaria em maior custo para o produtor.

Uma opção para o controle do complexo de lagartas seria a utilização de inseticidas à base de *Bacillus thuringiensis*. Sabe-se que o *Bt* exerce efeito considerável na regulação de populações de *H. armigera* e outros lepidópteros. Estudos desenvolvidos por Liao *et al.* (2002) e Avilla *et al.* (2005) demonstram os efeitos patogênicos do *Bt* sobre populações de *H. armigera*, seja atuando na mortalidade direta ou exercendo efeitos subletais, como redução do peso e alteração do ciclo de desenvolvimento do inseto.

No entanto, a principal desvantagem para utilização de inseticidas à base de *Bt* é a maior suscetibilidade desse produto às condições ambientais, quando comparado a inseticidas químicos. Sabe-se que *B. thuringiensis* degrada-se rapidamente quando submetido à luz solar intensa. No entanto, Pontes (1995) cita que formulações diferentes podem proporcionar diferentes degradações em campo. A exemplo, McGuire *et al.* (1996) observaram que quando sucrose foi adicionada à solução de *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, o produto degradou-se mais lentamente na presença de luz solar e foi eficiente por mais tempo para o controle da traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus).

Outro aspecto limitante para a utilização de inseticidas à base de *Bt* e baculovírus é o “time” de aplicação, uma vez que, para maior eficiência destes produtos, estes devem ser aplicados visando o controle de lagartas pequenas e/ou médias, exigindo, assim, monitoramento constante para o correto “time” de aplicação.

De modo geral, agentes de controle biológico não apresentam efeito imediato na regulação de populações de insetos-praga, ou seja, após a aplicação, são necessários alguns dias para que os agentes apresentem eficiência satisfatória, nas condições atuais do Cerrado, com grandes áreas, ocorre a maior aceitação de moléculas inseticidas pelo efeito imediato ou efeito *knock down* sobre populações de insetos-praga.

A fim de melhorar os efeitos de produtos de controle biológico, há necessidade de melhoria nas formulações comerciais, tendo como meta, no caso de baculovírus, formulações que contenham isolados atuantes ao complexo de lagartas de modo geral, e, no caso do *Bt*, formulações que tornem o produto mais resistente às condições ambientais.

Maior interação entre pesquisa, transferência de tecnologia e setor produtivo

Apesar da necessidade de avanços na pesquisa, muitas informações sobre MIP estão disponíveis. Nota-se, porém, baixa adesão aos programas relacionados no Brasil. Um dos fatores dessa baixa adesão é a falta de agentes extensionistas, o que gera uma lacuna entre a tecnologia criada pela pesquisa e a adoção efetiva pelos produtores.

Nota-se que, apesar do número elevado de palestras oferecidas por pesquisadores e técnicos da área aos produtores, a adoção, até de informações básicas, como o nível de controle de pragas em culturas como soja, milho e algodão, é pouco aceita, pois é necessário que os produtores constatem em campo as informações obtidas em palestras. Para isso, a presença do extensionista é muito importante. Ações como implantação de unidades de referência tecnológica (URT) sobre MIP instaladas em áreas comerciais conduzidas por produtores rurais em parceria com a pesquisa e/ou extensão rural promovem maior aceitação das tecnologias propostas. Portanto, pesquisa, extensão rural e entidades de classe — como associações de produtores rurais — precisam unir esforços para, juntas, promoverem uma agricultura mais sustentável e lucrativa. Além da melhor adoção do MIP com a implantação de URTs, a rede de parceiros amplia-se, já que vários desses produtores conduzem também ensaios em parceria

com pesquisadores em suas propriedades. Esse tipo de parceria reduz o tempo de pesquisa, ampliando a quantidade de resultados obtidos e dando mais robustez aos estudos.

Ações de pesquisa e extensão rural conduzidas e previstas para controle de Heliiothinae

Diante da demanda iminente da proposição e adequação de medidas de controle de lepidópteros-pragas em consonância com os princípios do MIP, o manejo da resistência de insetos a inseticidas e às proteínas *Bt* e a validação de medidas para o manejo de Heliiothinae, a Embrapa reuniu cientistas, de seus diversos centros de pesquisa para elaborar um plano de trabalho multidisciplinar e multi-institucional para a criação de um arranjo de projetos denominado Armigera - Manejo Integrado de Lepidópteros-praga, com foco em *Helicoverpa*.

Os projetos propostos contribuirão para geração, validação e transferência de tecnologias para o manejo de lepidópteros-praga no Brasil, com ênfase em *H. armigera*. Os principais impactos esperados são (1) a racionalização do uso de agroquímicos, baseada em indicadores para tomada de decisão; (2) a indicação de compostos naturais e agentes de controle biológico e tecnologias de aplicação; (3) a utilização do controle biológico como medida efetiva de controle de lepidópteros-praga; (4) a manutenção da população de lepidópteros-praga em níveis econômicos aceitáveis pela adoção do MIP; (5) o desenvolvimento de ferramentas inovadoras de amostragem de lepidópteros-praga e inimigos naturais (sensoriamento remoto, armadilha de feromônio etc.); (6) a integração das medidas de MIP e do manejo da resistência de insetos a inseticidas e tecnologia *Bt* em diferentes sistemas de cultivos na paisagem agrícola; (7) a adoção de estratégias e táticas, dentro da filosofia do MIP, para o manejo de *H. armigera* e evitar/retardar a seleção de populações resistentes a inseticidas e proteínas *Bt*.

O Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt) vem trabalhando com o objetivo de fornecer ferramentas ao cotonicultor para melhor convivência e controle de lagartas da subfamília Heliiothinae. As demandas de pesquisa são executadas desde a safra 2012/2013, com a introdução dos programas SAP-e (Sistema de Alerta de Pragas Emergentes), que visa alertar o corpo técnico das fazendas sobre quais espécies de lepidópteros estão sendo mais capturadas na região por meio de monitoramento de armadilhas de captura e também pela realização da diagnose em tempo real SDHa de *H. armigera*, cujo ob-

jetivo é identificar de forma molecular a diferenciação das espécies *H. armigera* e *H. zea*.

Anualmente, também são realizados estudos de eficiência de moléculas inseticidas e eficiência de plantas *Bt* para o controle de lagartas dessa subfamília. Para os próximos anos, o IMAmt pretende avançar nos estudos e na produção de bioinseticidas à base de *Bt*, vírus e fungos entomopatogênicos, com foco em formulações e equipamentos de aplicação. Aspectos como resistência a moléculas inseticidas e a plantas transgênicas também são levados em conta na parceria com a Embrapa.

Referências

AGROFIT Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em:http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 05 mar. 2016.

AHEER, G. M.; AZIZ, M. A.; HAMEED, A.; ALI, A. Evaluation of resistance to different insecticides in field strains of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Punjab, Pakistan. **Entomological Research**, v. 39, p. 159-167. 2009.

AKHURST, R. J.; JAMES, W.; BIRD, L. J. Resistance to the Cry1Ac δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v.96, p. 1290-1299, 2003.

ALI, A. D.; HARLOW, J. L.; AVERY, P. B.; KUMAR, V. Investigating the role of fungal entomopathogens in whitefly landscape ipm programs. **Journal of entomological science**, v. 50, p. 254-261, 2015.

ALVES, T. M.; MACRAE, I. V.; KOCH, R. L. Soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) affects soybean spectral reflectance. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 2655-2664, 2015.

ÁVILA, C. J.; VIVAN, L. M.; TOMQUELSKI, G. V. Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 12p. (Circular Técnica, Embrapa Agropecuária Oeste, 23).

AVILLA, C.; VARGAS-OSUNA, E.; GONZALEZ-CABRERA, J.; FERRE, J.; GONZALEZ-ZAMORA, J. E. Toxicity of several δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* against *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from Spain. **Journal of Invertebrate Pathology**, 2005; 90 51-54.

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. **Australian Entomology**, v. 53, p. 240-247, 2014.

BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELLO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 192-198, 2011.

BERTELS, A. M. **Insetos-pragas da soja e seu combate.** Pelotas: Embrapa, 1975. 33p. (Boletim Técnico, 100)

BOARD, J. E.; MAKI, V.; PRICE, R.; KNIGHT, D.; BAUR, M. E. Development of vegetation indices for identifying insect infestations in soybean. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 650-656, 2007.

BRASIL. **Produtos de combate à *Helicoverpa armigera* têm seu uso prorrogado.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/produtos-de-combate-a-helicoverpa-armigera-tem-seu-uso-prorrogado>. Acesso em 20 fev. 2016.

BUENO, A. de F.; RUFINO, C. G.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SOSA-GOMEZ, D. R.; HI-ROSE, E.; ADEGAS, F.; ROGGIA, S. (Org.). ***Helicoverpa armigera*: desafios na cultura da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/helicoverpa>>. Acesso em: 27 fev. 2016.

CABI. **Pest distribution.** Disponível em: <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/PWMap.aspx>. Acesso em: 19 fev. 2016.

CARRIÈRE, Y.; CROWDER, D. W.; TABASHNIK, B. E. Evolutionary ecology of insect adaptation to *Bt* crops. **Evolutionary Applications**, v. 3, p. 561-573, 2010.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática: principais processos utilizados para a eletrificação de gotas.** Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna, 2006, 17p. (Documento 57). Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_57.pdf. Acesso: 22 fev 2016.

CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Eficiência de deposição de agrotóxicos obtida com bocal eletrostático para pulverizador costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 497-501, 2002.

CHO, S.; MITCHELL, A.; MITTER, C.; REGIER, J.; MATTHEWS, M.; ROBERTSON, R. Molecular phylogenetics of heliothine moths (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae), with comments on the evolution of host range and pest status. **Systematic Entomology**, v. 33, p. 581-594, 2008.

COOK, S. M.; KHAN, Z. R.; PICKETT, J. A. The use of push-pull strategies in integrated pest management. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 352-375, 2007.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. Amostragem de pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga.** Embrapa: Londrina, 2012. cap. 9, pag. 631-672.

CROSARIOL NETTO, J.; BARROS, E. M. *Helicoverpa armigera*: situação atual e ferramentas a serem aplicadas em programas de Manejo Integrado de Pragas. Cuiabá: IMAmt, 2015. 8p. (Instituto Mato-grossense do Algodão. Circular técnica N°21/2015). Disponível em: http://imamt.com.br/system/anexos/arquivos/335/original/circular_tecnica_edicao21_bx.pdf?1454499223. Acesso em 25 Abr. 2016.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; SILVA, R. B.; FOSTER, J. E. Efficiency of chemical pesticides to control spodoptera *frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, p. 107-122, 2010.

CUNHA, J. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 10-15, 2007.

CUNNINGHAM, J. P.; ZALUCKI, M. P. Understanding Heliothinae (Lepidoptera: Heliothinae) pests: what is a host plant?. **Journal of Economic Entomology**, v. 107, p. 881-896, 2014.

CUNNINGHAM, J. P.; ZALUCKI, M. P.; WEST, S. A. Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behaviour and control of a polyphagous pest. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 89, n. 3, p. 201-207, 1999.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 110-113, 2013.

DEGRANDE, P. E.; SORIA, M. F. Manejo Integrado de pragas no algodoeiro em Mato Grosso In: **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. Cuiabá, 2015. Disponível em: http://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/72/72/53a41dc5645d89de0830a36b5035179f3650b44e8be6f_resultados-de-pesuisa-2014-5.pdf. Acesso em 25 abr. 2016.

DOWNES, S.; PARKER, T. L.; MAHON, R. J. Characteristics of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry2Ab in a strain of *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) isolated from a field population. **Journal of Economic Entomology**, v. 103, p. 2147-2154, 2010.

ELLIOT, N. C.; BACKOULOU, G. F.; BREWER, M. J.; GILES, K. L. Ndvi to detect sugarcane aphid injury to grain sorghum. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 1452-1455, 2015.

EMBRAPA, 2013. **Ações emergenciais propostas pela Embrapa para o manejo integrado de *Helicoverpa* spp. em áreas agrícolas.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/1602515/A%C3%A7%C3%B5es+emergenciais+p+ropostas+pe-la+Embrapa+-+Documento+oficial/3a569ce1-c132-4bfa-8314-bc993ce8b920>. Acesso em: 01 mar.2016.

FATHIPOUR, Y.; SEDARATIAN, A. Integrated management of *Helicoverpa armigera* in soybean cropping systems. IN: EL-SHEMY, H. A. **Soybean - Pest Resistance**. Rijeka: Intech, 2013. cap. 9, p. 231-279.

FATHIPOUR, Y.; SEDARATIAN, A. Integrated management of *Helicoverpa armigera* in soybean cropping systems. In: ELSHEMY, H. A. (Ed.). Soybean - pest resistance. Cairo: InTeOpP, 2013. p. 231-280.

FERNANDES, M. G.; BUSOLI, A. C.; DEGRANDE, P. E. Parasitismo natural de ovos de *Alabama argillacea* (Hub.) e *Heliothis virescens* (Fab.) por *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym: Trichogrammatidae), em algodoeiros do Mato Grosso do Sul. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 695-701, 1999.

FERREIRA, M. C.; LASMAR, O.; DECARO JÚNIOR, S. T.; NEVES, S. S.; AZEVEDO, L. H. Qualidade da aplicação de inseticida em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), com e sem adjuvantes na calda, sob chuva simulada. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1431-1440, 2013.

FERREIRA, M. C.; MACHADO-NETO, J. G.; MATUO, T. Redução da dose e do volume de calda nas aplicações noturnas de herbicidas em pós-emergência na cultura da soja. **Planta Daninha**, v. 16, p. 25-36, 1998.

FITT, G. P. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. **Annual Review of Entomology**, v.34, p. 17-52, 1989.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GAZZIERO, D. L. P Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, p. 83-92, 2015.

GOULD, F.; ANDERSON, A.; JONES, A.; SUMERFORD, D.; HECKEL, D. G.; LOPEZ, J.; MICINSKI, S.; LEONARD, R.; LASTER, M. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 94, p. 3519-3523, 1997.

GUJAR, G. T.; KALIA V.; KUMARI, A.; SINGH, B. P.; MITTAL, A.; NAIR, R.; MOHAN, M. *Helicoverpa armigera* baseline susceptibility to *Bacillus thuringiensis* Cry toxins and resistance management for Bt cotton in India. **Journal of Invertebrate Pathology**. V. 95, p.214-219. 2007.

HAJI, F. N. P.; PREZOTTI, L.; CARNEIRO, J. S.; ALENCAR, J. A. *Trichogramma pretiosum* para o controle de pragas no tomateiro industrial. In: PARRA, J. P. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. (Ed.). **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p.477-494.

HOSEINI, S. A.; POURMIZA, A. A. Short communication. Evaluation of the efficiency of imidacloprid and *Encarsia inaron* Walker (Hymenoptera: Aphelinidae) integration to control the whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae), under greenhouse conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, p.906-911, 2011.

HUAZHANG, H.; OTTEA, J. A Development of pyrethroid substrates for esterases associated with pyrethroid resistance in the Tobacco Budworm, *Heliothis virescens* (F.). **Journal of Food and Chemistry**, v. 52, p. 6539-6545, 2004.

HUSETH, A. S.; GROVES, R. L.; CHAPMAN, S. A.; NAULT, B. A. Evaluation of diamide insecticides co-applied with other agrochemicals at various times to manage *Ostrinia nubilalis* in processing snap bean. **Pest Management Science**, v. 71, p. 1649-1656, 2014.

JEYARANI, S.; SATHIAH, N.; KARUPPUCHAMY, P. Field efficacy of *Helicoverpa armigera* nucleo polyhedron virus isolates against *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on cotton and chickpea. **Plant Protection Science**, 2010; 46, p. 116-122.

JOUBEN, N.; AGNOLET, S.; LORENZ, S.; SCHÖNE, S. E.; ELLINGER, R.; SCHNEIDER, B.; HECKEL, D. G. Resistance of Australian *Helicoverpa armigera* is due to fenvalerate is due to the chimeric P450 enzyme CYP337B3. **PNAS**. V.109, p. 15206-15211, 2012.

JOYCE, R. J. V.; LINGREN, P. D. Potential for developing technology to control adult noctuids with chemical attractants from plants: background and world perspective. **Southwestern Entomologist**, v. 21, p. 9-23, 1998.

JUÁREZ, M. L.; RUIZ, M. J.; FERNÁNDEZ, P. C.; GOANE, L.; VILLAGRÁN, M.E.; ARCE, O.E.A.; ARMIÑANA, A.; PÁEZ JEREZ, P. G.; VEGA, M. H.; VERA, M. T.; GROOT, A. T. Communication interference in sympatrically occurring moth species. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 158, p. 25-33, 2016.

KAREL, A. K. Yield losses from and control of bean pod borers, *Maruca testulalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology** 78, 1323-1326, 1985.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 243-270, 1998.

KOGAN, M.; HELM, C. G.; KOGAN, J.; BREWER, E. Distribution and economic importance of *Heliothis virescens* and *Heliothis zea* in North, Central and South America and of their natural enemies and host plants. In: E. G. King and R. D. Jackson (eds) Proceeding of the workshop on the biological control of *Heliothis*: increasing the effectiveness of natural enemies. 11-15 November 1985, New Delhi, India. FERRO/USDA, New Delhi, India. p. 241-298. 1989.

KOPPE, G.C. **Agrotóxicos: mutações, reprodução e câncer.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2005. 392p.

KRANTHI, K. R.; KRANTHI, S.; ALI, S.; BANERJEE, S. K. Resistance to Cry1Ac -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in a laboratory selected strain of *Helicoverpa armigera* (Hübner). **Current Science**. v. 78, p. 1001-1004. 2000.

LACEY, L. A.; FRUTOS, R.; KAYA, H. K.; VAILSS, P. Insect pathogens as biological control agents: do they have a future? **Biological Control** 2001; 21 230-248.

LAMMERS, J. W.; MACLEOD, A. Report of a pest risk analysis: *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808). [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <https://www.gov.uk/guidance/plant-health-controls>. Acesso em: 20 fev.2016.

LARA, F. M. Princípios de resistência de plantas a insetos. São Paulo, Ícone, 1991, 336p.

LASTER, M. L.; SHENG, C. F. Search for hybrid sterility for *Helicoverpa zea* in crosses between the north American *H. zea* and *H. armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from China. **Journal of Economic Entomology**, v. 88, p. 1288-1291, 1995.

LEONOVA, I. N.; SLYNKO, N. M. Comparative study of insecticide susceptibility and activities of detoxification enzymes in larvae and adults of cotton bollworm, *Heliothis armigera*. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v. 32, p. 157-172, 1996.

LIANG, G.; TAN, W.; GUO, Y. Studies on the resistance screening and cross-resistance of cotton bollworm to *Bacillus thuringiensis* (Berliner). **Scientia Agricultura Sinica**. v. 33, p. 46-53. 2000.

LIAO, C.; HECKEL, D. G.; AKHURSTA, R. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins for *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae), major pests of cotton. **Journal of Invertebrate Pathology** 2002; 80 55-63.

LÓPEZ, J. D. J.; LINGREN, P. D. Feeding response of adult *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) to commercial phagostimulants. **Journal of Economic Entomology** v. 87, P.1653-1658, 1994.

LÓPEZ, J. D.; LATHEEF, A. M.; HOFFMANN, W. C. Effect of hexaflumuron on feeding response and reproduction of bollworm, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). **Southwestern Entomologist**, v. 36, p. 247-259, 2011a.

LÓPEZ, J. D.; LATHEEF, A. M.; HOFFMANN, W. C. Mortality and reproductive affects of ingested spinosad on adult bollworms. **Pest Management Science**, v. 67, p. 220-225, 2011b.

LÓPEZ, J. D.; LATHEEF, M. A.; HOFFMAN, W. C. Effect of emamectin benzoate on mortality, proboscis extension, gestation and reproduction of the corn earworm, *Helicoverpa zea*. **Journal of Insect Science**, v. 10, p. 1-16, 2010.

LOPEZ, S. N.; RIQUELME, M. B.; BOTTO, E. Integration of biological and chemical control of whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 36, p.190-194, 2010.

MAHON, R. J.; OLSEN, K. A.; GARSIA, K. A.; YOUNG, S. R. Resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry2Ab in a strain of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, p. 894-902, 2007.

MARTEL, J. W.; ALFORD, A. R.; DICKENS, J. C. Synthetic host volatiles increase efficacy of trap cropping for management of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). **Agricultural and Forest Entomology**, v. 7, P. 79-86, 2005.

MASHAYA, N. Effect of simulated rain on efficacy of insecticide deposits on tobacco. **Cropp Protection**, v. 12, p. 55-58, 1993.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.

MAYNAGH, B. M.; GHOBADIAN, B.; JAHANNAMA, M. R.; HASHJIN, T. T. Effect of electrostatic induction parameters on droplets charging for agricultural application. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 11, p. 249-257, 2009.

McCAFFERY, A. R. Resistance to insecticides in heliothine Lepidoptera: a global view. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 353, p. 1735-1750, 1998.

McCAFFERY, A. R.; HOLLOWAY, J. W.; GLADWELL, R. T. Nerve insensitivity resistance to cypermethrin in larvae of the tobacco budworm *Heliothis virescens* from USA cotton field populations. **Pest Science**, v. 44, p. 237-247, 1995.

McGUIRE, M. R.; SHASHA, B. S.; EASTMAN, C. E.; OLOUMI-SADEGHI, H. Starch- and flour-based sprayable formulations: effect on rain fastness and solar stability of *Bacillus thuringiensis*. **Journal of Economic Entomology**, v. 89, p. 863-869, 1996.

MENSAH, R.; MOORE, C.; WATTS, N. Discovery and development of a new semiochemical biopesticide for cotton pest management: assessment of extract effects on the cotton pest *Helicoverpa* spp. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 152, p. 1-15, 2014.

MENSAH, R. K.; MOORE, C. Exploitation of semiochemical for the management of pest and beneficial insects with special emphasis on cotton cropping systems in Australia: A review. **Journal of Biological Control**, v. 25, p. 253-269, 2011.

MILANO, P.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; CÔNSOLI, F. L. Influência da temperatura na frequência de cópula de *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 528-535, 2008.

MITTER, C.; POOLE, R. W.; MATTHEWS, M. Biosystematic of the Heliothinae (Lepidoptera: Noctuidae). **Annual Review of Entomology**, v. 38, p. 207-225, 1993.

MOORE, S. D.; PITTAWAY, T.; BOUWER, G.; FOURIE, J. G. Evaluation of *Helicoverpa armigera* nucleo polyhedron virus (HearNPV) for control of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on citrus in South Africa. **Biocontrol Science and Technology**, 14, p. 239-250, 2004.

MOSCARDI, F. Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. **Annual Review of Entomology**, v.44, p. 257-289, 1999.

NANSEN, C.; ZHANG, A.; YAN, G. Use of variogram analysis to classify field peas with and without internal defects caused by weevil infestation. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 17-22, 2014.

NAULT, B. A.; HSU, C. L.; HOEPTING, C. A. Consequences of co-applying insecticides and fungicides for managing *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on onion. **Pest Management Science**, v. 69, p. 841-849, 2013.

OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p.92-99, 2010.

OTTEA, J. A.; HOLOWAY, J. W. Target-site Resistance to pyrethroids in *Heliothis virescens* (F.) and *Helicoverpa zea* (Boddie). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 61, p. 155-167, 1998.

PARK, Y.; LEE, D.; MARTIN, F. J.; HOLLOWAY, J. W.; OTTEA, J. A.; ADAMS, M. E.; FEYERREISEN, R. A Mutation Leu1029 to his in *Heliothis virescens* F. hscp sodium channel gene associated with a nerve-insensitivity mechanism of resistance to pyrethroid insecticides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 66, p. 1-8, 2000.

PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. Uso de *Trichogramma* no controle de pragas. In: NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Atualização sobre métodos de controle de pragas**. Piracicaba: ESALQ, 1986. p. 54-75.

PARRA, J. R. P. A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório à aplicação em campo. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (ed.) **Bases e técnicas do manejo de insetos**. UFSM/CCR/DFS: Santa Maria, 2000. p.1-29.

PEDIGO, L. P.; HUTCHINS, S. H.; HIGLEY, L. G. Economic injury levels in theory and practice. **Annual Review of Entomology** 1996; 31, p. 341-358.

PETERSON, R. K.; DAVID, R. S.; HIGLEY, L. G.; FERNANDES, O. A. Mortality risk in insects. **Environmental Entomology**, v. 38, p. 2-10, 2009.

POGUE, M. G. A new synonym of *Helicoverpa zea* (Boddie) and differentiation of adult males of *H. zea* and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae). **Annals of the Entomological Society of America**, Lexington, v. 97, n. 6, p. 1222-1226, 2004.

POGUE, M. G. A. Revised status of *Chloridea* Duncan and (Westwood), 1841, for the *Heliothis virescens* species group (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae) based on morphology and three genes. **Systematic Entomology**, v. 38, p. 523-542, 2013.

PONTES, R. G. M. S. Interrelations entre la teigne des crucifères *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Yponomeutidae), son parasitoide *Diadegma* sp. (Hym: Ichneumonidae) et al bactérie entomopathogène *Bacillus thuringiensis* Berliner. École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 1995 (tese de doutorado).

POTAMITIS, I.; RIGAKIS, I. Novel Noise-Robust Optoacoustic Sensors to Identify Insects Through Wingbeats. **Ieee Sensors Journal**, v. 15, p. 4621-4631, 2015.

POTAMITIS, I.; RIGAKIS, I.; FYSARAKIS, K. Insect Biometrics: Optoacoustic Signal Processing and Its Applications to Remote Monitoring of McPhail Type Traps. **PLOS ONE**, v. 10, p. 01-33, 2015.

RAJAPAKSE, C. N. K.; WALTER, G. H. Poliphagy and primary host plants: oviposition preference versus larval performance in the lepidopteran pest *Helicoverpa armigera*. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 1, p. 17-26, 2007.

RAYMOND, B.; SAYYED, A. H.; WRIGHT, D. The compatibility of a nucleopolyhedrosis virus control with resistance management for *Bacillus thuringiensis*: Coinfection and cross-resistance studies with the diamondback moth, *Plutella xylostella*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 93, p. 114–120. 2006.

REED, J. T.; SMITH, D. B. Droplet size and spray volume effects on insecticide deposit and mortality of heliothine (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in cotton. **Journal of Economic Entomology**, v. 94, p. 640–647, 2001.

REIMER, A. P.; PROKOPY, L. S. Environmental attitudes and drift reduction behavior among commercial pesticide applicators in a U.S. agricultural landscape. **Journal of environmental management**, v. 113, p. 361–369, 2012.

ROE, R. M.; YOUNG, H. P.; IWASA, T.; WYSS, C. F.; STUMP, C. F.; SPARKS, T. C.; WATSON, G. B.; SHEETS, J. J.; THOMPSON, G. D. Mechanism of resistance to spinosyn in the tobacco budworm *Heliothis virescens*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 96, p. 8–13, 2010.

ROGERS, D. J.; BRIER, H. B. Pest-damage relationships for *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) on soybean (*Glycine max*) and dry bean (*Phaseolus vulgaris*) during pod-fill. **Crop protection**, v. 29, p.47–57, 2010.

ROGERS, D. J.; BRIER, H. B. Pest-damage relationships for *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on vegetative soybean. **Crop Protection** 29 (1), p. 39–46, 2010.

ROOME, R. E. Field trials with a nuclear polyhedrosis virus and *Bacillus thuringiensis* against larvae of *Heliothis armigera* (Hb.) (Lepidoptera, Noctuidae) on sorghum and cotton in Botswana. **Bulletin of Entomological Research**, 65, p. 507–514, 1975.

ROWDEN, R. G. 1987. Response of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) to simulated insect attack. M. Agr. Sc. thesis, University of Queensland: Austrália.

SÁ, L. A. N.; MONTEIRO, R. C.; ZUCCHI, R. A.; PARRA, J. R. P.; FRANCO, A. L. J.; SUZUKI, C. T. Parasitismo de pragas de milho por *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 em condições de campo. In: **Resumos do 13o Congresso Brasileiro de Entomologia**: Recife, 1991.

SCHRODER, E. P.; LOECK, A. E. Avaliação do sistema de pulverização eletrostática aérea na redução do volume de calda e dosagem do herbicida glifosate. **Revista Brasileira Agrocência**, v. 12, p. 319–323, 2006.

SHARMA, H. C.; DHILLON, M. K.; ARORA, R. Effects of *Bacillus thuringiensis* δδ-endotoxin-fed *Helicoverpa armigera* on the survival and development of the parasitoid *Campoletis chloridae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 126, n. 1, p. 1–8, Jan. 2008.

SILVA, C. A. D.; RAMALHO, F. S.; MIRANDA, J. E.; ALMEIDA, R. P.; RODRIGUES, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. A. **Recomendações técnicas para o manejo integrado de pragas do algodoeiro no Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2013. 12p. (Embrapa Algodão. Circular técnica, 135).

SIVINSKI, J.; JERONIMO, F.; HOLLER, T. Development of Aerial Releases of *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), a Parasitoid That Attacks the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Weidemann) (Diptera: Tephritidae), in the Guatemalan Highlands. **Biocontrol Science and Technology**, 10, 15-25. 2000.

SMITH, R. H.; BASS, M. H. Soybean response to various levels of podworm, *Heliothis zea*, damage. **Journal of Economic Entomology** 65, 193-195. 1972.

SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D.R.; PAULAMORAES, S.V. de; YANO, A.C.S. Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 689-692, 2013.

SUN, X.; WANG, H.; SUN, X.; CHEN, X.; PENG, C.; PAN, D. Biological activity and field efficacy of a genetically modified *Helicoverpa armigera* SNPV expressing an insect-selective toxin from a chimeric promoter. **Biological Control**, San Diego, v. 29, n. 1, p. 124-137, Jan. 2004.

TABASHNIK, B. E., VAN RENSBURG, B. J., CARRIERE, Y. Field evolved insect resistance to *Bacillus thuringiensis* crops: definition, theory, and data. **Journal of Economic Entomology**. v. 102, p. 2011-2025, 2009.

THACKER, J.; RICHARD, M.; YOUNG, R. D. F. The effects of six adjuvants on the rain-fastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. **Pesticide Science**, v. 55, p. 198-199, 1999.

TIMSINA, J.; BOOTE, K. J.; DUFFIELD, S. Evaluating the CROPGRO soybean model for predicting impacts of insect defoliation and depodding. **Agronomy Journal** 99, p. 148-157, 2007.

TORRES-VILA, L. M.; RODRÍGUEZ-MOLINA, M.; LACASA-PLASENCIA, A.; BIELZA-LINO, P.; RODRÍGUEZ-DEL-RINCÓN, Á. Pyrethroid resistance of *Helicoverpa armigera* in Spain: current status and agroecological perspective. **Agriculture Ecosystems & Environment**. v. 93, p. 55-66. 2002.

USDA. Detection of Old World Bollworm (*Helicoverpa armigera*) in Florida. Disponível em: https://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/owb/downloads/DA-2015-43.pdf. Acesso em 20 fev. 2016.

VARELLA, A. C.; MENEZES-NETTO, A. C.; ALONSO, J. D. S.; CAIXETA, D. F.; PETERSON, R. K. D.; FERNANDES, O. A. Mortality Dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures in Maize. **PLOS ONE**, v. 22, p.1-12, 2015.

VAN HAMBURG, H. The inadequacy of egg counts as indicators of threshold levels for control of *Heliothis armigera* on cotton. **Journal of the Entomological Society of South Africa** v. 44, p. 289-295. 1981.

VILLAS BOAS, G. L.; CASTELO BRANCO, M.; MEDEIROS, M. A. Manejo integrado da Traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*) em sistema de produção integrada de tomate indústria (PITI), Embrapa: Brasília, 2009. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/ct_73_000gm7txpct02wx5ok0f7mv20vmfdxyh.pdf. Acesso em 15 fev. 2016.

WEN, C.; WU, D.; HU, H.; PAN, W. Pose estimation-dependent identification method for field moth images using deep learning architecture. **Biosystems Engineering**, v. 136, p. 117-128, 2015.

WELCH, K. L.; UNNITHAN, G. C.; DEGAIN, B. A.; WEI, J.; ZHANG, J.; LI, X.; TABASHNIK, B. E.; CARRIÈRE, Y. Cross-resistance to toxins used in pyramided *Bt* crops and resistance to *Bt* sprays in *Helicoverpa zea*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 132, p. 149-156, 2015.

WU, H.; XU, C.; HUANG, L-Q.; DONG, J-F.; WANG, C-Z. Specific olfactory neurons and glomeruli are associated to differences in behavioral responses to pheromone components between two *Helicoverpa* species. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 9, p. 01-11, 2015.

YENAGI, B. S.; PATIL, V. C.; BIRADAR, D. P.; KHADI, B. M. Refuge cropping systems for *Helicoverpa armigera* (Hubner) resistance management in *Bt* cotton (*Gossypium hirsutum*). **Academic Journal of Entomology**, v. 4, p. 102-107, 2011.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**, v. 32, p. 722-731, 2009.

ZHAO, Z. H.; OUYANG, F.; GE, F. Cropland expansion facilitated the outbreak of cereal aphids during 1951-2010 in China. **Science Bulletin**, v. 60, n. 11, p. 1036-1037, 2015.

Capítulo 6

RISCOS E OPORTUNIDADES: NEMATOIDES

Rafael Galbieri

rafaelgalbieri@imamt.com.br

IMAmt

João Flávio Veloso Silva

joao.veloso@embrapa.br

Embrapa Agrossilvipastoril

Carlos Manoel P. Vaz

carlos.vaz@embrapa.br

Embrapa Instrumentação

RESUMO. *Nematoides parasitas de plantas são considerados um dos grandes desafios da produção agrícola brasileira, principalmente em culturas de grandes extensões no Cerrado, como a soja e o algodoeiro. A intensificação da produção com a prática do duplo cultivo na mesma safra agrícola, associado a práticas inadequadas como a não adoção de rotação de culturas, proporcionou condições ideais para sobrevivência e multiplicação desses fitoparasitas, assunto que merece atenção especial de produtores e pesquisadores do tema. Este capítulo traz características das principais espécies de nematoides encontradas no Cerrado brasileiro associadas às monoculturas praticadas e de grande importância econômica, e os principais métodos de controle de nematoides que parasitam plantas — controle cultural, químico, biológico e por meio de melhoramento genético — serão discutidos. O cenário atual mostra que medidas mais intensivas e de forma integrada devem ser incorporadas ao sistema produtivo sob pena de insustentabilidade econômica e ambiental do agronegócio brasileiro. Existem tecnologias já disponíveis e outras potenciais em desenvolvimento, porém pesquisa direcionada e aporte de recursos financeiros são necessários para o avanço no uso de novas tecnologias e medidas de controle.*

1. INTRODUÇÃO

Os nematoides causam perdas anuais estimadas entre US\$ 100 bilhões e US\$ 157 bilhões na produção agrícola mundial (Singh *et al.*, 2013) e gastos anuais superiores a US\$ 500 milhões para o controle direto dos fitoparasitas. Somente nos Estados Unidos, as perdas causadas pelos nematoides são estimadas em US\$ 10 bilhões, para comparação, o controle de insetos custa US\$ 6,6 bilhões e US\$ 5,4 bilhões o de plantas daninhas (Hassan *et al.*, 2013). As porcentagens de dano, e consequentemente de perdas de produção por nematoides, são mais elevadas em condições de climas tropical e subtropical (14,6%), em comparação a regiões de clima temperado (8,8%) (Nicol *et al.*, 2011). Isso ocorre porque em regiões tropicais há maior diversidade de organismos, condições ambientais mais favoráveis para infecção, colonização, reprodução e dispersão desses patógenos, além da falta de mão de obra qualificada e recursos para pesquisas. Em geral, nematoides apresentam ciclo de vida mais curto em clima tropical, resultando em crescimento populacional rápido, quando comparado a condições de clima temperado (Luc *et al.*, 2005).

Mesmo com esses valores elevados, as perdas anuais podem ser maiores, pois em muitos países não há dados, em função da falta de especialistas na área de nematologia, além da dificuldade de mensurar esses valores pela interação complexa entre plantas, nematoides e outros microrganismos no solo (Singh *et al.*, 2013).

Um dos grandes desafios da ciência na agricultura é garantir o aumento da produção de alimentos sem ampliar a área cultivada (Waele & Elsen, 2007). Por exemplo, projeta-se que a África excederá os 2 bilhões de habitantes em 2050; esse aumento populacional implica em um volume de alimentos 50% superior se comparado à produção atual para os próximos 50 anos. No entanto, em algumas regiões do continente, a produção está estática ou até mesmo em declínio, por conta de problemas fitossanitários (Talwana *et al.*, 2015). Nesse contexto, a redução dos danos causados por patógenos, sobretudo na agricultura tropical, é uma das medidas mais rápidas e eficientes de contribuir para o aumento da produção mundial de alimentos e fibras (Waele & Elsen, 2007).

O nematoide-de-cisto é considerado o principal patógeno da cultura da soja; a estimativa de perdas na produção causadas por ele nos EUA varia de 3% a 7% (Kinloch, 1998). De acordo com Wrather & Mit-

chum (2010), estima-se perda anual ao redor de US\$ 1,29 bilhão de dólares somente naquele país. Para o cultivo de algodão nos Estados Unidos existem trabalhos recentes envolvendo o histórico de perda anual causada por nematoides que apontam para valores entre 4% e 5% da produção total (Weaver, 2015). Em meados dos anos 1980, a perda era de 2%; acredita-se que esse aumento tenha ocorrido por conta dos seguintes fatores: 1) melhor conhecimento dos produtores para a identificação de nematoides (portanto melhor reconhecimento do dano causado pela praga), 2) realização mais intensiva de amostragem e quantificação de nematoides no campo, 3) melhoria na metodologia da estimativa, 4) falta de rotação de culturas como ferramenta de manejo e 5) ausência total de cultivares com resistência genética a nematoides (Starr *et al.*, 2007). Na *Figura 1*, é possível observar as estimativas de perdas mundiais de produção registradas para diferentes culturas agrícolas.

No Brasil, não há informações organizadas sobre as perdas anuais causadas por nematoides; o que se tem são informações pontuais obtidas em ensaios experimentais, realizados em áreas sabidamente infestadas. A dificuldade de obter essa informação deve-se à migração recente da produção agrícola para o Cerrado brasileiro, associada ao

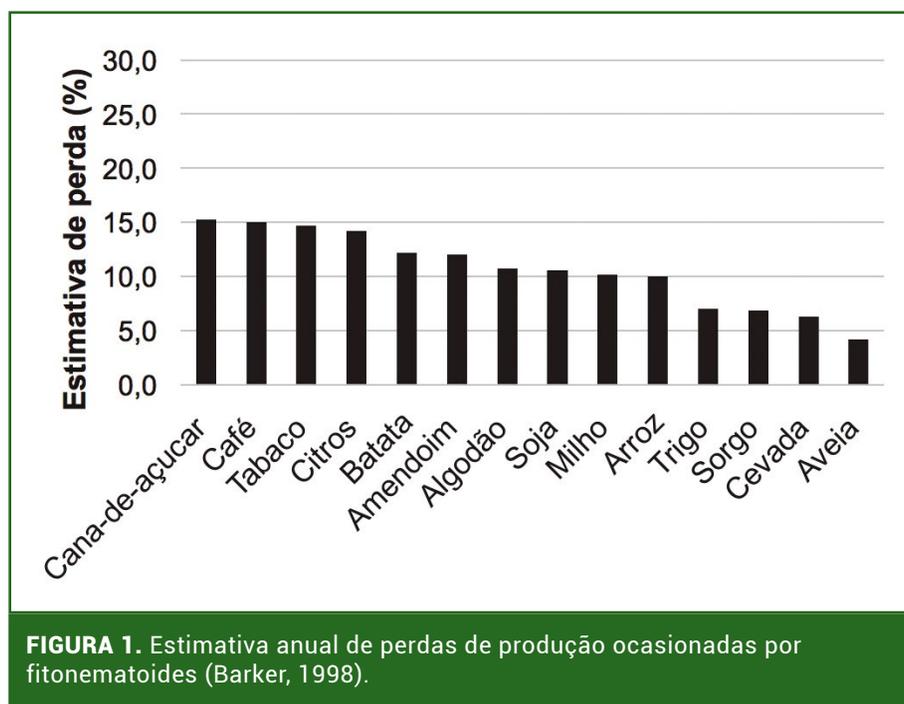


FIGURA 1. Estimativa anual de perdas de produção ocasionadas por fitonematoides (Barker, 1998).

fato de que as perdas causadas por fitonematoides são insignificantes em áreas de exploração agrícola recente. No entanto, mesmo não havendo números exatos, acredita-se que os valores sejam superiores aos relatos nos Estados Unidos, uma vez que as condições do Cerrado, tanto o clima como o modelo de produção, favorecem a disseminação e a multiplicação de nematoides.

Além desse quadro, fundos de pesquisa para agricultura em geral, e particularmente para a agricultura tropical, têm diminuído substancialmente, tanto em países desenvolvidos como nos em desenvolvimento. Os recursos são destinados à área nematológica normalmente têm como objetivo desenvolver projetos relacionados à mitigação dos prejuízos causados pela praga, uma vez que essa já se estabeleceu e atingiu níveis preocupantes. Em regiões tropicais, muitas vezes a falta de informação sobre os danos causados pelos nematoides favorece o cenário atual de escassez de recursos para o desenvolvimento de pesquisa no tema. Essa situação é agravada por características do parasita, como tamanho microscópico, sintomas atípicos — muitas vezes não específicos —, ocorrência de multiespécies, combinação com outros patógenos, associada à falta de treinamento para a identificação de nematoides (Waele & Elsen, 2007).

Além disso, como os patógenos estão inseridos no agroecossistema, seria interessante que os trabalhos de pesquisa considerassem-nos integrados aos demais componentes do sistema de produção para resultados mais práticos. Para isso, tornam-se necessárias pesquisas multidisciplinares, muitas vezes multi-institucionais, com arranjos de grupos de trabalho mais amplos. No presente capítulo, serão abordadas questões relacionadas aos nematoides voltadas para culturas extensivas do Cerrado brasileiro, como o algodoeiro e a soja.

2. OCORRÊNCIA DE FITONEMATOIDES NO CERRADO BRASILEIRO

Há mais de 4,1 mil espécies descritas de nematoides parasitas de plantas (Decraemer & Hunt, 2006). De acordo com Singh *et al.* (2013), é possível selecionar 250 espécies, distribuídas em 43 gêneros, com alto potencial fitossanitário mundialmente.

Na cultura do algodoeiro, são relatadas cinco espécies causadoras de danos expressivos na produção: *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, *Pratylenchus brachyurus*, *Hoplolaimus columbus* e *Belonolaimus longicaudatus* (Bridge, 1992). No Brasil, estão presentes somente

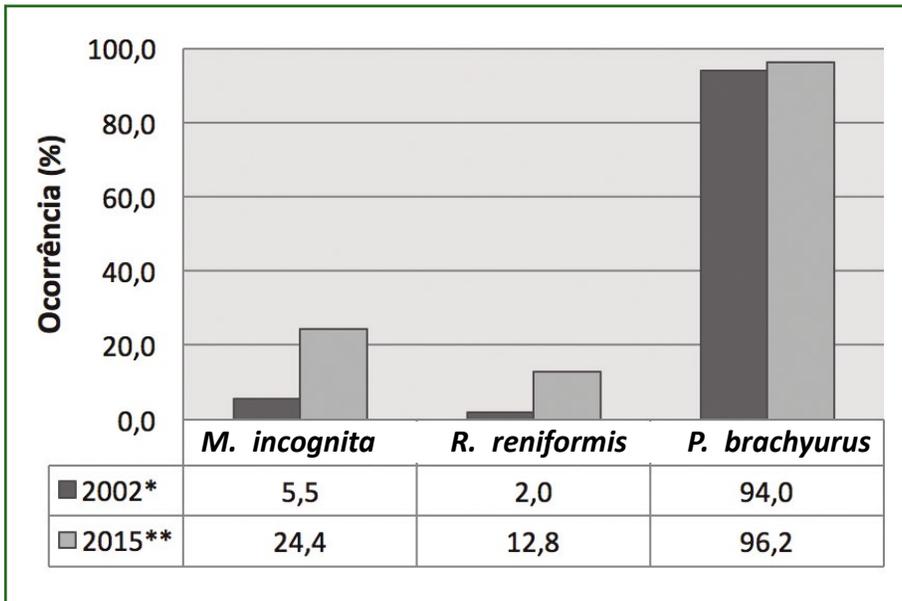


FIGURA 2. Ocorrência média das espécies de nematoide associadas à cultura do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. Dados comparativos entre dois projetos de levantamento sistemáticos realizados em Mato Grosso (Silva *et al.*, 2003; Galbieri *et al.*, 2016).

as três primeiras. Trabalho recente realizado no Estado de Mato Grosso mostra a ocorrência dessas espécies em área de produção de algodão, em comparação a outro trabalho semelhante, realizado 12 anos antes (Figura 2). Observa-se aumento na ocorrência de *M. incognita* e *R. reniformis* entre 5 e 6 vezes no período. No geral, *M. incognita*, *R. reniformis* e *P. brachyurus* ocorrem em 24,4%; 12,8% e 96,2% das áreas do Estado, respectivamente.

Em outro trabalho, realizado em 2014 no Oeste da Bahia, na cultura do algodoeiro, Lopes (2015) confirmou a presença dos nematoides das espécies *M. incognita*, *Rotylenchulus* e *Pratylenchus* nas frequências de 18,7%, 16% e 82,7%, respectivamente.

No mundo todo, mais de cem espécies de nematoides já foram associadas à cultura da soja. No Brasil, as que causam mais danos são *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Heterodora glycines*, *P. brachyurus* e *R. reniformis*. No caso de *Meloidogyne*, a importância vem da ocorrência endêmica em diversas regiões produtoras do país. Para o nematoide-decisto, atribui-se ao fato de sua elevada variabilidade genética. Já para *P. brachyurus* e *R. reniformis*, o risco de dano pode surgir em função do au-

mento populacional expressivo dos parasitas em áreas intensivamente cultivadas com culturas suscetíveis (Dias *et al.*, 2010).

De acordo com trabalhos realizados no Oeste da Bahia em área de produção de soja, a frequência de ocorrência de nematoide em áreas de cultivo foi: 85,4% de *Pratylenchus*, 9,3% de *R. reniformis*, 6,7% de *H. glycines* e 18,7% de *Meloidogyne*. A distribuição de espécies para o nematoide-das-galhas foi de 77% de *M. javanica*, 30,7 % de *M. incognita* e 7,7% de ocorrência mista (Lopes, 2015). No Estado de Mato Grosso, essa ocorrência foi de 23,5% de *Meloidogyne*, 35% de *H. glycenis*, 96% de *P. brachyurus* e 3,7% de *R. reniformis* (Ribeiro *et al.*, 2010).

No geral, a frequência de ocorrência e a população dos principais nematoides das culturas da soja e do algodoeiro vêm aumentando consideravelmente nas áreas de produção agrícola do Cerrado brasileiro. A *Figura 3* mostra as populações médias dos fitonematoides selecionados em áreas de produção de algodão no Estado de Mato Grosso. Nos casos de *M. incognita* e *R. reniformis*, é possível observar populações médias no solo muito acima do nível de dano estabelecido para a cultura. Esses relatos são importantes tanto para orientar

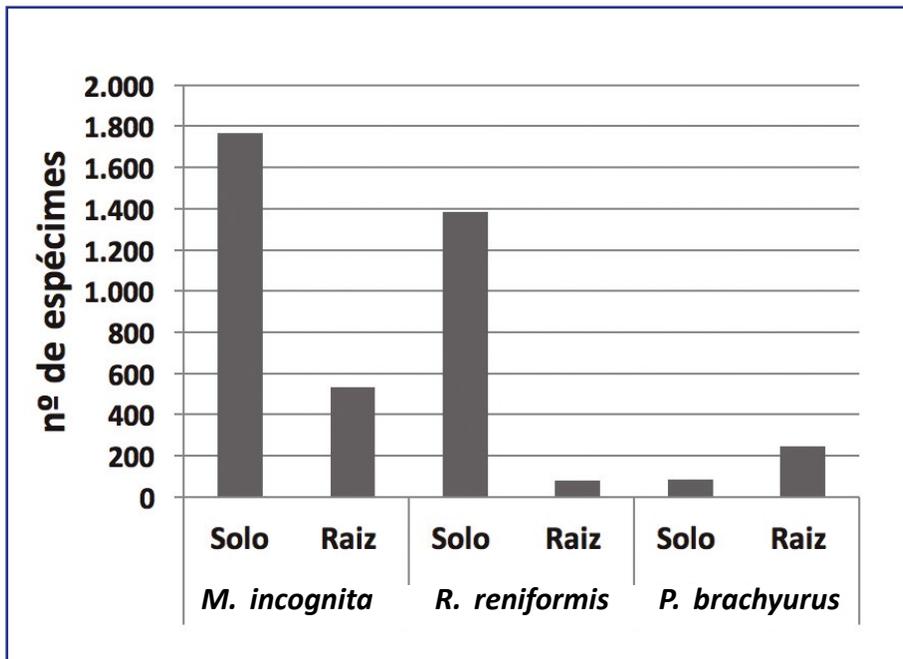


FIGURA 3. Números médios de espécimes de nematoides em amostras coletadas na cultura do algodoeiro (Galbieri *et al.*, 2016).

medidas de manejo em áreas infestadas, como para nortear linhas de pesquisas básicas e aplicadas em função dos problemas apresentados.

3. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE FITONEMATOIDES NO BRASIL

As principais espécies de fitonematoides no Cerrado são *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines*. A soja é hospedeira de todas essas espécies; o algodoeiro, das três primeiras. A seguir, serão relatadas algumas características dessas espécies.

3.1 MELOIDOGYNE

O gênero *Meloidogyne* é considerado o mais importante entre os nematoides parasitas de plantas cultivadas (Jones *et al.*, 2013). Segundo Sasser (1980), um dos maiores obstáculos à produção de alimentos e fibras no mundo é o parasitismo dos nematoides-das-galhas. Embora próximo de cem espécies de *Meloidogyne* tenham sido descritas até o momento (Jones *et al.*, 2013; Noe, 2010), aproximadamente 95% dos prejuízos causados à agricultura no mundo pelos nematoides-das-galhas resultam dos ataques de quatro delas: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla* (Moura, 1996; Noe, 2010).

Duas espécies de *Meloidogyne* são parasitas do algodoeiro, *M. incognita* e *M. acronea*. Porém, apenas a primeira apresenta importância global, com ocorrência em praticamente todas as regiões produtoras de algodão e causando danos relevantes à produção de fibra mundial (Bridge, 1992).

Por meio de hospedeiros diferenciadores, é possível separar quatro raças em *M. incognita* (raças 1, 2, 3 e 4); as raças 3 e 4 são patogênicas ao algodoeiro. Ambas têm distribuição mundial, porém a raça 3 é a mais comum no algodão no Brasil. A cultura da soja é hospedeira dessas quatro raças de *M. incognita* (Dias *et al.*, 2010), mas *M. javanica* é a espécie mais frequente em áreas de produção, sendo, entretanto, não patogênica ao algodoeiro. Em áreas tradicionais de produção com a cultura da soja sem plantio de algodoeiro, a predominância é de *M. javanica*.

A ocorrência de *Meloidogyne* está quase sempre associada a clima quente, apresentando faixa ideal de temperatura para seu desenvolvimento de 25°C a 30°C. Outro fator importante que influencia a ocorrência é a textura do solo; diferentes trabalhos mostram que os

nematoides-das-galhas apresentam grande preferência por solos arenosos e médio-argilosos (Asmus, 2015). Uma característica importante do nematoide-das-galhas é sua capacidade de sobreviver no ambiente na ausência da planta hospedeira principal. Nessa condição, o nematoide pode sobreviver de 6 a 12 meses (Starr, 1998).

Já foram relatadas inúmeras interações envolvendo nematoide-das-galhas do algodoeiro e fungos de solo (Starr, 1998). O complexo mais conhecido é o que ocorre entre *M. incognita* e o patógeno causador da murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*). O efeito do nematoide não é apenas o de facilitar a penetração, mas também de predispor fisiologicamente o hospedeiro à atuação do fungo (DeVay *et al.*, 1997). No Cerrado, a murcha de fusarium foi detectada pela primeira vez no Estado de Mato Grosso em 2003 (Machado *et al.*, 2003) e atualmente tem incidência de 3% da área de produção de algodão do Estado em áreas com incidência de nematoide-das-galhas (Galbieri *et al.*, 2016).

Os nematoides-das-galhas são endoparasitas sedentários. Induzem a formação de sítio de alimentação na região do estelo, causando modifi-



FIGURA 4. Sintomas de galha causados por *M. incognita* raça 3 em algodoeiro (fonte: Rafael Galbieri).

cações celulares, como a indução do aumento da divisão e multiplicação celular no córtex da raiz, próximo do sítio de alimentação, resultando em galhas, principalmente nas raízes laterais (*Figura 4*). O parasitismo de *M. incognita* inibe ou bloqueia a translocação de água e nutrientes, bem como resulta em menor desenvolvimento radicular, sendo comum a observação de mosqueamento de coloração amarela nas folhas.

3.2 ROTYLENCHULUS RENIFORMIS

R. reniformis é considerado um dos principais problemas fitossanitários do algodoeiro. Sua importância vem crescendo mundialmente, sobretudo nos últimos anos (Asmus *et al.*, 2015). No Brasil, são visíveis o aumento populacional e os danos causados pelo nematoide, principalmente nas condições do Cerrado, em áreas cultivadas com soja e algodoeiro.

Uma das características relevantes que tornam o nematoide reniforme um dos principais parasitas de plantas cultivadas mundialmente é que a espécie apresenta grande capacidade de sobrevivência na ausência do algodoeiro, não somente por ser uma espécie polífaga, mas principalmente em função da presença de diferentes mecanismos que lhe possibilitam essa importante habilidade, como a capacidade de entrar em estado de anidrobiose e também a possibilidade de ter populações elevadas em maiores profundidades, como em 40-120 cm (Robinson, *et al.*, 2005), ficando menos sujeito a variações ambientais, principalmente em período de estiagem.

Na ausência de plantas hospedeiras, o nematoide pode sobreviver por até dois anos (Asmus *et al.*, 2015). Ele pode ser encontrado em diversos tipos de solo, porém apresenta uma tendência para os de textura fina, siltosos ou argilosos (Robinson *et al.*, 1997). No Brasil, a cultura do algodoeiro é, sem dúvida, a que sofre maiores prejuízos em função do nematoide reniforme.

Na cultura da soja, o nematoide reniforme vem se destacando sobretudo nas regiões centro-sul de Mato Grosso do Sul e Sul de Mato Grosso. Já foram evidenciadas perdas de até 32% do rendimento de soja em áreas infestadas (Asmus *et al.*, 2003). Mesmo o algodoeiro sendo a cultura mais afetada, a soja, dependendo da densidade populacional do nematoide infectando suas raízes (*Figura 5*), pode sofrer danos consideráveis.



FIGURA 5. Ampliação de raízes de soja infectadas com *Rotylenchulus reniformis*. Detalhe para parte posterior da fêmea do nematoide (estrutura de coloração branco-leitosa em forma de rim) (fonte: Rafael Galbieri).

3.3 HETERODERA GLYCINES

O nematoide-de-cisto da soja foi descrito pela primeira vez em 1952. Nos EUA, o nematoide foi inicialmente detectado no Estado da Carolina do Norte, em 1954, apresentando-se atualmente mais de 26 estados daquele país (Kinloch, 1998). No Brasil, seu primeiro relato foi em 1991/92 (Lima *et al.*, 1992), e a espécie distribuiu-se atualmente em cerca de 150 municípios de dez estados brasileiros (Dias *et al.*, 2010). No Cerrado, dependendo do nível da densidade populacional do nematoide no solo e associado a excesso de calagem, as perdas podem chegar a 100% (Dias *et al.*, 2009).

O gênero *Heterodera* caracteriza-se pela formação de cistos (Figura 6). Essa estrutura é o corpo da fêmea morta, inicialmente de cor amarelada e posteriormente de cor marrom, altamente resistente às condições adversas do ambiente e contendo, em média, 300 ovos. O cisto constitui a mais eficiente unidade de dispersão do nematoide por ser



FIGURA 6. Ampliação de raízes de soja infectadas com *H. glycyces*. Detalhe dos cistos de cor amarelada aderidos às raízes da planta (fonte: Rafael Galbieri).

uma estrutura leve e resistente. Assim, qualquer meio que promova o movimento do solo, seja por ações de implementos agrícolas, homem, animais domésticos e selvagens, vento, água de chuva e irrigação, podem ser passíveis de disseminação do nematoide (Dias *et al.*, 2010).

O ciclo de vida do nematoide pode ser influenciado por vários fatores, porém, com temperaturas médias entre 22°C a 29°C, o ele atinge a maturidade em três semanas. Assim, em soja de ciclo tardio é possível a ocorrência de seis a sete gerações.

Uma característica marcante desse nematoide é sua alta variabilidade genética. Populações de campo apresentam variação quanto à capacidade de parasitar determinadas cultivares de soja. Isso é ainda mais evidente nas condições do Brasil, comparativamente com áreas de produção dos EUA. As raças já relatadas no Brasil foram: 1, 2, 3, 4, 4+, 5, 6, 9, 10, 14 e 14+ (Dias *et al.*, 2010). Programas de melhoramento genético dessa cultura no país focaram a incorporação de genes de resistência usando fontes basicamente para raças 3 e 1, pondo à disposição cultiva-

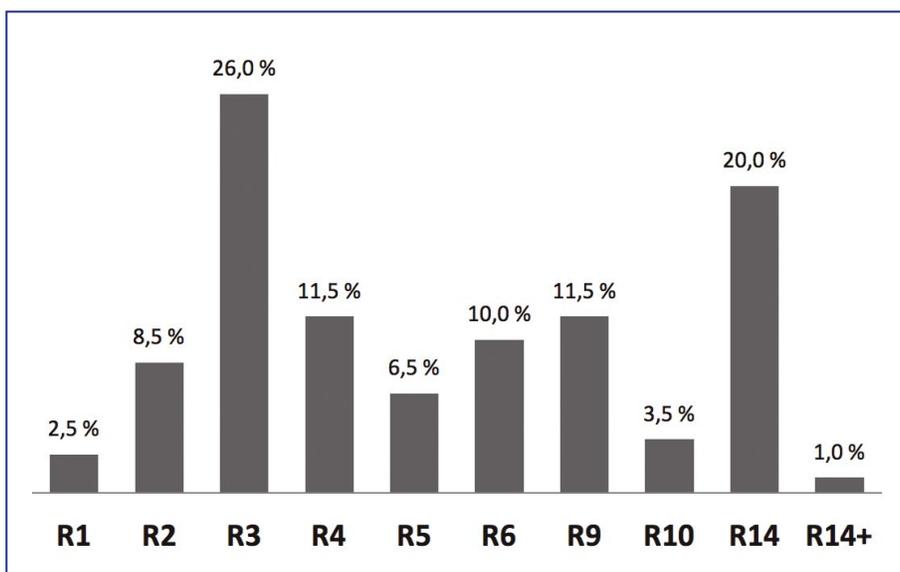


FIGURA 7. Frequência (%) de distribuição de raças do nematoide-de-cisto da soja (*Heterodera glycines*) no Estado de Mato Grosso (Ribeiro et al., 2010).

res comerciais com essa característica há tempos. Porém, com a grande utilização de cultivares que contêm a resistência somente para essas raças, sem rotação de cultura ou de resistência, vem ocorrendo uma forte pressão de seleção para novas raças em áreas agrícolas. Como exemplo, podemos visualizar na *Figura 7* a distribuição de frequência de raças em trabalhos realizados no Estado de Mato Grosso (Ribeiro et al., 2010). É possível constatar o aumento de outras raças, sobretudo na região Norte do Estado, com destaque para a raça I4.

3.4 PRATYLENCHULUS BRACHYURUS

O gênero *Pratylenchulus* é considerado entre o segundo ou terceiro mais importante pelos impactos econômicos mundiais que causa às culturas agrícolas, sendo superado somente pelo nematoide-das-ga-lhas e de cisto (*Heterodera* e *Globodera*) (Goulart, 2008; Jones et al., 2013).

A espécie *Pratylenchulus brachyurus*, conhecida como nematoide-das-lesões radiculares, apresenta maior ocorrência em área de produção de algodão e soja no Brasil, principalmente nas condições do Cerrado. No entanto, as perdas de produção de algodão no país não são muito claras, indicando que, por mais que o algodoeiro seja hospedeiro

ao nematoide, apresenta também boa tolerância (Inomoto *et al.*, 2001). É possível que, em alta densidade populacional e de forma indireta, associado a outros fatores — como estresse hídrico, compactação, deficiência nutricional etc. —, os danos sejam mais expressivos.

Das dez espécies de *Pratylenchulus* já identificadas no Brasil, somente *P. brachyurus* apresenta relevância para a soja. Por não haver medidas consorciadas para seu controle, o nematoide vem preocupando os produtores de soja no Brasil Central. Como há necessidade de populações mais altas para observar danos expressivos à cultura, houve um atraso na concepção de importância desse nematoide para a soja. O modelo de produção utilizado no Brasil Central como sistema de monocultura, com o plantio da soja seguido de culturas de segunda safra, também suscetível ao nematoide, vem proporcionando aumento populacional do parasita. Além disso, houve avanço de plantios em áreas com textura de solo mais arenosa, o que auxilia o parasitismo. Nas áreas com altas densidades populacionais do nematoide, as reduções na produtividade de soja podem chegar a 30% (Dias *et al.*, 2010; Inomoto *et al.*, 2001).

A ocorrência de *P. brachyurus* é favorecida por temperaturas em torno de 30°C e solos com textura média de 15-25% de argila (Asmus *et al.*, 2015). O nematoide tem grande capacidade de sobrevivência na ausência da cultura principal. Como endoparasitas migradores, os nematoides-das-lesões radiculares destroem tecidos das raízes, causando rompimento superficial e destruição interna, predispondo-os a infecções secundárias de fungos e bactérias (Goulart, 2008).

4. SISTEMA DE PRODUÇÃO E POPULAÇÃO DE FITONEMATOIDES

Por serem parasitas obrigatórios, fitonematoides necessitam de plantas vivas para sua alimentação. Quando não as há no ambiente, os nematoides utilizam mecanismos de sobrevivência pertencentes às espécies que permitem sua manutenção sem aumento populacional. No plantio, normalmente a população de fitonematoides é baixa, aumentando com o passar do tempo até alcançar seu auge, o que acontece após o florescimento das plantas. Durante o período pós-colheita, a população diminui gradativamente durante a entressafra até o próximo plantio. Essa dinâmica normalmente ocorre quando há um plantio por safra, seguido de um período de pousio ou uma cultura de cobertura não hospedeira do nematoide.

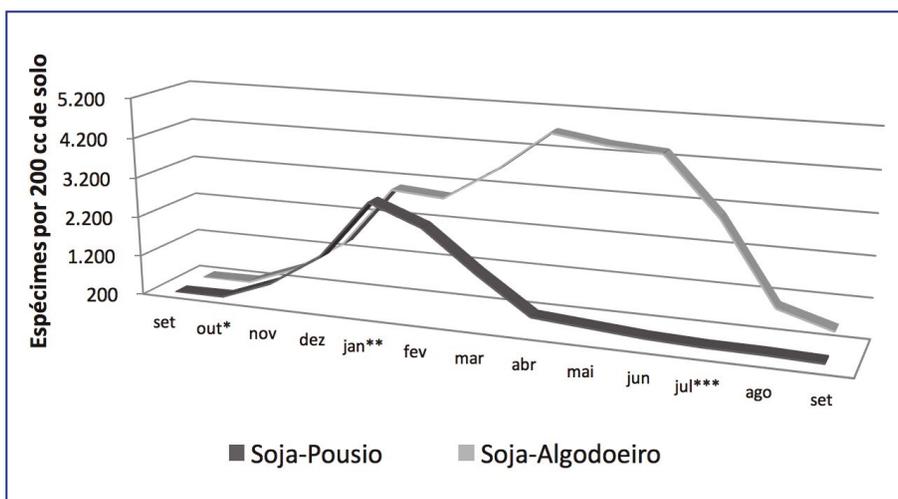


FIGURA 8. Dinâmica populacional de *M. incognita* (número de espécimes em 200 cm³ de solo) em dois diferentes sistemas de produção em Campo Verde/MT. *Outubro: plantio da soja (suscetível a *M. incognita*); **janeiro: colheita da soja e plantio do algodoeiro (suscetível a *M. incognita*); ***julho: colheita do algodoeiro (Lamas *et al.*, 2016).

Essa dinâmica populacional pode ser influenciada dependendo do sistema de produção empregado. Exemplo pode ser visualizado na *Figura 8*, com dados obtidos em área infestada por *M. incognita*. Nesse caso, é possível verificar diferenças nas densidades populacionais, dependendo da prática agrícola utilizada após a colheita da soja suscetível ao nematoide. Quando o pousio é respeitado, a população diminui drasticamente da colheita até a época de plantio do próximo ano. Já no sistema de sucessão soja-algodoeiro, a população continua aumentando no algodoeiro plantado imediatamente após a colheita da soja, refletindo em uma população inicial para a próxima safra maior comparada com o sistema de pousio (Lamas *et al.*, 2016). Essa dinâmica pode servir como exemplo para *R. reniformis* e *P. brachyurus* com utilização de cultivares suscetíveis, pois ambas as culturas (soja e algodoeiro) são hospedeiras dessas espécies. Atualmente, 70% do algodoeiro plantado no Estado de Mato Grosso segue esse processo de sucessão após a soja (Imea, 2016).

5. MANEJO DE NEMATOIDES

Problemas relacionados aos fitonematoides na cultura da soja e do algodoeiro vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos. O primeiro passo no manejo desses parasitas é a identificação correta e o monitoramento populacional nos campos de produção. Em seguida, são necessárias medidas de manejo (tomadas de decisão) que realmente levem em consideração a densidade populacional dos nematoides, independentemente dos demais fatores de produção. A seguir, são apresentadas algumas medidas de controle que podem ser utilizadas no manejo de áreas infestadas. A *Figura 9* apresenta uma síntese de diferentes procedimentos de controle e suas estimativas de impacto na redução da população de nematoides no campo.

Obviamente, o melhor método é a **exclusão**, ou seja, impedir a entrada de nematoides em uma área isenta do parasita. Diferentes medidas podem auxiliar nesse método, como limpeza de implementos agrícolas antes de trabalhos em áreas sem ocorrência de nematoides ou mesmo envolvendo a macrodistribuição de uma espécie, com atuação governamental na elaboração de normas fitossanitárias para conter a disseminação de uma espécie em uma região.

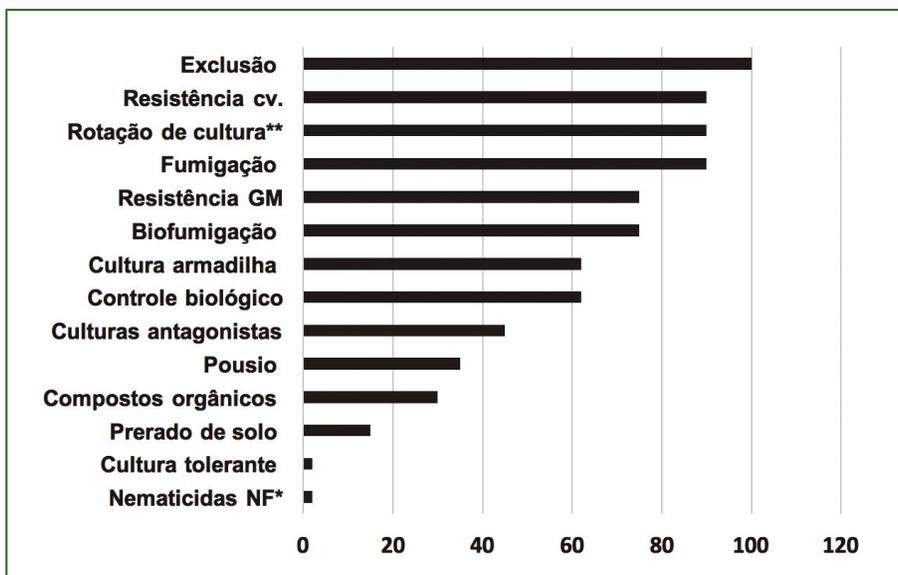


FIGURA 9. Estimativa do máximo nível de controle (%) de fitonematoides de acordo com as práticas de manejo. *Não fumigante; **rotação com espécies não hospedeiras (Talwana *et al.*, 2015).

Identificada a presença do nematoide na área, outras medidas deverão ser tomadas. Dentre elas, o método **cultural** apresenta alta potencialidade de controle. Os métodos de manejo cultural de fitonematoides são aqueles em que as práticas agrícolas — preparo de solo, adubação, sucessão, rotação de culturas etc. — são direcionadas para controlar ou reduzir a população de nematoides, com o objetivo de diminuir sua ação sobre as plantas cultivadas. Dessas práticas, a mais antiga e de eficiência comprovada é a rotação de cultura com espécies não hospedeiras. Basicamente, sua ação de controle deve-se à redução da população inicial (P_i) de nematoide, bem como à preservação ou favorecimento da ação de agentes antagonistas contra os parasitas. De acordo com Rodríguez-Kábana e Ivey (1986), uma boa rotação de cultura pode tanto reduzir drasticamente a população de nematoide como aumentar consideravelmente a produção da cultura.

Existe uma série de culturas que poderiam ser utilizadas em condições tropicais para redução de populações de nematoides. Porém, faltam estudos fitotécnicos de adaptação e produção dessas plantas no Brasil. Deve-se lembrar que a sucessão de cultura com plantas não hospedeiras de nematoide não configura uma estratégia de manejo com foco na diminuição de população de nematoide, mas são utilizadas culturas não hospedeiras, como a crotalária, que certamente não proporcionará a multiplicação de nematoide no período, além de favorecer as condições físico-químicas e biológicas do solo. Nesse contexto, produtores utilizam diferentes estratégias de sucessão de culturas sem as informações técnicas necessárias para avaliar o real efeito destas no sistema produtivo. Para que a agricultura brasileira avance, há ainda necessidades básicas de pesquisa e extensão dentro do tema considerando a aplicação efetiva de práticas de sucessão de culturas (*Figura 10*).

Ainda com relação às práticas culturais, deve-se atentar ao efeito dos parâmetros físicos e químicos do solo na densidade populacional de fitonematoides. Em um trabalho recente realizado na cultura do algodoeiro, verificou-se que cerca de 20% da área de produção no Estado de Mato Grosso apresenta-se com sintomas de compactação do solo (Galbieri *et al.*, 2016). Adicionalmente, observam-se correlações significativas entre densidade populacionais dos principais fitonematoides do algodoeiro com os atributos físicos do solo, como textura (teores de areia, silte e argila), resistência do solo à penetra-



FIGURA 10. Exemplo de áreas de experimentação com culturas de sucessão na região de Primavera do Leste/MT (foto: Rafael Galbieri).

ção (RP), umidade (θ) e densidade (*Figura 11*). Essa constatação indica a possibilidade de mapear o solo — baseado na medida direta desses parâmetros ou indiretamente, como sensoriamento remoto ou pela medida da condutividade elétrica aparente do solo — em grande escala, auxiliando na identificação de nematoides ou manchas com maior probabilidade de sua ocorrência, visando manejo sítio-específico com aplicação localizada de insumos (agricultura de precisão), conforme sugerido por Ortiz *et al.* (2012). Da mesma forma, os atributos químicos do solo influenciam na densidade populacional dos nematoides, como relatado por Debiasi *et al.* (2014) e Pettigrew *et al.* (2005), dentre outros. Isso mostra que não se deve estudar o problema dos nematoides de forma separada, mas de forma integrada, de modo que os resultados sejam mais efetivos e de aplicação prática.

Outro método eficiente para o controle de fitonematoides é o **genético**. A adoção de cultivares resistentes reduz a população de ne-

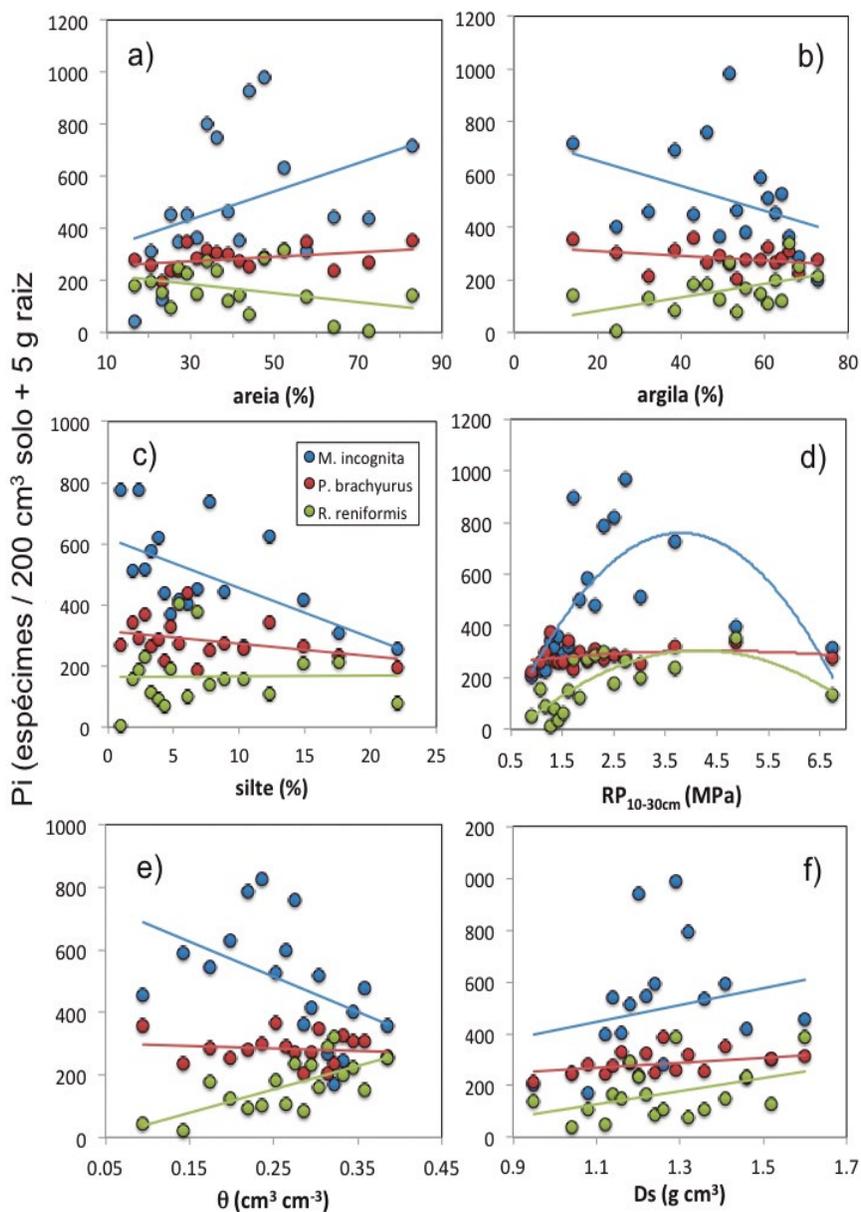


FIGURA 11. Variação das densidades populacionais (Pi) dos fitonematoides *M. incognita*, *P. brachyurus* e *R. reniformis*, em função dos parâmetros físicos do solo: textura (% de areia, silte e argila), resistência à penetração na camada 10-30 cm de profundidade ($RP_{10-30cm}$), umidade do solo no momento da coleta das amostras (θ) e densidade do solo (D_s) (Galbieri *et al.*, 2016).



FIGURA 12. Raízes de algodoeiro com sintomas de galha em área infestada por *M. incognita*. À esq., planta resistente e, à dir., suscetível ao nematoide (fonte: Rafael Galbieri).

matoides com eficiência superior a 90% em comparação a cultivares suscetíveis. Para os nematoides *Meloidogyne*, *R. reniformis* e *H. glycines*, já há fontes de resistência na soja e no algodoeiro (galhas e reniforme). Por muito tempo, o maior obstáculo para o desenvolvimento de cultivares altamente resistentes relacionava-se à falta de um método rápido e eficiente para a seleção de genótipos em programa de melhoramento, uma vez que a avaliação da resistência considerava apenas a reprodução do nematoide (Trudgill, 1991). Com a descoberta de marcadores moleculares ligados a genes de resistência, programas de melhoramento começaram a dar mais ênfase ao desenvolvimento de genótipos resistentes (Roberts & Ulloa, 2010).

Entretanto, o uso contínuo de variedades com as mesmas fontes de resistência pode acelerar a pressão de seleção de nematoides e comprometer a durabilidade da resistência. Por isso, é essencial a prospecção de novas fontes que, preferencialmente, combinem diferentes genes de resistência. Isso é evidente para o nematoide de cisto na soja; as pesquisas estão direcionadas mais intensivamente para incorpora-

ção de diferentes genes de resistência para diferentes raças do parasita (Figura 13).

Ao contrário de *R. reniformis* e *M. incognita*, a resistência da soja e do algodoeiro a *Pratylenchus brachyurus* não foi determinada até o momento. Estudos mostram que há variabilidade na reação das variedades brasileiras ao nematoide, porém, apenas observa-se fator de reprodução mais baixo, mas não essencialmente resistência.

O método **químico** é uma ferramenta muito utilizada para o controle de nematoides. Como exemplo, nos EUA, em 2010, foi utilizado o nematicida aldicarb em 16% da área total de produção de algodão do País, com aproximadamente 400 mil kg/ano (Weaver, 2015). Os nematicidas são classificados de acordo com sua movimentação no solo como fumigantes e não fumigantes ou por sua composição física, química ou biológica.

No Brasil, o manejo de nematoides em culturas extensivas, como o algodoeiro e soja, é feito basicamente pela utilização de nematicidas via tratamento de sementes ou aplicação no sulco de plantio. O controle químico apresenta maiores efeitos quando associado ao uso de outros métodos de controle, como genético e/ou cultural, dentro do manejo integrado de nematoides. Os produtos que vêm sendo utiliza-



FIGURA 13. Diferença no desenvolvimento entre variedade com resistência a múltiplas raças do nematoide de cisto (à esq.) e variedade somente com resistência às raças 1 e 3 (à dir.). Campo com maior frequência da raça 5 do nematoide de cisto (foto: Alfeo Trecenti).

dos no Brasil são basicamente organofosforados e avermectinas, mas há outros em fase de teste final e registro, como a base em fluoroalkenyle e carboxamida (Machado, 2016). Empresas de pesquisa, na maioria multinacionais, estão trabalhando no desenvolvimento de produtos que possam ser utilizados nos sistemas de cultivo brasileiros diante do avanço dos problemas ocasionados por nematoides no país.

Por conta do elevado custo dos nematicidas químicos e da ocorrência em forma de agregados — “reboleiras” — no campo, tecnologias que permitam identificar essa heterogeneidade de distribuição e possíveis mapas de controle ou manejo localizado na área estão sendo desenvolvidas. O objetivo é utilizar nematicidas somente onde a população estiver acima do nível de dano. Por exemplo, nas áreas em que as reboleiras representem 5-10% da área total não se justifica uma aplicação geral. Com aplicações variáveis de nematicidas, é possível economizar 90% do produto, garantindo benefícios econômicos e ambientais no manejo da praga.

Em função da variabilidade ambiental e suas interações, a resposta de controle com a utilização de nematicidas não é homogênea. Embora o número de produtos disponíveis no mercado ainda seja pequeno, houve algum avanço e hoje encontramos algumas opções de nematicidas químicos. Com isso, é muito importante que a escolha de um produto seja baseada em informações de pesquisas desenvolvidas, preferencialmente, nas regiões de sua utilização. Porém, ainda há muito a ser feito, principalmente no estudo das interações do efeito do tratamento químico com outros métodos de controle nas condições de produção brasileira.

A utilização do controle **biológico** de nematoides tem como objetivo a redução total ou parcial da população do patógeno pelo uso de outros organismos que ocorrem na natureza. Há diversas vantagens na utilização desse método com relação ao químico, como baixo custo, fácil aplicação, segurança ao meio ambiente, não deixa resíduo nos produtos colhidos, não causa desequilíbrio no solo e não favorece a pressão de seleção de populações resistentes de nematoides. No Brasil, recentemente, uma série de empresas iniciaram trabalhos para a obtenção de produtos eficientes e viáveis no controle de nematoides nas grandes culturas. No entanto, ainda são necessários estudos voltados para o desenvolvimento e protocolos de uso da tecnologia, uma vez que se trata de organismos vivos, que estão sujeitos às intempéries e às manipulações. Adicionalmente, outros agentes poderão ser prospectados, bem

como formulações mais eficientes e tecnologias de aplicação, preferencialmente associados a outros métodos de controle. Dentre os agentes de controle biológicos de nematoides, pode-se citar: *Paecilomyces lilacinus*, *Pochonia chlamydosporia*, *Pasteuria* spp., *Bacillus* spp.

Por fim, existem tecnologias para o controle de nematoides em diferentes estágios de pesquisa e desenvolvimento. Por muito tempo, a transferência de genes de resistência entre espécies ou espécies relacionadas foi explorada para incorporar essa característica em variedades comerciais. Recentemente, a biotecnologia também vem contribuído com esse processo por meio da seleção assistida por marcadores moleculares. Da mesma forma, e de modo crescente, o conhecimento de genes-alvo e passíveis de exploração utilizando a tecnologia da transgenia vem se tornando realidade (McCarter, 2009). O avanço da engenharia genética e de técnicas de biologia molecular torna possível explorar aspectos específicos da interação planta-nematoide para desenvolver medidas de controle que incluem: prevenção da invasão de nematoides, redução da migração de nematoides pelos tecidos da planta, prevenção de estabelecimento ou redução da capacidade de alimentação e fecundidade.

Recentemente, a interferência por RNA (RNAi) tem mostrado-se como a principal opção ao controle de pragas e nematoides. O mecanismo celular responsável pelo silenciamento gênico pós-transcricional leva a produção de plantas transgênicas expressando dsRNA correspondente aos genes-alvo de nematoides ou administração ectópica de moléculas de dsRNA similar aos genes-alvo. O dsRNA é reconhecido pela maquinaria de silenciamento e resulta na depleção de transcritos e proteínas-alvo, causando a perda da função gênica e consequentemente enfraquecendo a infecção e o desenvolvimento do nematoide.

Novas técnicas promissoras de edição do genoma preveem modificações direcionadas a sequências específicas do genoma; essas técnicas podem permitir a modificação da expressão de genes existentes ou introduzir modificações em nucleotídeos (CRISPR/Cas9). O desenvolvimento dessas técnicas de edição pode levar à modificação de genes da planta e conferir resistência, por exemplo, pela alteração da expressão de genes vitais à formação de sítios de alimentação. No geral, o futuro da biotecnologia aplicada à nematologia será dependente dos investimentos realizados na área e do valor das soluções comerciais entregues aos produtores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalhos de monitoramento das populações de nematoides vêm sendo realizados sistematicamente nas áreas de produção extensivas do Brasil. Os resultados apontam para um cenário preocupante, com aumento da incidência e do nível populacional das principais espécies fitoparasitas. Isso vem associado ao sistema de produção em monocultura, frequentemente com a prática de duas safras por ano com cultivares suscetíveis. Mesmo que mundialmente tenham sido intensificadas as pesquisas na área, a obtenção de informações e produtos para o controle de fitonematoides no Brasil ainda é menor do que o aumento do problema. Isso configura um risco para a produção agrícola brasileira, que impõe urgência na incorporação de novas tecnologias para seu controle, sob pena de insustentabilidade econômica do agronegócio, principalmente em culturas de escala, como a soja e o algodoeiro na região do Cerrado. Há necessidade de investimentos e, sobretudo, planejamento e mobilização dos agentes de produção para ações direcionadas nas condições de produção agrícola tropical, envolvendo diferentes áreas e instituições com otimização de recursos e mão de obra para combater o problema.

Referências

ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A.; GALBIERI, R. Manejo de nematoides. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. Abrapa, Brasília, p. 445-483, 2015.

ASMUS, G. L.; RODRIGUES, E.; ISENBERG, K. Danos em soja e algodão associados ao nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) em Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 24, 2003, Petrolina. **Anais...**: Embrapa Semi-Árido, p.169, 2003.

BARKER, K. R. Introduction and synopsis of advancements in nematology. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. **Plant and Nematode Interactions**. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, p. 1-20, 1998.

BRIDGE, J. Nematodes. In: HILLOCKS, R. J. (ed). **Cotton disease**. CAB International: Londres, Reino Unido. p. 331-353, 1992.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Monitoramento da acidez do solo e do nematoide das lesões radiculares em lavouras de soja no Mato Grosso. XXXIV Reunião de Pesquisa de Soja. **Anais...** Londrina/PR, 141-143, 2014.

DECRAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (eds). **Plant Nematology**. CAB International: Wallingford, Reino Unido, 2006.

DEVAY, J. E.; GUTIERREZ, A. P.; PULLMAN, G. S.; WAKEMAN, R. J.; GARBER, R. H.; JEFFERS, D. P.; SMITH, S. N.; GOODELL, P. B.; ROBERTS, P. A. Inoculum densities of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* and *Meloidogyne incognita* in relation to the development of Fusarium wilt and the phenology of cotton plants (*Gossypium hirsutum*). **Ecology and Epidemiology**, 87(3):341-346, 1997.

DIAS, W. P.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. S.; GARCIA, A.; ARIAS, C. A. A. Nematoides de cisto da Soja: Biologia e manejo pelo uso da resistência genética. **Nematologia Brasileira**, 33(1):1-16, 2009.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. Nematoides. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, p.173-206, 2010.

GALBIERI, R.; VAZ, C. M. P.; SILVA, J. F. V.; ASMUS, G. L.; CRESTANA, S.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S. Influência dos parâmetros do solo na ocorrência de fitonematoides. In: GALBIERI, R.; BÉLOT, J.-L. (Eds). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: IMAmt e Editora casa da Árvore, 2016. p. 37-89

GOULART, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 219, Embrapa Cerrados, Brasília, DF, 2008. 30 p.

HASSAN, M. A.; PHAM, T. H.; SHI, H.; ZHENG, J. Nematodes threats to global food security. **Acta Agriculture Scandinavica**, Section B – Soil & Plant Science, 63(5):420-425, 2013.

IMEA - INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **4ª Estimativa de Safra 2015/16: Algodão**. [Cuiabá], 2016. Disponível em: http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R104_4a_Estimativa_de_Safra_Algodao_15-16_mar15_AO.pdf. Acesso em: 23 mar., 2016.

INOMOTO, M. M.; GOULART, A. M. C.; MACHADO, A. C. Z.; MONTEIRO, A. R. Effect of population densities of *Pratylenchus brachyurus* on the growth of cotton plants. **Fitopatol. Bras.** 26(2):192-196, 2001

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, 14(9):946-961, 2013.

KINLOCH, R. A. Soybean. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. **Plant and Nematode Interactions**. American Society of Agronomy, Madison, Estados Unidos, p. 317-334, 1998.

LAMAS, F. M.; BOLDT, A. S.; SILVA, J. F. V.; ASMUS, G. L.; GALBIERI, R. Influência do sistema de produção soja-algodoeiro na população de fitonematoides. In: GALBIERI, R.; BÉLOT, J.-L. (Eds). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: IMAmt e Editora casa da Árvore. p. 91-124, 2016.

LIMA, R. D. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. M. Ocorrência de *Heterodera* sp. em soja, no triângulo mineiro. **Nematologia Brasileira**, 16:101-102, 1992.

LOPES, C. M. L. Populações de nematoides fitoparasitas em áreas de cultivo de soja, algodão, café e de vegetação nativa do Cerrado na região Oeste da Bahia. **Dissertação de Mestrado (Fitopatologia)**. UNB, Brasília, 2015 70 f.

LUC, M.; BRIDGE, J.; SIKORA, R. A. Reflections on nematology in subtropical and tropical agriculture. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. CABI: Wallingford, p. 1-10, 2005.

MACHADO, A. C. Z. Controle químico. In: GALBIERI, R.; BÉLOT, J.-L. (Eds). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Cuiabá: IMAmt e Editora Casa da Árvore. p. 287-312, 2016.

MACHADO, A. Q.; CASSETARI NETO, D.; GUERRA, W. D. Ocorrência de *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* em algodoeiro no estado do Mato Grosso. Congresso Brasileiro de Algodão, 4, Goiânia. **Anais...** Campina Grande: Embrapa CNPA. CD ROM, 2003.

MCCARTER, J. P. Molecular approaches toward resistance to plant-parasitic nematodes. In BERG, R. H.; TAYLOR, C. G. (Eds.), **Cell biology of plant nematode Parasitism**. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, p. 239-268, 2009.

MOURA, R. M. Gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose. Parte I. **Revisão Anual de Patologia de Plantas - RAPP**, Passo Fundo, 4:209-244, 1996.

NICOL, J. M.; TURNER, S. J.; COYNE, D. L.; NIJS, L. D.; HOCKLAND, S.; TAHNA MAIFI, Z. Current nematode threats to world agriculture. In: JONES, J.; CHEYSEN, G.; FENOLL, C. (Eds.), **Genomics and molecular genetics of Plant-Nematode Interactions**. Springer Science+Business Media B.V. p. 21-43, 2011.

NOE, J. P. Nematoides parasitas de plantas. In: TRIGIANO, R.N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. **Fitopatologia: conceitos e exercícios de laboratório**. Porto Alegre: Artmed, p. 83-96, 2010.

ORTIZ, B. V.; PERRY, C.; SULLIVAN, D.; LU, P.; KEMERAIT, R.; DAVIS, R. F.; SMITH, A.; VELLIDIS, G.; NICHOLS, R. Variable rate application of nematicides on cotton fields: a promising site-specific management strategy. **Journal of Nematology**, 44:31, 2012.
RIBEIRO, N. R.; DIAS, W.; SANTOS, J. M. Distribuição de fitonematoides em regiões produtoras de soja do Estado de Mato Grosso. In: Boletim de pesquisa de soja Fundação MT. Mato Grosso, n. 14, 2010, p. 289-296.

ROBERTS, P. A.; ULLOA, M. Introgression of Root-Knot nematode resistance into tetraploid cottons. **Crop Science**, v. 50, p. 940-951, 2010.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; IVEY, H. Crop rotation systems for the management of *Meloidogyne arenaria* in peanuts, **Nematropica** 16:53-64, 1986.

ROBINSON, A. F.; INSERRA, R. N.; CASWELL-CHEN, E. P.; VOVLAS, N.; TROCCOLI, A. *Rotylenchulus* species: identification, distribution, host ranges, and crop plant resistance. **Nematropica**, 27(2):127-180, 1997.

ROBINSON, A. F.; AKRIDGE, R.; BRADFORD, J. M.; COOK, C. G.; GAZAWAY, W. S.; KIRKPATRICK, T. L.; LAWRENCE, G. W.; LEE, G.; MCGAWLEY, E. C.; OVERSTREET, C.; PADGETT, B.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; WESTPHAL, A.; YOUNG, L. D. Vertical distribution of *Rotylenchulus reniformis* in cotton fields, *Journal of Nematology*, 37(3):265-271, 2005.

PETTIGREW, W. T.; MEREDITH-JR W. R.; YPUNG, L. D. Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components, and reniform nematode populations. *Agronomy Journal*, 97:1245-1251, 2005.

SASSER, J. N. Root-Knot nematodes: a global menace to crop production. *Plant Dis.* 64:36-41, 1980.

SINGH, S. K.; HODDA, M.; ASH, G. J. Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main host and reported yield losses. *OEPP/EPPO Bulletin*, 43(2):334-374, 2013.

STARR, J. L.; Cotton. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAN, G. L. (Eds.). *Plant and nematode interaction*. American Society of Agronomy, Madison, p. 359-379, 1998.

STARR, J. L.; KOENNING, S. R.; KIRKPATRICK, T. L.; ROBINSON, A. F.; ROBERTS, P. A.; NICHOLS, R. L. The future of nematode management in cotton. *Journal of Nematology*, 39(4):283-294, 2007.

SILVA, R.A.; SERRANO, M.A.S.; GOMES, A.C.; DÁRCIO, C.B.; SOUZA, A.A., AMUS, G.L.; INOMOTO, M.M. Nematoides associados ao algodoeiro no estado de Mato Grosso. Congresso Brasileiro de Algodão, 3, Goiânia. *Anais...* Campina Grande: Embrapa CNPA. CD ROM, 2003.

TALWANA, H.; SIBANDA, Z.; WANJOHI, W.; KIMENJU, W.; LUAMBANO-NYONI, N.; MASSAWE, C.; MANZANILLA-LÓPEZ, R. H.; DAVIES, W. G.; HUNT, D. J.; SIKORA, R. A.; COYNE, D. L.; GOWEN, S. R.; KERRY, B. R. Agricultural, nematology in East and Southern Africa: problems, managements strategies and stakeholder linkages. *Pest Mang Sci*, 72:226-245, 2015.

TRUDGILL, D. L. Resistance to and tolerance of plants parasitic nematodes in plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* v. 29, p. 167-192, 1991.

WAELE, D. D.; ELSEN, A. Challenges in tropical plant nematology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45:457-485, 2007.

WEAVER, D. B. Cotton nematodes. In: FANG, D. D.; PERCY, R. G. (Eds.). *Cotton*, Madison: ASA, CSSA and SSSA, p.1-24, 2015.

WRATHER, A.; MITCHUM, M. M. *Soybean cyst nematode: diagnosis and management*. University of Missouri Extension Bull, 2010. Disponível em: //estension.missouri.edu/p//G4450.

Capítulo 7

MELHORAMENTO CLÁSSICO E BIOTECNOLOGIA VISANDO À SUPERAÇÃO DE DESAFIOS

Sebastião Pedro da Silva Neto

sebastiao.pedro@embrapa.br

Embrapa Cerrados

André Ferreira Pereira

andre.ferreira@embrapa.br

Embrapa Cerrados

Camilo de Lelis Morello

camilo.morello@embrapa.br

Embrapa Algodão

Nelson Dias Suassuna

nelson.suassuna@embrapa.br

Embrapa Algodão

RESUMO. *Alguns dos desafios de natureza biótica e abiótica que afetam culturas de importância econômica como a soja e o algodão têm sido superados ao longo dos anos no Brasil e no mundo com o uso do melhoramento genético clássico e, mais recentemente, da engenharia genética e de técnicas de biologia molecular. A sustentação da expansão da produção agrícola com produtividade e competitividade no Brasil e, especialmente, na região do Cerrado, depende do bom uso destas metodologias de melhoramento genético, associadas a boas práticas de manejo que precisam ser desenvolvidas de forma dinâmica e preventiva, a fim de manter a sustentabilidade do sistema de produção agrícola. As particularidades do solo e do clima do Cerrado tornam o cenário de produção da soja e das demais culturas de importância econômica que compõem o sistema de produção muito mais desafiador do que em outras partes do Brasil. As limitações químicas originais dos solos do Cerrado foram corrigidas ao longo dos anos, mas suas características físicas e sanitárias, antes muito favoráveis, têm se deteriorado de forma dinâmica*

com a intensificação do uso. A previsibilidade do clima do Cerrado, antes uma característica positiva para os agricultores que ali chegavam, tem diminuído e trazido novos problemas nas últimas safras. O declínio da sanidade dos solos, com aumento dos nematoides, bem como o aumento da dificuldade no controle de pragas e doenças, tem lançado novos desafios para o sistema produtivo, fortalecendo a importância de avanços nas pesquisas em melhoramento de plantas e do uso de técnicas biotecnológicas como marcadores moleculares, genômica e transformação genética para a manutenção das condições sustentáveis de produção. Os desafios nas culturas da soja e do algodão são dinâmicos e, muito provavelmente, demandarão novas cultivares para seu enfrentamento.

1. MELHORAMENTO GENÉTICO DA SOJA

Do ponto de vista genético, a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma espécie autógama com probabilidade de cruzamento natural variando de 0,5-1%. Assim, os métodos de melhoramento da população (também chamado de método Bulk), genealógico e SPS (*Single Pod Descendant* - Descendente de uma única vagem), têm sido amplamente utilizados para o desenvolvimento de cultivares. As estratégias de melhoramento convencional trouxeram resultados que proporcionaram o crescimento da agricultura, com variedades mais adaptadas às diferentes condições (clima, solo), menos suscetíveis ao ataque de pragas e com alto rendimento. A partir da década de 1970, com o início das metodologias de uso do DNA recombinante e do sequenciamento do DNA, que proporcionaram grandes avanços na ciência de plantas, houve mudanças nesse cenário com essas tecnologias.

A biotecnologia moderna permite a modificação genética de plantas a partir da inserção de genes conhecidos e de interesse (a modificação é planejada, com sequências e região de inserção identificadas). A combinação das técnicas de engenharia genética e biologia molecular com o melhoramento clássico possibilita a inserção dos novos transgenes na base genética apropriada, por meio de reprodução sexual, favorecendo a adaptação da cultivar às áreas de plantio. Assim, as estratégias de melhoramento convencional, associadas ao conjunto de técnicas de biotecnologia, têm proporcionado a ampliação da variabilidade genética da soja cultivada e a criação de novo germoplasma, melhor adaptado às demandas dos novos mercados, produção e meio ambiente (Verma & Shoemaker, 1996; Orf *et al.*, 2004).

Considerando os desafios enfrentados pelo Cerrado brasileiro e sistemas produtivos adotados, os projetos de pesquisa sobre melhoramento genético da soja têm buscado o aumento da produtividade, a identificação de genes e desenvolvimento de variedades resistentes a acamamento e deiscência de vagem, doenças, nematoides, insetos e herbicidas; tolerância a estresse ambiental e a qualidade e composição das sementes para dar sustentabilidade à agricultura da região.

PRODUTIVIDADE

O principal objetivo do melhoramento genético da soja é desenvolver cultivares com alto potencial produtivo. Considerando que o rendimento é uma característica altamente complexa, uma vez que exige a combinação de características agronômicas, como resistência a estresses bióticos e abióticos, e fatores relacionados ao potencial produtivo.

Historicamente, o melhoramento clássico levou a plantas com melhor capacidade genética, alteração na arquitetura de plantas e aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos. De acordo com Specht *et al.* (1999), os rendimentos da soja nos EUA subiram 22,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de 1924 a 1997, mas, de 1972 a 1997, subiram 40% mais rápido (31,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, por conta da adoção das tecnologias desenvolvidas pela pesquisa agrícola no período). Deste ganho anual no rendimento, 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹ são atribuídos ao melhoramento genético da década de 1980, e atualmente em uma média de cerca de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ nos setores público e privado.

Mais recentemente, Rogers *et al.* (2015), estudando o ganho genético obtido de 1928 a 2008 nas cultivares públicas no Sul dos EUA, verificaram ganhos genéticos médios de 16,8 kg ha⁻¹ ano⁻¹. No Nordeste da China, Jian *et al.* (2010) estudaram cultivares de soja liberadas de 1950 a 2006. A correlação foi positiva entre o rendimento de sementes e ano de lançamento da cultivar, indicando um aumento médio anual de 0,58% em produtividade. O número de sementes por planta foi o mais importante contribuinte para ganho, com aumento de 0,41% ao ano. O número de vagens por planta e o peso de sementes variou ligeiramente com o ano de lançamento cultivar. Foram encontrados aumentos de 33% na taxa fotossintética, de 10,6% na produção de matéria seca e de 19,0% no índice de colheita (IC), enquanto que o índice de área foliar (IAF) diminuiu 17,3%. Já as cultivares modernas mostraram taxas fotossintéticas mais elevadas que seus antecessores. A menor altura da planta

proporcionou o aumento da resistência ao acamamento. A resistência das sementes a doenças e infestação de pragas também aumentou. A estabilidade de produção cresceu ao longo dos anos.

No Brasil, uma avaliação do ganho genético em produtividade no programa de melhoramento genético de soja no Paraná, no período de 1981 a 1986, nos grupos de maturação precoce e semiprecoce, foi feita por Toledo *et al.* (1990). Os ganhos genéticos obtidos foram de 1,8% e 1,3% para os genótipos de maturação precoce e semiprecoce, respectivamente. De forma semelhante, Alliprandini *et al.* (1993), estudando o período de 1985/86 a 1989/90, identificaram que o ganho genético médio anual foi da ordem de 0,89% no grupo precoce, de 0,38% no grupo semiprecoce e de -0,28% no grupo médio de maturação. Os ganhos genéticos obtidos mostram que os esforços empreendidos na busca de cultivares adaptadas e produtivas utilizando melhoramento clássico até então havia produzindo resultados satisfatórios.

Há diversos relatos indicando que para atender a crescente demanda mundial por soja é necessário que os ganhos anuais de produtividade aumentem mais rapidamente que os ganhos genéticos obtidos até o momento. Para tanto, no sentido de impulsionar o potencial de produtividade da soja, serão exigidos avanços biotecnológicos que permitam a melhoria da eficiência fotossintética, otimizando a entrega e utilização de carbono, aumento da eficiência do uso e fixação de nitrogênio, alterando o início do florescimento e melhorando a retenção de flores e vagens (Ainsworth *et al.*, 2013). Atualmente, as abordagens transgênicas no sentido de melhorar o rendimento de grãos da cultura têm focado principalmente em proteger as plantas de herbicidas, insetos ou doenças. Trabalhos utilizando as ferramentas da biotecnologia têm sugerido aumento da capacidade de levar a ganhos de produtividade por meio da identificação de genes que, quando expressos em plantas de soja, melhoraram a capacidade intrínseca da planta para produzir mais.

Por exemplo, os resultados de Preuss *et al.* (2012) demonstram um papel específico para AtBBX32 (um gene de *Arabidopsis thaliana*) na modulação de genes, confirmando a validade de expressar-se genes individuais em culturas para entregar maior produtividade agrícola. Eles demonstraram que a expressão de AtBBX32 em soja leva a melhorias crescentes no rendimento. Sugerem que o ganho de rendimento é uma consequência de alterações fisiológicas na planta que levam ao aumento do número de nós, flores, vagens e, finalmente, peso e núme-

ro das sementes. Além disso, demonstra-se que a expressão *AtBBX32* leva a alterações na duração das fases de desenvolvimento reprodutivo entre R3 (início do desenvolvimento da vagem) até R7 (início da maturação). Mais recentemente, os resultados encontrados por Fox *et al.* (2015) fornecem evidências de que podem existir valiosos *QTLs* para rendimento em germoplasma exótico de soja e que estes podem ser utilizados para aumentar o rendimento em cultivares modernas.

No trabalho de melhoramento visando a produtividade, deve-se considerar não somente o potencial genético da cultivar, mas sua interação com os fatores ambientais de produção, como a física, a química e a biologia do solo, e as características climáticas do ambiente de produção (Ramos Júnior *et al.*, 2015; Franchini *et al.*, 2014; Tonon *et al.*, 2011).

VARIAÇÃO DO CICLO EM RELAÇÃO À REGIÃO DE PRODUÇÃO

O fotoperíodo, que é diretamente relacionado à latitude, influencia o florescimento e a maturidade da soja. Assim, a população de plantas deve ser ajustada de acordo com cada condição (encontrar pontos ótimos para cada variedade). Para as regiões tropicais, de fotoperíodos mais curtos durante a estação de crescimento da soja, observa-se redução do período vegetativo, com conseqüente florescimento precoce, redução no porte da planta e baixo rendimento (Almeida *et al.*, 1999). O uso da característica do período juvenil longo foi a solução encontrada pelos melhoristas para retardar o florescimento em condições de dias curtos (Hartwig & Kiihl, 1979) e tornarem viável o cultivo da soja em regiões de baixas latitudes. Para fins de posicionamento de cultivares e também para o trabalho de seleção, a separação das cultivares por grupos de maturidade no Brasil seguem o agrupamento de cultivares de soja na América do Norte, em que a classificação é determinada pelo crescimento de novas cultivares em testes de campo em latitudes específicas e comparando com cultivares com grupos de maturidade de referência (Alliprandini *et al.*, 2009). Três principais genes dominantes — E, E, e E₃ — foram identificados para a maturidade tardia, e um quarto gene, E₄, de sensibilidade ao fotoperíodo longo. A incorporação de tais genes tem sido bem-sucedida por meio de programas de melhoramento convencional e tem resultado no desenvolvimento de cultivares adaptadas às mais amplas condições no território nacional, ajustando o ciclo e a arquitetura de plantas às mais variadas condições de solo, clima e latitudes.

RESISTÊNCIA AO ACAMAMENTO E DEISCÊNCIA DE VAGENS

Embora geneticamente não relacionados, a resistência a acamamento e o quebramento de galhos são ambos necessários para garantir o rendimento e facilitar a colheita mecânica da soja. Uma haste forte é o caráter mais importante para obter uma cultivar resistente ao acamamento. As cultivares determinadas tendem a ser mais baixas e mais resistentes ao acamamento em solos férteis, quando comparadas às cultivares indeterminadas. O melhoramento visando a resistência ao acamamento tem sido buscado com a introdução do gene *dt1* em cultivares indeterminadas, porém sem resultados competitivos. Estudos feitos por Wilcox e Sedyama (1981), buscando a relação entre altura de plantas, tipo de crescimento, produtividade e resistência a acamamento, indicaram que as linhas determinadas apresentavam a melhor combinação de alta produção de sementes e resistência ao acamamento. Atualmente, plantas com tipos de crescimentos semideterminado e indeterminado têm sido obtidas nos programas de melhoramento e, com isso, permitido o manejo de alta produtividade em solos férteis.

As vagens das sojas selvagens tendem a abrir quando maduras, fazendo com que os grãos caiam pelo chão antes mesmo da colheita característica presente em algumas cultivares precoces. A característica dominante em sojas selvagens tem sido um fator limitante para introgressão eficiente de características de valor agregado em linhagens elites. Estudos de mapeamento genético identificaram um gene principal, designado *qPDH1*, que regula a deiscência de vagens de soja, facilitando, assim, a seleção assistida por marcadores moleculares (Muqiang & Hongyan, 2013). A seleção para resistência à deiscência de vagens tem produzido cultivares que permanecem com as vagens fechadas até a colheita, sem maiores perdas. A associação da seleção assistida por marcadores pode aumentar a eficiência da seleção em relação a essa característica.

RESISTÊNCIA A DOENÇAS

Diversas doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides afetam a cultura da soja no Brasil, causando prejuízos econômicos, principalmente, pela perda de produtividade. A atividade

agrícola proporciona um ambiente dinâmico, em que operam fatores bióticos e abióticos. Desde os primeiros anos da cultura da soja no Brasil, o melhoramento genético para resistência a doenças tem ocupado papel de relevância na viabilização da cultura. Inicialmente, foi necessária a busca de resistência a doenças bacterianas que se desenvolviam no ambiente tropical, como a pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) e o crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*). Posteriormente, algumas doenças fúngicas, como a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina* Hara) e o cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* pv. *Caulivora*). O complexo de doenças de final de ciclo, causadas por *Septoria glycines* (mancha parda) e *Cercospora kikuchii* (crestamento foliar de cercospora), que, sob determinadas condições climáticas, pode causar prejuízos relevantes. Com o aparecimento da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), observou-se que, além do clima favorável, outros fatores interferem no controle de doenças.

Com a intensificação dos cultivos, adoção do binômio soja-milho em sucessão e aumento do uso de defensivos, a cada ano doenças novas, ou que anteriormente tinham importância secundária, vêm ganhando relevância econômica.

Por conta do número de doenças presente no ambiente, o melhorista deve escolher quais receberão prioridade, considerando os recursos disponíveis no programa de melhoramento. Desenvolvimento de metodologias de avaliação da resistência e técnicas de inoculação artificial de doenças são essenciais na seleção para resistência a doenças (Wilcox, 1983). O Brasil é um país extenso e com grande variabilidade ambiental e, conseqüentemente, com alta diversidade de patógenos, de acordo com a região e com o clima. Desta forma, a estratégia para o controle de doenças deve considerar os aspectos técnicos e operacionais para que os cultivares possam expressar todo seu potencial produtivo.

Ao longo dos anos é visível que o número de doenças que deixaram de ser consideradas secundárias, doenças principais (com grande importância econômica) como a mancha-alvo (*Corynespora cassicola*), mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*), mancha-parda (*Septoria glycines*), oídio (*Mycosphaera diffusa*) e antracnose (*Colletotrichum truncatum*).

O grupo das doenças causadas por fungos necrotróficos (alimentam-se, reproduzem-se e sobrevivem em tecido morto), entre elas o mofo branco, antracnose e mancha-alvo, teve sua importância aumentada nos últimos anos. Estas doenças já existem no Brasil há

muito tempo, mas a introdução de cultivares mais suscetíveis e a monocultura de soja em semeadura direta foram os fatores que mais diretamente favoreceram o aumento. O controle dessas doenças pela resistência genética é mais difícil, portanto, seu manejo representa dificuldades adicionais e desafios grandes pela frente.

Mais de cem doenças virais são conhecidas por infectar a soja, das quais cerca de um terço tem importância econômica. A principal doença viral da soja é o vírus do mosaico da soja (VMS). Dois genes (*Rsv1*, *Rsv2*) foram definidos para a resistência a estirpes específicas de VMS. Com o aumento da incidência da mosca-branca, o vírus da necrose da haste (VNH) tem aumentado sua importância (Henning *et al.*, 2014).

O primeiro passo do melhoramento da soja para resistência a doenças é a identificação de germoplasma portador de genes de resistência, para que possam ser introduzidos pelas técnicas de melhoramento genético convencional (como os métodos de seleção e por retrocruzamentos) ou por meio de técnicas de biologia molecular (caminho único quando se trata da introdução de resistência genética a partir de outras espécies).

Para patógenos que desenvolvem raças fisiológicas, o melhoramento deve ser para a raça específica, utilizando os principais genes que conferem resistência às distintas raças ou patógenos. Individualmente, nenhum dos genes controla todas as raças, mas o controle é conseguido quando combinações específicas de genes são piramidadas sucessivamente por retrocruzamentos (ou por ferramentas moleculares) em cultivares comerciais ou linhagens.

RESISTÊNCIA A NEMATOIDES

Estima-se que mais de cem espécies de nematoides, envolvendo cerca de 50 gêneros, foram associadas a cultivos de soja em todo o mundo, e que aproximadamente 10,6% da produção mundial de soja é perdida em função do ataque de nematoides (Barker, 1998). No Brasil, as espécies que causam os maiores danos são *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Heterodera glycines*, *Pratylenchus brachyurus* e *Rotylenchulus reniformis* (Ferraz, 2001). Os sintomas causados pelos nematoides são nanismo, murcha sob estresse de temperatura e umidade e diminuição do rendimento. Os danos resultam da destruição ou da alteração dos tecidos de raiz e da interrupção do sistema vascular, o que limita o fluxo de água e nutrientes para a planta de soja. As lesões causadas por nematoides nas

raízes muitas vezes permitem a invasão de fungos que danificam ainda mais a planta (Dias *et al.*, 2010).

O nematoide de cisto da soja (NCS) espalhou-se para todas as áreas de produção de soja do Brasil. A maioria das populações de nematoides é mistura de várias raças, com predominância de alguma, dependendo do local. As raças 1 e 3, antes as mais frequentes na maioria das áreas cultivadas com soja, passaram a ser substituídas por populações do NCS, mais difíceis de serem controladas pelo uso de cultivares resistentes. Atualmente, o percentual de lavouras de soja de Mato Grosso infestadas pelas raças 4, 6, 9 ou 14 do NCS já é alto. A herança da resistência ao NCS é complexa: três genes recessivos, *rhg1*, *rhg2* e *rhg3*, e um gene dominante, *Rhg4*, foram identificados em “Peking”, e um gene dominante adicional foi relatado na PI88788. Os genes de resistência têm sido introduzidos nos programas de melhoramento para produzirem cultivares resistentes; uma nova cultivar, “Hartwig”, resistente a todas as raças atualmente conhecidas de NCS nos Estados Unidos, foi lançada (Anand, 1992).

Seis espécies de *Meloidogyne* infectam a soja, produzindo galhas em raízes, nanismo e clorose. As espécies *Meloidogyne* são específicas quanto a raças; o gênero *Meloidogyne* compreende um grande número de espécies. Entretanto, *M. incognita* e *M. javanica* são as que mais limitam a produção de soja, no Brasil. Em Mato Grosso, estudos demonstraram a ocorrência do nematoide de galhas em 24% das áreas produtoras, que *M. javanica* é a espécie mais comum e que *M. incognita* predomina em áreas cultivadas anteriormente com algodão (Ribeiro & Dias, 2016; Dias *et al.*, 2010). De acordo com os estudos de Luzzi *et al.* (1995a) e Luzzi *et al.* (1995b), PI 230977 possui um gene adicional de resistência não presente em Gordon e PI 80466. E que Gordon, PI 230977 e PI 80466 possuem genes de resistência em diferentes loci ou diferentes alelos no mesmo locus. Pela natureza da herança, a seleção para resistência deve ser realizada preferencialmente em gerações mais avançadas de endogamia, pois os genótipos ainda segregarão nas gerações precoces (Silva, 2001). As empresas de melhoramento têm utilizado a inoculação de isolados de *Meloidogyne* spp. em milhares de linhagens, o que é um procedimento trabalhoso e sujeito a escapes. Assim, pesquisas são essenciais para identificar marcadores moleculares ligados à resistência da soja a *Meloidogyne* spp. visando a utilização mais ampla da seleção assistida por marcadores moleculares.

Os nematoides-das-lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) são considerados o segundo grupo de fitonematoides de maior importância econômica em todo o mundo. Dentro do gênero *Pratylenchus*, a espécie *P. brachyurus* é uma das mais destacadas em todo mundo, sendo considerada uma das mais daninhas do gênero. Pelo fato de apresentar uma gama expressiva de hospedeiros, seu controle torna-se difícil; embora possa parasitar tantas espécies, estudos como o de Santos *et al.* (2011) demonstraram que existe variabilidade, entre e dentro das espécies vegetais, com relação à capacidade de multiplicação, e que é possível a seleção de genótipos resistentes. Genótipos com FR menores (de preferência inferiores a 1,0) devem ser sempre preferidos para a semeadura em áreas infestadas, em rotação/sucessão com a soja, pois contribuem para redução rápida das populações de nematoides no solo. Townshend (1990) indica métodos de avaliação de resistência ao nematoide-das-lesões.

RESISTÊNCIA A INSETOS

A soja é atacada por diversas espécies de insetos, entre os quais atualmente se destacam em importância os percevejos sugadores de vagens (*Piezodorus guildinii*, *Nezara viridula* e *Euschistus heros*), a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), os insetos desfolhadores (diversas lagartas) e os besouros crisomelídeos (de diversas espécies). Com a retirada de várias moléculas inseticidas do mercado brasileiro e a falta de desenvolvimento de novas moléculas pela indústria, cresce a importância do melhoramento para a resistência a insetos, sobretudo aos insetos sugadores.

O mecanismo de resistência envolve tanto a não preferência (característica morfológica ou bioquímica que afeta o comportamento do inseto, desencorajando a oviposição, a colonização ou a alimentação) como a antibiose (efeito negativo no crescimento do inseto, no desenvolvimento e na reprodução ou ingestão). Procedimentos para multiplicação de populações de insetos e infestação de linhagens de soja são necessários para o melhoramento visando resistência a insetos. As plantas resistentes obtidas são, muitas vezes, inferiores do ponto de vista agrônomo, por isso uma estratégia é a transferência dos genes de resistência para genótipos adaptados por retrocruzamentos. Mundialmente, as espécies de percevejos são as principais pragas de insetos que causam danos às sementes e aborto de vagens por conta

do efeito da alimentação destes insetos nas vagens jovens e seu efeito na seiva das plantas de soja.

A resistência a insetos em soja tem sido objetivo de numerosos programas de melhoramento, mas os esforços para desenvolver cultivares associando resistência a insetos com potencial produtivo têm sido infrutíferos. Três introduções de plantas japonesas, PIs 171451, 227687 e 229358, têm sido as principais fontes de alelos de resistência de insetos, mas uma combinação de herança quantitativa de resistência e pobre desempenho agrônomico tem dificultado o progresso. Estudos com *QTLs* (*loci* de características quantitativas) têm sido pouco efetivos, porque arrastam características agrônomicas indesejáveis. A utilização de marcadores moleculares pode facilitar a transferência de alelos de resistência minimizando o problema (Boerma & Walker, 2005).

Hill *et al.* (2006) determinaram que a resistência ao pulgão-da-soja na cultivar “Dowling” é controlada por um único gene dominante, *Rag1*, o primeiro identificado para resistência ao inseto. A natureza monogênica dominante da resistência permite que cultivares suscetíveis possam ser rapidamente convertidas em cultivares resistentes, utilizando procedimentos de retrocruzamentos.

MELHORAMENTO PARA QUALIDADE

A soja contém muitos nutrientes úteis e proteínas de alta qualidade. No entanto, é produzida principalmente para produção de óleo e farelo proteico, que são utilizados majoritariamente para a produção de ração animal. Pesquisas para viabilizar o uso da soja no consumo humano são fundamentais para o futuro da segurança alimentar do mundo. Os progressos no melhoramento de plantas e biotecnologia devem ser utilizados no futuro próximo para melhorar sabor, textura e função fisiológica da soja por meio da aplicação de novas tecnologias. A fim de melhorar os fatores favoráveis e reduzir os aspectos desfavoráveis do sabor da soja, a investigação sobre a constituição de lipídios pode ser eficaz. (Hirotzuka, 2012).

De acordo com os estudos de Oliveira (2007), os teores de proteína nos grãos de soja brasileiros variam de 31,7% a 57,9%, com base na matéria seca. Ao passo que o teor de óleo variou 8,1% a 25,4%. O teor médio de proteína é de 42,1%; e o de óleo, 19,5%. Recentemente, a indústria do complexo da soja tem relatado tendência de redução no teor de proteína na soja brasileira. Fato que também tem sido obser-

vado nos Estados Unidos (Rogers *et al.*, 2015).

Estudos genéticos feitos com objetivo de aumentar o óleo e a proteína indicam que os teores desses compostos no grão de soja têm correlação genética alta (Feng *et al.*, 2004). Proteína tem correlação negativa com produtividade (Cober & Voldeng, 2000) e o teor de óleo apresenta correlação positiva com produtividade (Wilcox & Guodong, 1997). Chung *et al.* (2003) verificaram que *QTLs* para alta proteína tinham efeito pleiotrópico para baixo óleo e baixo rendimento de grãos. Tendo em vista que há variabilidade genética para alto teor de proteína, podem ser utilizados métodos de melhoramento especiais, como a seleção recorrente para aumentar o rendimento em uma população com alta proteína (Kenworthy & Brim, 1979; Wilcox, 1998) e, com isso, gerar cultivares de alto teor de proteína e melhor potencial de rendimento.

Como a indústria não tem remunerado os produtores pelo teor de proteína ou óleo, estes índices não são objeto dos programas de melhoramento, que visam produtividade. É provável que, no futuro, haja interesse da indústria em remunerar a soja pelo teor de proteína. Nesse caso, os estudos mostram que há possibilidade de seleção de cultivares para alto teor de proteína e também alto teor de óleo.

RESISTÊNCIA A ESTRESSE AMBIENTAL – SECA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As principais causas de estresses ambientais são a exposição das plantas a condições excessivas de seca e calor e as limitações químicas dos solos. O aumento da tolerância à seca e ao calor pode resultar no aumento da produtividade e diminuição no abortamento de flores e vagens nas regiões ou épocas em que o florescimento e o enchimento dos grãos ocorrem em condições de altas temperaturas e deficiência hídrica (Myers *et al.*, 1986). O estresse provocado por deficiência hídrica em lavouras de soja representa uma das principais causas responsáveis da instabilidade na produção de grãos ao longo dos anos nas várias regiões brasileiras. Dependendo do nível de estresse hídrico e do estágio fisiológico em que se encontram as plantas de soja, diferentes processos podem ser afetados, como por exemplo o processo de fixação biológica de nitrogênio (Sinclair *et al.*, 2007).

O progresso no melhoramento para tolerância à seca é lento. As variedades atuais foram selecionadas para produtividade e resistên-

cia a doenças e não tolerância à seca. A avaliação para tolerância é de difícil execução e exige locais onde ocorram seca a cada ano, execução de experimentos e análise no campo. Teoricamente, o germoplasma deve possuir sistema radicular profundo e ramificado e ser mais eficiente no uso da água (King *et al.*, 2009; Ries *et al.*, 2012). Abordagens para melhorar a tolerância à seca devem incluir a capacidade de evitar a desidratação (combinando o ciclo da soja com a época de plantio para que a fase de enchimento de grãos coincida com a época de maior precipitação sazonal), capacidade de manter a fixação biológica de nitrogênio em condições de baixa umidade. Chen *et al.* (2007) identificaram duas linhagens que mostraram menor redução da fixação biológica de nitrogênio, sob seca em relação a cultivares de ciclo semelhante, e tolerância à desidratação. As estratégias de seleção de genótipos tolerantes à seca devem coincidir com características como menor velocidade de murchamento e perda de rendimento e maior crescimento de raízes (Ries *et al.*, 2012). Experimentos conduzidos nos EUA identificaram linhagens e PIs com características de tolerância à seca. Entretanto, nenhuma foi documentada como possuindo enraizamento profundo. Apenas uma possuía “enraizamento diferenciado” (PI 416937). *QTLs* para murchamento lento foram identificados em três fontes, sendo todos multigênicos, com múltiplos mecanismos fisiológicos (King *et al.*, 2009). São promissoras as pesquisas que buscam marcadores moleculares ligados a *QTLs* de tolerância, pois pode ser uma forma de caracterizar sistematicamente as regiões do genoma envolvidas nesse tipo de reação. Novamente, a maior dificuldade está na fenotipagem, sendo necessário incluir um grande número de genótipos em ambientes com estresse induzido (Pathan *et al.*, 2007).

Nesse contexto, é fundamental o papel dos programas de melhoramento genético que visam ajudar na redução dos efeitos danosos provocados pela seca, por meio do desenvolvimento de cultivares mais tolerantes. Ressalta-se a necessidade de manutenção não só dos programas tradicionais de melhoramento, como também do uso e do desenvolvimento de novas ferramentas da biotecnologia.

MELHORAMENTO PREVENTIVO

Pragas e doenças capazes de causar danos a nossa agricultura estão presentes em países vizinhos e em outras regiões agrícolas do mundo com as quais o Brasil tem forte interação comercial, podendo, assim,

serem introduzidas no Brasil a qualquer momento. A introdução em território nacional, que resultará em enormes prejuízos, pode ocorrer por ingresso natural ou por agroterrorismo, que deve ser tema de grande atenção na pauta de segurança nacional de países que têm na agricultura um dos seus pilares econômicos (Dudley & Woodford, 2002). Por isso, a Embrapa atualmente desenvolve um arranjo de melhoramento preventivo que inclui projetos de pesquisa cujo foco principal é a obtenção de estoques genéticos com resistência a organismos quarentenários que oferecerem riscos reais à agricultura brasileira.

No caso da soja, os organismos quarentenários inicialmente considerados incluem: a) *Phoma glycinicola*, agente causal da mancha vermelha da folha da soja, atualmente existente na África, onde os danos causados são muito significativos, atingindo percentuais acima de 50% da produção (Hartman & Sinclair, 1996); b) *Aphis glycines*, que é uma praga comum da soja, conhecida como pulgão-da-soja, considerada organismo quarentenário de alto risco, ausente no Brasil, mas encontrado em Estados Unidos (desde 2001), Canadá, China e outros países asiáticos. O inseto é considerado uma das pragas mais importantes de soja no Norte dos EUA e no Canadá (Fox *et al.*, 2014), com perdas de produtividade que chegam a mais de 50% em casos de infestação severa.

Uma vez que pragas e doenças quarentenárias ainda não existem no Brasil, o trabalho de melhoramento preventivo requer o estabelecimento de acordos técnico-científicos com instituições de pesquisa localizadas em países onde os organismos-alvo estão presentes (ou não oferecem riscos) e onde ensaios de resistência dos estoques genéticos, desenvolvidos pelo programa brasileiro, possam ser realizados em parceria com as instituições estrangeiras.

USO E PERSPECTIVAS DA BIOTECNOLOGIA NO MELHORAMENTO DE SOJA

Dentre as várias ferramentas de biotecnologia emergentes, a caracterização molecular e a transformação genética já estão sendo amplamente utilizadas no melhoramento de soja. Outras ciências emergentes, incluindo a genômica e proteômica, começam a impactar no melhoramento de plantas, ajudando a fornecer descobertas que irão contribuir para a melhoria do valor nutricional e de rendimento, considerando fatores como maior resistência a pragas, herbicidas e

fatores abióticos (Sudaric *et al.*, 2010). Na soja, a biotecnologia tem desempenhado um papel valioso no melhoramento público e privado. Com base na combinação do melhoramento clássico e de tecnologias moleculares, aumentos substanciais nas taxas de ganho genético para características economicamente importantes podem ser previstos para as próximas décadas.

MARCADORES MOLECULARES EM SOJA

No melhoramento de soja, as aplicações de marcadores moleculares atualmente estão focadas nas seguintes áreas: caracterização de germoplasma, seleção assistida por marcadores moleculares (SAM), retrocruzamentos e pesquisa de genes assistida por marcadores. A SAM é de uso mais fácil do que as técnicas usuais para rastrear características individuais, tais como genes de resistência a nematoides (Meksen *et al.*, 2001; Diers, 2005), a insetos (Kim *et al.*, 2014), e outros agentes patogênicos (Gordon *et al.*, 2007). Os marcadores moleculares podem também ser utilizados na estimativa do grau de diversidade e constituição genética do germoplasma existente, bem como na previsão dos efeitos heteróticos com base na distância genética entre progenitores em programas de hibridação, que contribuem para aumentar a eficiência do programa de melhoramento (Doldi *et al.*, 1997).

TRANSFORMAÇÃO GENÉTICA E PLANTAS TRANSGÊNICAS DE SOJA

Essa técnica é mais precisa que o melhoramento clássico e permite que os melhoristas de plantas desenvolvam cultivares com características vantajosas específicas e sem levar junto outras características que podem ser indesejáveis (Sudaric *et al.*, 2010). As primeiras cultivares de soja geneticamente modificadas (GM) foram plantadas nos Estados Unidos em 1996. Atualmente, passados quase 20 anos, cultivares de soja transgênicas têm sido plantadas em vários países de diferentes continentes.

As primeiras cultivares criadas por biotecnologia forneciam resistência aos herbicidas, mas especificamente ao glifosato. Os resultados decorrentes foram a redução dos custos e aumento da eficiência de produção (Oplinger *et al.*, 1998; Elmore *et al.*, 2001). A soja “Roundup Ready”, evento GTS-40-3-2, produzida por meio da introdução do gene da enzima *3-enolpiruvil-shiquimato 5-fosfato sintase* (EPSPS), proveniente da cepa CP4 da bactéria de solo *Agrobacterium tumefaciens*,

teve grande aceitação no Brasil. O evento foi aprovado para cultivo no Brasil em 1998, e seu uso atualmente supera 90% da área plantada.

Atualmente, seis eventos estão disponíveis para uso no Brasil, aprovados pela Comissão Nacional de Biossegurança (CTNBio) (Tabela 1).

TABELA 1. Eventos biotecnológicos disponíveis para uso em soja no Brasil*.		
Evento	Empresa obtentora	Ano de aprovação
MON 04032 ("Round Ready")	Monsanto	1998
BPS-CV127 ("Cultivance")	Basf	2009
MON 87701 x MON 89788 ("Intacta Roundup Ready 2Pro")	Monsanto	2010
ACS-GM005 ("Liberty Link")	Bayer	2010
ACS-GM006 ("Liberty Link")	Bayer	2010
DAS-68416 ("Enlist")	Dow	2015

* ISAAA (2016)

O evento CV127, com o nome comercial de "Cultivance", foi produzido a partir da introdução do gene *csrl-2* de *Arabidopsis thaliana* e confere tolerância aos herbicidas do grupo das imidazolinonas, que podem ser utilizados no manejo de ervas resistentes ao glifosato (CIB, 2016). O herbicida a ser utilizado com essa tecnologia resulta da mistura de dois ingredientes ativos e permite restringir plantas daninhas de controle difícil ao glifosato. A tecnologia promete trazer uma opção para o manejo em pré-semeadura.

Em 2010, os eventos ACS-GM005 e ACS-GM006 foram aprovados com o nome comercial de "Liberty Link" para cultivo no Brasil. O gene *pat* foi introduzido na soja a partir da bactéria *Streptomyces viridochromogenes* e confere resistência ao herbicida glufosinato de amônio. Ambos com potencial de uso no manejo de plantas daninhas resistentes ao glifosato (CIB, 2016).

O evento "MON87701 x MON89788" foi liberado no Brasil com o nome comercial "Intacta Roundup Ready2 Pro", a partir da introdução dos genes *cryIAC* (de *Bacillus thuringiensis* sub sp. Kurstaki strain HD73) e *cp4 epsps* (de *Agrobacterium tumefaciens* CP4) na soja. O evento MON 87701 possui o gene *CryIAC*, oriundo de *Bacillus thuringiensis*, e MON 89788 possui o gene *cp4 epsps*, oriundo de *Agrobacterium tumefaciens*. Além de tolerância ao herbicida glifosato, a tecnologia oferece proteção contra as principais lagartas da cultura da soja: lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*), lagarta-falsa-medideira (*Chrysodeixis includens* e *Rachiplusia nu*), lagarta-das-maçãs (*Heliothis virescens*) e bro-

ca-das-axilas ou broca-dos-ponteiros (*Crocidosema aporema*), além de supressão às lagartas do tipo Elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) e *Helicoverpa* (*H. zea* e *H. armigera*). A resistência e supressão às lagartas é decorrente da introdução na soja do gene *CryIAc*, da bactéria *Bacillus turingiensis* (CIB, 2016).

Em decorrência do observado no milho, em que as lagartas tornaram-se resistentes às proteínas codificadas pelo gene *Bt*, a durabilidade da tecnologia *Bt* na soja ainda é uma dúvida. Procedimentos de manejo, como a utilização do refúgio e o manejo integrado de pragas, devem ser utilizados para aumentar a durabilidade da tecnologia.

Em abril de 2015, foi aprovado no Brasil o evento DAS-68416-4, resultando em soja tolerante aos herbicidas 2,4-D e glufosinato de amônio. O evento é portador do gene *aad-12* que codifica a proteína *ariloxialcanoato dioxigenase* (AAD-12), responsável pela tolerância ao herbicida 2,4-D (ácido 2,4-Diclorofenoxiacético), e do gene *pat*, que codifica a proteína PATa, que confere tolerância ao herbicida glufosinato de amônio. A soja foi obtida por transformação genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens* (CIB, 2016).

Uma nova tecnologia que também se propõe a auxiliar o controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato é a *Enlist E3*. Trata-se em uma tecnologia em soja que, pela primeira vez, combina a resistência a três herbicidas distintos: glifosato, glufosinato de amônio e 2,4-D. Outras tecnologias para superar o problema de plantas daninhas resistentes a glifosato na cultura da soja são: a tecnologia Dicamba, que associa o gene de resistência ao glifosato com um novo gene, obtido da bactéria *Pseudomonas maltophilia*, e é capaz de degradar o herbicida Dicamba em pós-emergência, e a tecnologia HPPD, que utiliza um gene extraído da bactéria *Pseudomonas fluorescens*, que confere resistência aos herbicidas inibidores da enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD). Este grupo de herbicidas controla invasoras de folhas largas e também algumas gramíneas em pré e pós-emergência, com efeito residual. A tecnologia virá inicialmente combinada com a resistência ao glifosato (Calvo & Garcia, 2014).

A indústria já trabalha com as próximas gerações de sojas *Bt*, que trazem a associação de vários genes *Bt* em uma mesma planta. Isso torna a tecnologia mais duradoura, porque as lagartas têm mais dificuldade em superar a resistência da planta quando esta expressa mais de uma proteína inseticida *Bt* (ou seja, proteínas com diferentes modos de ação).

Uma nova geração de transgênicos tem buscado aumentar o teor de ácido oleico (Kinney, 1996; Kim *et al.*, 2015), aumentar teor de lisina (Falco *et al.*, 1995), produção de enzimas especiais (especialmente oxalato oxidase para a resistência à doença *Sclerotinia sclerotiorum*), ácidos graxos de cadeia longa, vitaminas, fármacos, tolerância à seca e ao frio, produção de bioplásticos, aumento de produtividade e outros benefícios. Embora em nível global haja ainda controvérsias sobre as plantas transgênicas, e pesquisas demandem altos volumes de investimentos financeiros, as pesquisas e os desenvolvimentos tecnológicos serão contínuos. As empresas envolvidas em biotecnologia prometem que, ao contrário da primeira geração de transgênicos, que buscou a resistência a herbicidas, no futuro buscarão atributos voltados à qualidade e a outras características de valor para o produtor e o consumidor final.

2. MELHORAMENTO GENÉTICO DO ALGODOEIRO

Por meio do melhoramento genético, com o contínuo desenvolvimento de novas cultivares de algodoeiro, ganhos significativos têm sido conquistados em produtividade, resistência às doenças e nematoides, qualidade da fibra, além de outras características. Em termos de produtividade, a contribuição da melhoria genética é informada nos estudos de Meredith Junior & Bridge (1984), Liu *et al.* (2013) e Campbell *et al.* (2014), que constataram ganhos genéticos e incrementos produtivos (*on-farm productivity*). Segundo Liu *et al.* (2013) e Campbell *et al.* (2014), os ganhos genéticos, em anos recentes, decorrem da melhoria do germoplasma, mas, principalmente, da contribuição de eventos transgênicos na solução de problemas específicos, como a competição com plantas daninhas e as perdas causadas por insetos-praga, características essas que promovem maior estabilidade de produção.

O desenvolvimento de novas cultivares é um processo dinâmico e contínuo de melhoramento do germoplasma e agregação de genes que conferem características e que permitam o enfrentamento dos problemas vividos pelas diferentes culturas e pelos sistemas de produção. Ambas as frentes (melhoramento convencional e biotecnologia) têm muito a avançar, seja por meio da diversidade do gênero *Gossypium*, seja por meio das inúmeras possibilidades de novos eventos biotecnológicos. Assim, os programas de melhoramento genético têm

a missão de pôr à disposição do setor produtivo cultivares ou eventos genéticos que agreguem ganhos e vantagens competitivas. A seguir, serão discutidos características e métodos de seleção no melhoramento do algodoeiro, considerando o desenvolvimento de cultivares para o ambiente tropical.

CARACTERÍSTICAS DE RELEVÂNCIA NO MELHORAMENTO DO ALGODOEIRO PARA AMBIENTE TROPICAL

No desenvolvimento de materiais genéticos melhorados, uma das etapas estratégicas é o entendimento do ambiente para o qual se busca desenvolver uma cultivar e, a partir desse, a identificação de características-alvo. Cultivares regionalmente melhoradas, resistentes a estresses bióticos e abióticos, aliadas às melhorias no sistema de produção, proporcionam avanços no aumento da produtividade. O Cerrado brasileiro, com suas especificidades de solo e clima, apresenta uma série de desafios a serem superados.

Embora tenham ocorrido avanços em termos de aperfeiçoamento dos sistemas de produção com algodoeiro, gerando incrementos em produtividade e qualidade da fibra, esses caracteres permanecem como os principais objetos de melhoramento.

Estima-se que, em nível de produção comercial (on-farm) no Cerrado brasileiro, houve um incremento contínuo de aproximadamente $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de algodão com caroço ao ano nos últimos dez anos (Conab, 2016). Verificando-se os resultados de produtividade e porcentagem de fibra de cultivares, obtidos nos Ensaios Nacional de Avaliação de Cultivares na safra 2013/2014 (*Figura 1*), publicados por Farias *et al.* (2015), em que 13 cultivares foram avaliadas em dez locais, constata-se que muitas dessas superaram a produção média de fibra ($1.800 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). No mesmo ano, a média de produtividade em nível de lavoura (on-farm productivity) foi de $1.546 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Conab, 2016). Em termos de porcentagem de fibra (*Figura 1*), constata-se que a média geral foi de 42%, havendo diversas cultivares com média superior a 43%.

O padrão de fibra das cultivares em uso no Cerrado brasileiro é o padrão de comprimento médio, com valores entre 29 mm e 31 mm. Também, considerando-se os resultados obtidos por Farias *et al.* (2015), é possível verificar que todas as cultivares apresentam média de comprimento de fibra superior a 29 mm, sendo que cinco cultivares tiveram fibra superior a 30 mm (*Figura 2*). A resistência da fibra

variou entre 28,4 gf.tex⁻¹ e 32,2 gf.tex⁻¹, sendo que apenas uma cultivar obteve resistência inferior a 29 gf.tex⁻¹ e seis cultivares obtiveram resistência acima de 30 gf.tex⁻¹.

Resultados de ensaios de cultivares e constatações nos programas de melhoramento permitem inferir que, em breve, estarão disponíveis para uso cultivares com potencial produtivo superior a 2 mil kg.ha⁻¹ de fibra e cultivares com padrão de qualidade de fibra superando 32,5 mm de comprimento e 33 gf.tex⁻¹ de resistência.

No bioma Cerrado, o cultivo de algodoeiro é realizado no período das chuvas. Entretanto, em alguns anos pode haver distribuição irregular destas, ocasionando estresses por falta de água. A disponibilização de cultivares com capacidade de resiliência frente ao estresse hídrico possibilita maior estabilidade produtiva e da qualidade de fibra. A resiliência pode ser proporcionada por exploração da variabilidade genética disponível no germoplasma ou a partir de eventos biotecnológicos. Na avaliação do germoplasma, com vistas à identificação de fontes de resiliência, tem sido utilizados caracteres de natureza morfofisiológica (temperatura do dossel e índices relacionados); índice de estado hídrico da planta ou folha; índices relacionados à transpiração e eficiência do uso da água, como discriminação isotópica de carbono (Brito *et al.*, 2014); ou mesmo dados de produção, como produtividade em ensaios sob condições de estresse hídrico, têm sido empregados em diversos programas voltados para esse tema. Entre as possibilidades de eventos biotecnológicos, podemos citar o DREB (*dehydration responsive element binding*), desenvolvido pelo Jircas (Japan International Research Center for Agricultural Sciences). Estudos preliminares em algodoeiro geneticamente modificado portador desse gene, executados em uma parceria entre Embrapa e Jircas, verificaram maior desenvolvimento da parte aérea e raízes, bem como aumento no número de estruturas reprodutivas, em comparação com plantas não modificadas geneticamente.

Já nos períodos de precipitação prolongada, a combinação de elevada umidade do ar e temperaturas favorece a incidência de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, com destaque para a mancha de ramulária (*Ramularia areola*), ramulose (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*), mancha angular (*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*) e doença azul (*Cotton Leafroll Dwarf Virus*). Diante da necessidade de cultivares com resistência a esses patógenos, nas últimas três décadas, diversos programas empenharam-se em identificar fontes

FIGURA 1. Médias de produtividade de fibra e porcentagem de fibra de 13 cultivares de algodoeiro, participantes dos Ensaios Nacionais de Avaliação de Cultivares. Média de 10 locais, safra 2013/2014. Adaptado de Farias et al. (2015).

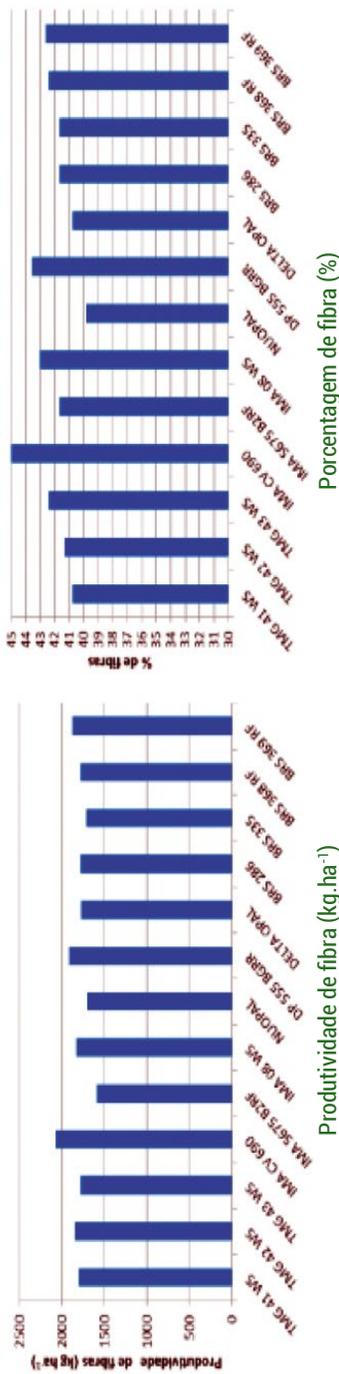
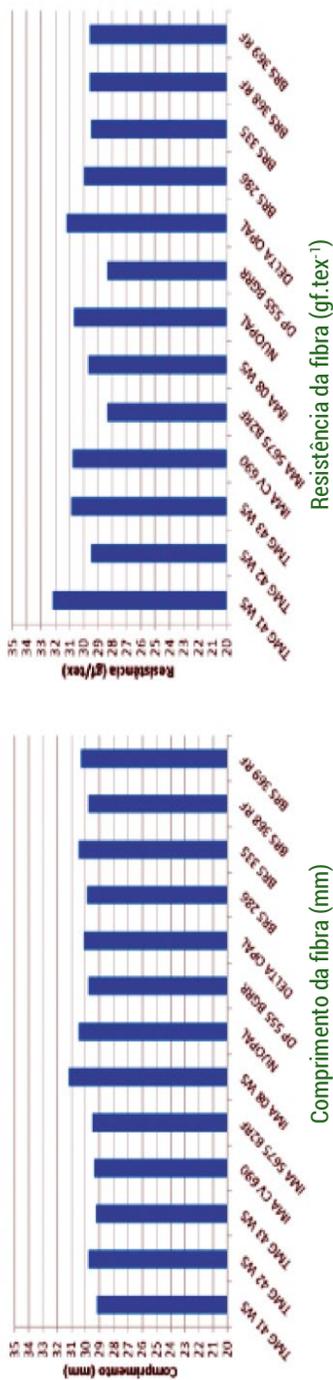


FIGURA 2. Médias de comprimento da fibra e resistência da fibra de 13 cultivares de algodoeiro, participantes dos Ensaios Nacionais de Avaliação de Cultivares. Média de 10 locais, safra 2013/2014. Adaptado de Farias et al. (2015).



de resistência e transferir tais genes para germoplasma com elevado valor agrônomo e de qualidade de fibra, podendo-se citar as cultivares BRS 269-Buriti, FMT 705, FMT 707 e BRS 372, como referências em termos de resistência a mancha de ramulária; as cultivares BRS Facual e BRS Aroeira como referências em termos de resistência a ramulose; as cultivares Delta Opal, FM 966 e FM 910 como referências em termos de resistência a mancha angular e as cultivares Delta Opal e BRS Cedro como referências em termos de resistência a doença azul. Também com ocorrência no cerrado do Brasil, ao menos três importantes espécies de nematoides distribuem-se em áreas de produção, como *Meloidogyne incognita*, *Rotylechulus reniformis* e *Pratylenchus brachyurus*; a resistência a esses nematoides também é almejada nos diversos programas. Com vistas à resistência ao *M. incognita*, após a disponibilização de marcadores moleculares (CIR 316 e BNL 3661) associados a dois genes de resistência, identificados na linhagem M 315, o desenvolvimento de cultivares portadoras desses genes tornou-se bastante facilitado, havendo, atualmente, diversas linhagens pré-comerciais em teste.

Em algumas partes do Cerrado brasileiro, principalmente em locais de altitude elevada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, existem duas possibilidades de épocas de semeadura do algodoeiro, nos meses de novembro/dezembro ou fevereiro. Principalmente para a semeadura tardia (fevereiro), quando o algodoeiro é semeado geralmente após a colheita da cultura da soja, o período com disponibilidade de chuvas é curto, de aproximadamente cem dias. Para esse sistema de cultivo, as cultivares com florescimento e maturação concentrada têm maiores possibilidades de adaptação. Nesse aspecto, a precocidade de maturação será decorrente da precocidade no florescimento, associada ao número de ramos vegetativos, e nos intervalos verticais e horizontais no florescimento e maturação entre posições nos ramos reprodutivos.

Com a adoção de cultivares GM, ocorreram significativas contribuições para o manejo de plantas daninhas e insetos-praga. A partir da primeira liberação comercial de algodão GM no Brasil, no ano de 2005 (ISAAA, 2016), a adoção de cultivares GM ocorreu de forma acentuada, atingindo 68,5% na safra 2014/2015 (Céleres, 2015). Atualmente, 12 eventos estão disponíveis para uso no Brasil, aprovados pela CTNBio (Tabela 2). De fato, é clara a necessidade de novas variedades GM, resistentes a lepidópteros e herbicidas, para a sustentabilidade

dos sistemas produtivos, haja vista serem notórios os benefícios proporcionados por eventos biotecnológicos.

TABELA 2. Eventos biotecnológicos disponíveis para uso no Brasil*.

Evento	Empresa obtentora	Ano de aprovação
MON 531 ("Bollgard")	Monsanto	2005
LLCotton25 ("LibertyLink")	Bayer	2008
MON1445 ("Roundup Ready")	Monsanto	2008
281-24-236 x 3006-210-23 (MXB-13) ("WideStrike")	DAS	2009
MON15985 ("Bollgard II")	Monsanto	2009
MON531 x MON1445 ("Roundup Ready" x "Bollgard")	Monsanto	2009
GHB614 ("GlyTol")	Bayer	2010
T304-40 x GHB 119 ("TwinLink")	Bayer	2011
MON88913 ("Roundup Ready Flex")	Monsanto	2011
GHB614 x (T304-40 x GHB119) ("GlyTol" x "TwinLink")	Bayer	2012
GHB614 x LLCotton25 ("GlyTol" x "LibertyLink")	Bayer	2012
MON88913 x MON15985 ("Roundup Ready Flex" x "Bollgard II")	Monsanto	2012

* ISAAA (2016)

Embora o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) seja o principal inseto-praga da cultura no Brasil, até o momento não há eventos biotecnológicos disponíveis para serem inseridos em germoplasma elite. Embrapa e outras instituições parceiras em pesquisa estão sendo convidadas com o propósito de desenvolver evento biotecnológico capaz de promover a mortalidade do inseto. Essa tecnologia, quando disponível, será mais uma ferramenta a ser adotada no manejo integrado para o controle do inseto. Também de relevância elevada em termos de insetos-praga, oito espécies de lepidópteros causam danos ao algodoeiro (*Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella*, *Chrysodeixis includens*, *Spodoptera frugiperda*, *Alabama argillacea*, *Spodoptera cosmioides*, *Heliothis virescens* e *Spodoptera eridania*). A resistência genética proporcionada por transgenes, inserida em germoplasma elite, é uma ferramenta relevante de controle a ser empregada no manejo integrado desses insetos-praga.

A temperatura e a umidade do solo durante o período de cultivo do algodoeiro são extremamente favoráveis ao desenvolvimento de plantas daninhas, que competem com as plantas de algodoeiro. Nesse cenário, o emprego de transgenes que conferem tolerância aos herbi-

cidas de espectro amplo é uma ferramenta importante para o manejo integrado de plantas daninhas.

Os sistemas de produção de algodão em ambiente tropical demandam cultivares de algodoeiro com resistência a insetos-praga e tolerância a herbicidas proporcionadas por eventos biotecnológicos, bem como outros possíveis benefícios a serem conferidos por transgenes. Porém, é fundamental que os avanços biotecnológicos estejam inseridos em germoplasma elite, com produtividade e estabilidade de produção, com fibra de alta qualidade, além da adaptação ao ambiente tropical, em termos de resistência a doenças e nematoides, atendendo às necessidades do setor produtivo e da indústria.

MÉTODOS EMPREGADOS NO MELHORAMENTO DO ALGODOEIRO

De modo bastante comum entre programas de melhoramento genético convencional de algodoeiro, ocorre a seguinte sequência de etapas no processo de desenvolvimento de cultivares: cruzamento entre genitores diferindo para características específicas, avanço de geração em populações segregantes, seleção de plantas individuais dentro de populações segregantes, avaliação de progênies das plantas selecionadas e avaliação de linhagens em diferentes estágios de endogamia, em ensaios com repetição e em múltiplos locais, a partir das progênies selecionadas.

A realização de cruzamentos entre dois ou mais genitores tem por objetivo gerar combinações híbridas que reúnam na descendência diferentes caracteres presentes nos genitores, bem como disponibilizar variabilidade genética para fins de seleção nas gerações segregantes. Na escolha dos genitores de maior potencial na síntese de populações, além da presença de caracteres de interesse, pode-se considerar a capacidade geral de combinação (CGC) desses, a partir de cruzamentos biparentais, conforme conceituado por Sprague e Tatum (1942). Metodologias genético-estatísticas, como cruzamentos dialélicos e top cross, permitem estimar a capacidade geral de combinação de genitores, destacando-se os métodos de análise de Griffing (1956) e de Gardner e Eberhart (1966). Dessa forma, genitores com maiores estimativas de CGC proporcionam maiores contribuições de efeitos genéticos aditivos e, portanto, para a variância genética aditiva nas populações em que participam, sendo essa porção da variabilidade genética a ser explorada na seleção.

A partir de combinações híbridas, geralmente, essas são avançadas

para geração F_2 sem nenhum tipo de seleção ou avaliação, por meio de autofecundações artificiais. A partir da geração F_2 , há várias possibilidades de metodologias de condução e seleção em populações segregantes, como o método *bulk* ou massal, *pedigree* ou genealógico ou *single-seed descent* (SSD) (Niles & Feaster, 1984; Lee, 1987).

Bourland (2013) descreve o uso do método SSD modificado nas gerações F_2 e F_3 , um dos mais empregados atualmente em programas de melhoramento do algodoeiro. O método prevê a colheita de um único capulho de cada planta da população, sem utilizar nenhum critério de seleção, perfazendo um total de 100 a 150 capulhos por população. Após duas gerações de SSD modificado, na geração F_4 , inicia-se a seleção de plantas individuais. Genótipos das plantas selecionadas serão avaliados como progênies $F_{4:5}$ e $F_{4:6}$ por dois anos em múltiplos locais. São selecionadas as progênies de produtividade superior às testemunhas ou que apresentam alguma característica específica, como resistência a doenças ou insetos-praga ou elevada qualidade de fibra. A partir dessa etapa, as linhagens derivadas das progênies selecionadas são avaliadas em ensaios com repetição, em múltiplos locais, entre três e quatro anos, decidindo-se então pelo lançamento ou pelo descarte. Esse método apresenta a vantagem de permitir realizar avanços de geração e, portanto, no nível de endogamia, mais rapidamente, empregando-se cultivos fora da época (entressafra) ou em condições controladas, como telados, permitindo também uma redução no tempo de obtenção das linhagens.

Outro método bastante comum na condução de populações segregantes de algodoeiro é o método da seleção genealógica ou *pedigree* (Niles & Feaster, 1984, Lee, 1987). Nesse, na geração segregante F_2 já são selecionadas plantas individuais, as quais darão origem a progênies $F_{2:3}$ a serem avaliadas no próximo ano. Por sua vez, dentro das progênies $F_{2:3}$, serão selecionadas plantas individuais, que darão origem às progênies $F_{2:3:4}$, a serem avaliadas no ano seguinte. Essa sequência de seleção de plantas dentro de progênies e avaliação de progênies é executada até a seleção de uma progênie que apresente uniformidade e alto desempenho. Em função da taxa de cruzamentos, um complicador nessa metodologia é a necessidade de autofecundações nas progênies, de forma a utilizar-se apenas sementes oriundas de autofecundação para as plantas selecionadas. A partir da seleção entre progênies, as linhagens derivadas passam a ser avaliadas em ensaios com repetição em múltiplos locais, por três a quatro gerações de avaliação.

Uma desvantagem do método genealógico é a necessidade da seleção de indivíduos no local e época indicados para o cultivo, fazendo com que o avanço de geração e do nível de endogamia seja obtidos em mais longo prazo, por conta de um único ciclo por ano e, conseqüentemente, retardando a obtenção das linhagens e das cultivares.

Embora pouco empregada no melhoramento do algodoeiro, a seleção recorrente é uma alternativa valiosa, principalmente com vistas ao melhoramento de múltiplos caracteres. Alguns estudos demonstram a efetividade dessa metodologia na alteração da média das populações, enquanto mantém a variabilidade genética e quebra as ligações gênicas, ao longo dos ciclos de seleção (Miller & Rawlings, 1967; Meredith Junior & Bridge, 1971). Para o emprego da seleção recorrente, é fundamental o estabelecimento de uma população-base com níveis médios de expressão dos caracteres de interesse e ampla variabilidade genética. Para a síntese da população-base, Miravalle (1964) sugere a obtenção de híbridos F_1 entre os genitores escolhidos, em esquema de cruzamentos dialélicos; ciclos de recombinação entre os híbridos, empregando-se *bulk* de pólen, até a geração C_n e, por meio de autofecundação, a obtenção da população C_nS_1 . Essa população (C_nS_1) será empregada no primeiro ciclo de seleção recorrente. A seleção recorrente caracteriza-se por ciclos sucessivos de seleção, compostos pelas etapas de seleção de indivíduos (obtenção de progênies), avaliação de progênies (seleção entre progênies) e recombinação de progênies selecionadas (reconstituição da população). Após sucessivos ciclos, quando as progênies em avaliação atingem o nível desejado de expressão dos caracteres, estas passam a integrar a rede de ensaios de avaliação de linhagens.

O método do retrocruzamento é bastante comum no melhoramento do algodoeiro, principalmente para a introgressão de caracteres controlados por um ou poucos genes, como aqueles relacionados à resistência a doenças (Lee, 1987). Entretanto, esse método passou a ser de uso generalizado a partir da adoção de cultivares transgênicas, sendo a principal opção para a conversão de linhagens com vistas à introgressão de transgenes. No processo de conversão de linhagens para transgenia, empregando-se um genitor doador, portador do caráter (transgenes) e um genitor recorrente (cultivar ou linhagem elite de desempenho elevado), a partir do híbrido F_1 obtêm-se sucessivas gerações de retrocruzamentos com o genitor recorrente. A cada geração de retrocruzamentos, são feitas avaliações para verificar a presença

dos genes sob introgressão, bem como para verificar o nível de similaridade com o genitor recorrente, empregando-se marcadores moleculares. O número de gerações de retrocruzamentos será em função do percentual desejado de recuperação do genoma do genitor recorrente. Nesse aspecto, quanto maior a similaridade genética entre genitor doador e recorrente, bem como a adoção de número significativo de marcadores moleculares na avaliação das gerações de retrocruzamentos, menor será o número de gerações necessárias para atingir-se o percentual desejado de recuperação do genoma do genitor recorrente. Após realizadas as gerações de retrocruzamentos, há a necessidade de fixação dos transgenes introgrididos, uma vez estes encontram-se em heterozigose. Assim, a geração RC_n é submetida à autofecundação para obtenção da população F_2RC_n , em que se espera encontrar ao menos um indivíduo portador de todos os transgenes introgrididos na condição de homozigose. A depender do número de transgenes, a probabilidade de ocorrência desse indivíduo torna-se bastante reduzida, o que demanda a obtenção de uma população F_2RC_n com excessivo número de indivíduos. Nessa situação, sugere-se a execução de duas autofecundações sucessivas, obtendo-se a população F_3RC_n , conforme proposto por Bonnett *et al.* (2005).

SELEÇÃO ASSISTIDA POR MARCADORES MOLECULARES NO MELHORAMENTO DO ALGODOEIRO

O uso de marcadores moleculares em algodoeiro permite a realização de diversos tipos de análises genéticas. Uma das aplicações mais comuns é a associação entre marcadores e características de importância agrônômica, decorrente da presença de um marcador fisicamente ligado a um gene que controla determinada característica. Tal associação possibilita a seleção indireta da característica-alvo apenas pela presença do marcador, já que o gene de interesse e o marcador tendem a não se separar durante a meiose. Esse procedimento é conhecido como seleção assistida por marcadores (SAM). A SAM de indivíduos em fases iniciais do programa oferece vantagens como a redução de custos e de tempo no processo de desenvolvimento de cultivares.

O uso em rotina de SAM, para auxiliar a transferência e a fixação de genes, é comum no melhoramento genético do algodoeiro atualmente. Os principais marcadores moleculares usados na atualidade em algodoeiro são do tipo microssatélite ou “sequências simples

repetidas” (do inglês *simple sequence repeats* - SSR), polimorfismo no comprimento de fragmentos amplificados (AFLP) e polimorfismo de nucleotídeo único (do inglês, *single nucleotide polymorphism* - SNP).

A eficiência da SAM dependerá da distância que separa o marcador molecular e o gene de interesse, sendo que quanto menor a distância, menor a probabilidade de que um evento de recombinação ocorra entre ambos, e, portanto, maior será a associação. Idealmente, o marcador encontrado dentro do gene de interesse impediria a ocorrência de recombinações que levassem à seleção errônea de indivíduos. Porém, na quase totalidade das vezes, o marcador não está contido no interior do gene, mas na mesma região. Para evitar o problema de falsos positivos e negativos, pode-se utilizar dois marcadores flanqueando o gene de interesse. Embora demande maior quantidade de trabalho para identificar os dois marcadores, a estratégia aumenta a eficiência da SAM.

O uso de SAM na introgressão de genes de resistência em programas de melhoramento genético é particularmente útil quando há dificuldade de seleção de genótipos resistentes por meio de fenotipagem. Nesses casos, as limitações na seleção fenotípica são superadas quando se emprega a seleção genotípica por meio de marcadores moleculares. Muitas vezes, um caráter importante pode necessitar de condições especiais para que se expresse, como no caso da resistência a doenças, que depende da fonte de inóculo, presença do genótipo suscetível e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. Para agentes etiológicos como os vírus, é determinante a presença de insetos vetores e que estes sejam portadores de partículas virais (virulíferos), o que dificulta sobremaneira a fenotipagem em campo e pode provocar erros do tipo falso negativos, em casos de escapes. No caso de nematoides, a dificuldade reside nos procedimentos adequados de avaliação da doença. Falhas em qualquer um dos fatores impedem a determinação do nível de resistência de genótipos com relação a doenças.

O procedimento mais usado pelos programas de melhoramento é realizar experimentos em locais em que o patógeno ocorre naturalmente em épocas que costumam ter condições ambientais que favoreçam o desenvolvimento da doença. Embora esse procedimento tenha permitido a seleção de cultivares resistentes e tolerantes às principais doenças, nem sempre os requisitos necessários à avaliação adequada estão presentes de acordo. Em consequência, é comum a realização de classificações errôneas, que somente são percebidas em estágios

mais avançados do processo de melhoramento. Em alguns casos, é possível executar a seleção em condições mais controladas, usando procedimentos que incluem a inoculação artificial e o controle parcial ou integral das condições ambientais. Porém, para que possa ser realizado de modo acurado, quase todas as metodologias exigem que os testes sejam feitos com um número relativamente grande de repetições, o que torna o processo impossível de ser realizado nas gerações iniciais dos programas de melhoramento; também o custo das avaliações em condições controladas costuma ser alto. Desse modo, avaliações com metodologias mais acuradas são empregadas apenas em estágios bastante avançados dos programas de melhoramento.

Por conta da impossibilidade prática em realizar inoculações artificiais nos milhares de genótipos gerados a cada ano pelos programas de melhoramento do algodoeiro, associada ao fato de que a quantidade de inóculo naturalmente presente não é homogênea para os principais patógenos, sendo frequente a ocorrência de escapes, a confiabilidade do processo de seleção em condições de infecção natural é pequena, com possibilidades de eliminar plantas com níveis adequados de resistência e manter outras suscetíveis até estágios bastante avançados do programa de melhoramento. Em ambas situações, o resultado é uma perda de eficácia do programa.

Para mancha angular, doença azul e nematoide-das-galhas, doenças que têm herança simples e que fenotipagens adequadas são de difícil execução em campo, sendo a presença de suscetibilidade em genótipos um fator impeditivo para que sejam lançados como cultivares, verifica-se que o emprego de seleção assistida por marcadores moleculares apresenta-se como a melhor ferramenta.

Para o nematoide-das-galhas é bem documentada a fonte de resistência Auburn 623, que possui dois genes de resistência, um localizado no cromossomo II e outro no cromossomo 14. Usando uma fonte de resistência ao nematoide, oriunda de Auburn 623 RKN, M-120 RNR, Shen *et al.* (2006) relataram que o marcador tipo SSR CIR 316 estava associado à resistência e localizado no cromossomo II. Foi confirmada a associação do marcador CIR 316 com o gene de resistência localizado no cromossomo II e que a esta ocorre por causa do menor número de galhas produzidas (Gutiérrez *et al.*, 2010). Outros marcadores tipo SSR também foram identificados, tanto no cromossomo II, marcador BNL 123I, quanto no cromossomo 14, marcadores BNL 366I, BNL 3644 e BNL 3545 (Ynturi *et al.*, 2006). O gene encontrado no cromossomo 14

é responsável pela redução na produção de ovos por fêmeas do nematoide (Gutiérrez *et al.*, 2010; He *et al.*, 2014). Os marcadores CIR 316 e BNL 366I são usados em rotina no programa de melhoramento do algodoeiro da Embrapa desde 2011.

Também de herança simples, as avaliações de indivíduos das populações segregantes com marcadores ligados aos genes *rghv1* (resistência à doença azul, marcador DC 20027) e B12 (resistência à mancha angular, marcador CIR 246), podem ser realizadas a partir dos procedimentos detalhadamente descritos por Fang *et al.* (2010) e Xiao *et al.* (2010) e envolvem a detecção de marcadores do tipo SSR e SNP.

Trabalhos visando o desenvolvimento de procedimento para a seleção assistida estão em desenvolvimento no Brasil e no mundo. Parte significativa dos programas usa a seleção assistida para diversas características, incluindo transgenes e resistência à mancha angular, à doença azul e aos nematoides-das-galhas e reniforme. A seleção assistida também vem sendo comumente empregada na transferência de transgenes para cultivares, processo conhecido como seleção genômica. Neste caso, um conjunto de marcadores é usado para acelerar o processo de retrocruzamento, sendo selecionados os indivíduos mais similares ao genitor recorrente.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Os programas de melhoramento genético de plantas são estratégicos e assunto de segurança nacional para um país com vocação agrícola como o Brasil. O país ocupa posição de destaque entre os produtores de soja e algodão, culturas de grande relevância econômica e, portanto, com reflexos diretos sobre o produto interno bruto (PIB) agrícola. Além da busca contínua por ganhos genéticos que proporcionem incrementos em produtividade e qualidade, existem diversos desafios de natureza climática e fitossanitária, típicos de ambiente tropical, cuja solução deverá advir do melhoramento genético. A melhoria na característica de resiliência das plantas ao estresse hídrico é um exemplo de desafio para os programas de melhoramento de soja e algodão, uma vez que as perdas em produtividade e qualidade são frequentes em condições de cultivos não irrigados.

A produção também é afetada severamente por vários agentes bióticos, como insetos-praga, fungos, bactérias, vírus e nematoides, favorecidos pelas condições climáticas encontradas em determina-

das regiões. Para vencer os desafios impostos aos sistemas de cultivo intensivo, como o da soja e o do algodão, é imprescindível avançar no desenvolvimento de novos eventos transgênicos ou estratégias de piramidação de genes. Vale destacar a mais significativa demanda na cultura do algodoeiro, relativa à resistência ao bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*). Assim como a identificação de fontes de resistência à ferrugem asiática e a insetos sugadores na soja.

As pesquisas colaborativas em melhoramento genético clássico e biotecnologia, envolvendo empresas e instituições públicas e privadas, permitem, além do compartilhando de estruturas, o de experiências e competências diversas, favorecendo o avanço rápido no desenvolvimento de tecnologias. Entretanto, no cenário de competição acirrada por ativos tecnológicos e mercadológicos, fomentar a pesquisa colaborativa em biotecnologia e melhoramento genético também é um grande desafio. O projeto CAWaS (*Cotton Adaptation to Water Stress*) — uma parceria entre Embrapa, Cirad e IMAmt — mostra que tal desafio pode ser superado e proporcionar contribuição significativa no enfrentamento de problemas típicos dos sistemas de cultivo intensivo.

Referências

AINSWORTH, E. A., YENDREK, C. R., SKONECZKA, J. A., & LONG, S. P. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement. **Plant, cell & environment**, v. 35, n. 1, p. 38-52, 2012.

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R.; PITOL, C.; PRADO, L.C.; STECKLING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v. 49, p. 801-808, 2009.

ALLIPRANDINI, L. F.; TOLEDO, J. F. F. de; FONSECA JÚNIOR, N. S.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. de. Ganho Genético em Soja no Estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 489-497, abr.1993.

ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R.A.S.; MIRANDA, M.A.C.; CAMPELO, G.J.A. Melhoramento da soja para regiões de baixa latitude. In: QUEIRÓZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Org.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Brasília: EMBRAPA, 1999. cap. 5, p. 73-88.

ANAND, S. C. Registration of 'Hartwig' soybean. **Crop Science**, v. 32, p. 1069-1070, 1992.

BARKER, K. R., PEDERSON, G. A., WINDHAM, G. L. Plant and nematode interactions. **American Society of Agronomy**, 1998.

BOERMA, H. R.; WALKER, D. R. Discovery and utilization of QTLs for insect resistance in soybean. **Genetica**, v. 123, p.181-189, 2005.

BONNETT, D. G.; REBETZKE, G. J.; SPIELMEYER, W. Strategies for efficient implementation of molecular markers in wheat breeding. **Molecular Breeding**. v.15, p.75-85, 2005.

BOURLAND, F. M. Novel approaches used in the University of Arkansas cotton breeding program. In: **Proceedings of the Beltwide Cotton Conference**, National Cotton Council of America, San Antonio, TX. 7-10 Jan. 2013. National Cotton Council of America, Memphis, TN. p. 409-418.

BRITO, G. G.; SUASSUNA, N. D.; DIOLA, V.; SOFIATTI, V.; DUCATTI, C.; SILVA, E. T.; MORELLO, C. L. Carbon isotope fractionation for cotton genotype selection. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 673-682, 2014.

CALVO, E.; GARCIA, A. Biotecnologia na soja: os transgênicos nos próximos cinco anos. In: **Boletim de Pesquisa de Soja** n. 16 2013/2014. Fundação MT. p. 40-44, 2014.

CAMPBELL, T. B.; BOYKIN, D.; ABDO, Z.; MEREDITH JUNIOR, W. R. Cotton. In: **SMITH, S.; DIERS, B.; SPECHT, J.; CARVER, B. (Ed.) Yield gains in major US field crops**. Madison: American Society of Crop Science, 2014. p. 13-32.

CÉLERES: Informativo biotecnologia. http://www.celeres.com.br/docs/biotecnologia/IB1501_150611.pdf. Acesso: 02 de maio de 2016.

CHEN, M., WANG, Q. Y., CHENG, X. G., XU, Z. S., LI, L. C., YE, X. G., ... MA, Y. Z. Gm-DREB2, a soybean DRE-binding transcription factor, conferred drought and high-salt tolerance in transgenic plants. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 353, n. 2, p. 299-305, 2007.

CHUNG, J., BABKA, H. L., GRAEF, G. L., STASWICK, P. E., LEE, D. J., CREGAN, P. B., ..., SPECHT, J. E. The seed protein, oil, and yield QTL on soybean linkage group I. **Crop Science**, v. 43, n. 3, p. 1053-1067, 2003.

CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Eventos Liberados. Disponível em <http://cib.org.br/biotecnologia/regulamentacao/ctnbio/eventos-aprovados/btrr2y/>. Acessado em 25 de maio de 2016.

COBER, E. R.; D VOLDENG, H. Developing high-protein, high-yield soybean populations and lines. **Crop Science**, v. 40, n. 1, p. 39-42, 2000.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO: Séries históricas. http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=1#A_objcmsconteudos. Acesso: 31 de maio de 2016.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. de S. Nematoides em soja: identificação e controle. Londrina, 2010. 7 p. (Embrapa Soja: **Circular Técnica** 76).

DIERS, B. Marker-assisted selection for soybean cyst nematode resistance in soybean. **Phytopathology**, Vol.95(6):S139. 2005.

DOLDI, M. L.; VOLLMANN, J.; LELLEY, T. Genetic diversity in soybean as determined by RAPD and microsatellite analysis. **Plant Breeding**, v. 116, p. 331-335, 1997.

DUDLEY, J. P.; WOODFORD, M. H. Bioweapons, bioterrorism and biodiversity: potential impacts of biological weapons attacks on agricultural and biological diversity. **Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties** v. 21, p. 125-137, 2002.

ELMORE, R.W.; ROETH, F.W.; NELSON, L.A.; SHAPIRO, C.A.; KLEIN, R.N.; KNEZEVIC, S.Z.; MARTIN, A. Glyphosate-Resistant Soybean Cultivar Yields Compared With Sister Lines. **Agron. J.**, 93, 408-412. 2001.

FALCO, S.C.; GUIDA, T.; LOCKE, M.; MAUVAIS, J.; SANDERS, C.; WARD, R.T.; WEBBER, P. Transgenic canola and soybean seeds with increased lysine. **Biotechnology** 13:577-582. 1995.

FANG, D. D.; XIAO, J.; CANCI, P. C.; CANTRELL, R. G. A new SNP haplotype associated with blue disease resistance gene in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v.120, p. 943-953, 2010.

FARIAS, F. J. C.; SILVA FILHO, J. L. da; MORELLO, C. L.; SUASSUNA, N. D.; PEDROSA, M. B.; LAMAS, F. M.; RIBEIRO, J. L. Resultados do ensaio nacional de cultivares de algodoeiro herbáceo nas condições do cerrado – safra 2013/2014. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2015. P. 1-51. (Embrapa Algodão. **Documentos**, 257).

FENG, L., BURTON, J. W., CARTER, T. E., PANTALONE, V. R. Recurrent half-sib selection with testcross evaluation for increased oil content in soybean. **Crop Science**, v. 44, n. 1, p. 63-69, 2004.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. In: SILVA, J. F. V. (Org.). **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 15-38.

FOX, C. M.; CARY, T. R.; NELSON, R. L.; DIERS, B. W. Confirmation of a Seed Yield QTL in Soybean. *Crop Science*, Vol.55(3): 992-998. 2015.

FOX, C. M.; KI-SEUNG, K.; PERRY, C.; CURTIS, H.; HARTMAN, G.; DIERS, B. Inheritance of soybean aphid resistance in 21 soybean plant introductions. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 127, n. 1, p. 43-50, jan. 2014.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESSENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 274-278.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22, p. 439-452, 1966.

GORDON, S.; KOWITWANICH, K.; PIPATPONGPINYO, W.; ST MARTIN, S.K.; DORRANCE, A. Molecular Marker Analysis of Soybean Plant Introductions with Resistance to *Phytophthora sojae*. **Phytopathology**, v. 97 p. 113-118, 2007.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, v.9, p. 463-493, 1956.

GUTIÉRREZ, O. A.; JENKINS, J. N.; MCCARTY, J. C.; WUBBEN, M. J.; HAYES, R. W.; CALLAHAN, F. E. SSR markers closely associated with genes for resistance to root-knot nematode on chromosomes 11 and 14 of upland cotton. **Theoretical and Applied Genetics**, v.121, p. 1323-1337, 2010.

HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B. Red leaf blotch (*Dactuliochaeta glycinis*) of soybeans (*Glycine max*) and its relationship to yield. **Plant Pathology**, 45, 332–343. 1996.

HARTWIG, E. E.; KIIHL, R. A. S. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. **Field Crops Research**, v. 2, p. 145-151, 1979.

HE, Y.; KUMAR, P.; SHEN, X.; DAVIS, R. F.; VAN BECELAERE, G.; MAY, O. L.; NICHOLS, R. L.; CHEE, P. W. Re-evaluation of the inheritance for root-knot nematode resistance in the Upland cotton germplasm line M-120 RNR revealed two epistatic *QTLs* conferring resistance. **Theoretical and Applied Genetics**, v.127, p.1343–1351, 2014

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. Manual de identificação de doenças de soja. **Documentos 256**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76p.

HILL, C. B., LI, Y.; HARTMAN, G. L. A single dominant gene for resistance to the soybean aphid in the soybean cultivar Dowling. **Crop Science**, v. 46, p. 1601-1605, 2006.

HIROTSUKA, M. Current and Future Uses of Soy: Expectations for Soybean Breeding. **Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi**, v. 9 (8), p. 424-428, 2012.

ISAAA - INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS. Disponível em: <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/approvedeventsin/default.asp?CountryID=BR&%20Country=Brazil>. Acesso: 30 de abril de 2016.

JIAN, J.; LIUA, X.; WANGA, G.; MIA, L.; SHENB, Z.; CHENB, X.; HERBERT, S. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**. Vol. 115 (1,4): 116–123. 2010.

KENWORTHY, W. J.; BRIM, C. A. Recurrent selection in soybeans. I. Seed yield. **Crop Science**, v. 19, n. 3, p. 315-318, 1979.

KIM, H.; BO- KEUN, H.; KEON- SOO, H.; JONG- HYUN, C.; JI- HO, P.; MIN-SU, K.; SOVETGUL, A.; SHANNON, J. G.; CHANG-KI, S.; JEONG- DONG, L. Comparison of a high oleic acid soybean line to cultivated cultivars for seed yield, protein and oil concentrations. **Euphytica**, v 201(2), p. 285-288, Jan. 2015.

KIM, K.; CHIRUMAMILLA, A.; HILL, C.; HARTMAN, G.; DIERS, B. Identification and molecular mapping of two soybean aphid resistance genes in soybean PI 587732. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 127(5), p. 1251-1259, 2014.

KING, C. A.; PURCELL, L. C.; BRYE, K. R. Differential wilting among soybean genotypes in response to water deficit. **Crop Science**, v. 49, n. 1, p. 290-298, 2009.

KINNEY, A. J. Development of genetically engineered soybean oils for food applications. **J Food Lipids** 3:273-292. 1996.

LEE, J. A. Cotton. In: **FERH, W. R. (Ed.) Principles of cultivar development.** Nova York, Estados Unidos: MacMillan, 1987. Cap. 5, p. 126-160.

LIU, S. M.; CONSTABLE, P. E.; REID, P. E.; STILLER, W. N.; CULLIS, B. R. The interaction between breeding and crop management in improved cotton yield. **Field Crops Research**. v.148, p. 49-60, 2013.

LUZZI, B. M.; BOERMA, H. R.; HUSSEY, R. S. A gene for resistance to the southern root-knot nematode in soybean. **Crop Science**, v. 35, p. 50-53, 1995a.

LUZZI, B. M.; TAMULONIS, J.; HUSSEY, R. S.; BOERMA, H. R. Inheritance of resistance to the javanese root-knot nematode in soybean. **Crop Science**, v. 35, p. 1372-1375, 1995b.

MEKSEM, K.; PANTAZOPOULOS, P.; NJITI, V. N.; HYTEN, L. D.; ARELLI, P. R.; LIGHTFOOT, D. A. 'Forrest' resistance to the soybean cyst nematode is bigenic: Saturation mapping of the Rhg1 and Rhg4 loci. **Theoretical and Applied Genetics**, 103, 710-717, 2001.

MEREDITH JUNIOR, W. R.; BRIDGE, R. R. Breakup of linkage blocks in cotton, *Gossypium hirsutum* L. **Crop Science**, v. 11, p. 695-698, 1971.

MEREDITH JUNIOR, W. R.; BRIDGE, R. R. Genetic contributions to yield changes in upland cotton. In: **FERH, W. R. (Ed.) Genetic contributions to yield gains of five major crop plants.** Madison: American Society of Crop Science, 1984. p. 75-86.

MILLER, P. A.; RAWLINGS, J. O. Breakup of initial linkage blocks through intermating in a cotton breeding populations. **Crop Science**, v.7, p. 199-204, 1967.

MIRAVALLE, R. J. A. new bulked pollen method for cotton cross fertilization. **Journal Heredity**. v.6, p. 276-280, 1964.

MYERS, O.; YOPP, J. H.; KRISHNAMANI, M. B. S. Breeding soybean for drought resistance. In.: **JANICK, J. (ed.) Plant breeding reviews.** Vol. 4, AVI Publishing Co., Westport, CT. p. 203-43, 1986.

MUQIANG, G.; HONGYAN, Z. Fine mapping of a major quantitative trait locus that regulates pod shattering in soybean. **Molecular Breeding**, v. 32(2), p. 485-491, 2013.

NILES, G. A.; FEASTER, C. V. Breeding. In: **KOHER, R. J.; LEWIS, C. F. (Ed.) Cotton.** Madison, Estados Unidos: American Society of Agronomy, 1984. Cap. 7, p. 202-229.

OLIVEIRA, M. F. de. Avaliação de cinco estratégias de amostragem para a obtenção da coleção nuclear de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). 2007. 143 f **Tese** (Doutorado em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OPLINGER, E. S.; MARTINKA, M. J.; SCHMITZ, K. A. Performance of transgenic soybeans: Northern United States. In: Proc. of the 28th Soybean Seed Research Conf., Chicago, IL. Dec. Am. Seed Trade Assoc., Washington, DC, 10-14. 1998.

ORF, J. H.; DIERS, B. W.; BOERMA, H. R. Genetic Improvement: Conventional and Molecular based Strategies. In: SHIBLES, R. M. and SPECHT, J.E. (eds.) **Soybeans: Improvement, Production and Uses**. ASA, CSSA, SSSA, Wisconsin, Estado Unidos, 417-450. 2004.

PATHAN, M. S., LEE, J. D., SHANNON, J. G., NGUYEN, H. T. Recent advances in breeding for drought and salt stress tolerance in soybean. In: **Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops**. Springer Netherlands, 2007. p. 739-773.

PREUSS, S. B; MEISTER, R.; XU, Q.; URWIN, C. P.; TRIPODI, F. A.; SCREEN, S. E.; ANIL, V. S; ZHU, S.; MORRELL, J. A.; LIU, G.; RATCLIFFE, O. J.; REUBER, T. L.; KHANNA, R.; GOLDMAN, B. S.; BELL, E.; ZIEGLER, T. E.; MCCLERREN, A. L.; RUFF, T. G.; PETRACEK, M. E. Expression of the *Arabidopsis thaliana* BBX32 Gene in Soybean Increases Grain Yield. **PLOS ONE** 7(2): e30717. 2012.

RAMOS JÚNIOR, E. U.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; FERRARI, E.; FALEIRO, V. de O.; SHIRATSUCHI, L. S.; DIAS, W. P.; FREITAS, C. M. de; SILVA, E. E.; TAVARES, G. F. Cultivo de soja sobre soja e sua influência na população de *Pratylenchus brachyurus* e na produtividade de grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja: **anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 3 p. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P. Distribuição de fitonematóides em regiões produtoras de soja do Estado do Mato Grosso. Disponível em: <<http://aprosmat.com.br/wp-content/uploads/2012/11/DISTRIBUICAO-DE-FITONEMATOIDES.pdf>> Acessado em: 08 mai. 2016.

RIES, L. L., PURCELL, L. C., CARTER, T. E., EDWARDS, J. T., KING, C. A. Physiological traits contributing to differential canopy wilting in soybean under drought. **Crop Science**, v. 52, n. 1, p. 272-281, 2012.

ROGERS, J., CHEN, P., SHI, A., ZHANG, B., SCABOO, A., SMITH, S. F., ZENG, A. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. **Plant Breeding**, v. 134, n. 1, p. 85-93, 2015.

SANTOS, T. F. S.; RIBEIRO, N. R.; POLIZEL, A. C.; MATOS, D. S.; FAGUNDES, E. A. A. Controle de *Pratylenchus brachyurus* em esquema de rotação/sucessão com Braquiária e Estilosantes. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7 (13), p. 248-254, 2011.

SHEN, W.; VAN BECELAERE, G.; KUMAR, P.; DAVIS, R. F.; MAY, O. L.; CHEE, P. QTL mapping for resistance to rot-knot nematodes in M-120 RNR Upland cotton line (*Gossypium hirsutum* L.) of the Auburn 623 RNR source. **Theoretical and Applied Genetics**. v.113, p.1539-1549, 2006.

SINCLAIR, T. R., PURCELL, L. C., KING, C. A., SNELLER, C. H., CHEN, P., VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 68-71, 2007.

SILVA, J. F. V. Resistência genética de soja a nematoides do gênero *Meloidogyne*. **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja/Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 95-127, 2001

SPECHT, J. E.; HUME, D. J.; KUMUDINI, S. V. Soybean yield potential - A genetic and physiological perspective. *Crop Science* 39: 1560–1570. 1999.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.34, p.923-932, 1942.

SUDARIC, A.; VRATARIC, M.; MLADENOVIC DRINIC, S.; MATOSA, M. Biotechnology in soybean breeding. **Genetika**, 42 (1), p. 91-102, 2010.

TOLEDO, J. F. F. de; ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. de S.; MENOSSO, O. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.1, p.89-94, jan. 1990.

TONON, B. C.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; FARIAS, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R.; PINHEIRO, B. C. Relação do índice de satisfação das necessidades de água com a produtividade da soja em diferentes sistemas de manejo e de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. Riscos climáticos e os cenários futuros para a agricultura: **Anais**. Guarapari: INCAPER, 2011. 5 p. (INCAPER. Documentos, 14).

TOWNSHEND, J. L. Methods for evaluating resistance to lesion nematodes, *Pratylenchus* species. In: STARR, J. L. (ed.). **Methods for evaluating plant species for resistance to plant-parasitic nematodes**. Hyattsville: The Society of Nematologists, 1990.

XIAO, J.; FANG, D. D.; BHATTI, M.; HENDRIX, B.; CANTRELL, R. G. A. SNP haplotype associated with a gene resistant to *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Molecular Breeding**. v. 25, p. 593-602, 2010

VERMA, D. P. S.; SHOEMAKER, R. C. **Soybean: Genetics, Molecular Biology and Biotechnology** Biotechnology in Agriculture No. 14. CAB International, Reino Unido.1996. 270 p.

WILCOX, J. R. Breeding soybeans resistant to diseases. In.: JANICK, J. (ed.) **Plant breeding reviews**. Vol. 1, AVI Publishing Co., Westport, Estados Unidos. p. 183-235, 1983.

WILCOX, J. R. Increasing seed protein in soybean with eight cycles of recurrent selection. **Crop Science**, v. 38, n. 6, p. 1536-1540, 1998.

WILCOX, J. R.; GUODONG, Z.. Relationships between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, v. 37, n. 2, p. 361-364, 1997.

WILCOX, J.; SEDIYAMA, T. Interrelationships among height, lodging and yield in determinate and indeterminate soybeans. **Euphytica**, v. 30(2), p. 323-326, 1981.

YNTURI, P.; JENKINS, J. J.; MACCARTY JUNIOR., J. C.; GUTIÉRREZ, O. A., SAHA, S. Association of root-knot nematode resistance genes with simple sequence repeat markers on two chromosomes in cotton. **Crop Breeding and Genetics**. v. 46, p.2670-2674, 2006.

Capítulo 8

ELEMENTOS PARA CONSTRUIR UMA AGENDA DE PESQUISA QUE ASSEGURE SUSTENTABILIDADE À EXPANSÃO AGRÍCOLA DO CERRADO BRASILEIRO

João Eduardo de Moraes Pinto Furtado

joão@elaboraconsultoria.com.br

Elabora Consultoria

Priscila Socoloski

priscila@elaboraconsultoria.com.br

Elabora Consultoria

Guilherme Vaz França Reis

guilhermevaz@elaboraconsultoria.com.br

Elabora Consultoria

RESUMO. *O Cerrado brasileiro passou, em um período de três décadas, de uma zona de fronteira agropecuária a uma região onde a agricultura e a pecuária estão bem consolidadas e são um grande motor do setor agropecuário nacional e mundial. A sustentabilidade dessa expansão agrícola no Cerrado passa pelo enfrentamento de diversos desafios, que se complementam e podem comprometer a competitividade da região. Em todos os âmbitos — da infraestrutura, da defesa sanitária, da difusão de tecnologia, dos investimentos em pesquisa, tecnologia e inovação —, a chave para esse enfrentamento passa pela integração dos protagonistas do sistema agrícola. É preciso construir uma visão compartilhada entre os setores público e privado, para que haja um engajamento conjunto para desenhar um novo modelo de governança que permita avançar à solução dos problemas.*

Para o enfrentamento dos desafios, são fundamentais o estabelecimento

de parcerias e a construção de uma agenda compartilhada de C&T&I que se baseie no diagnóstico das barreiras enfrentadas, para daí definir o planejamento e a execução de atividades de pesquisa agrícola que proporcionem alcançar sucesso nos resultados.

A IMPORTÂNCIA DAS NOVAS ÁREAS DE EXPANSÃO AGRÍCOLA DO CERRADO

A expansão recente da agricultura brasileira esteve fortemente apoiada nas novas regiões do Cerrado, em áreas consolidadas e nas novas fronteiras. Entre 2003 e 2014, as 11 microrregiões do Estado de

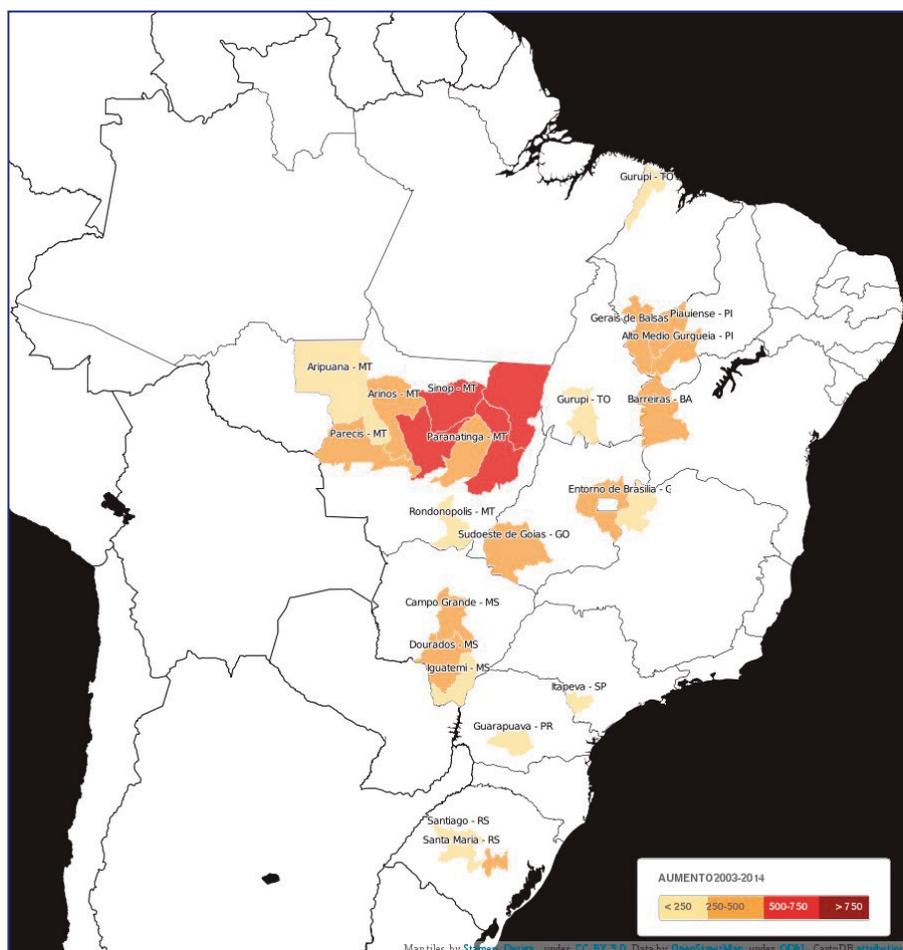


FIGURA 1. Aumento da produção de milho nas 25 principais microrregiões brasileiras no período de 2003 a 2014 (em milhões de toneladas). Fonte: IBGE, 2014 [Figura elaborada pelos autores com base em dados de IBGE, 2014].

Mato Grosso (o maior da região e onde se concentrou a expansão agrícola) que apresentaram os maiores aumentos de produção de milho responderam por 95% do aumento total da produção brasileira do grão (*Figura 1*). No caso da soja, a principal cultura de exportação, as oito microrregiões de Mato Grosso que apresentaram volumes de crescimento mais expressivos responderam, no mesmo período, por 30% do crescimento total (*Figura 2*).

Os desafios desse crescimento tão expressivo em regiões pioneiras são notáveis e desdobram-se em várias dimensões. Seguindo uma categorização conhecida e bastante difundida, é possível reconhecer que existem problemas dentro e fora *da porteira*, uma expressão que

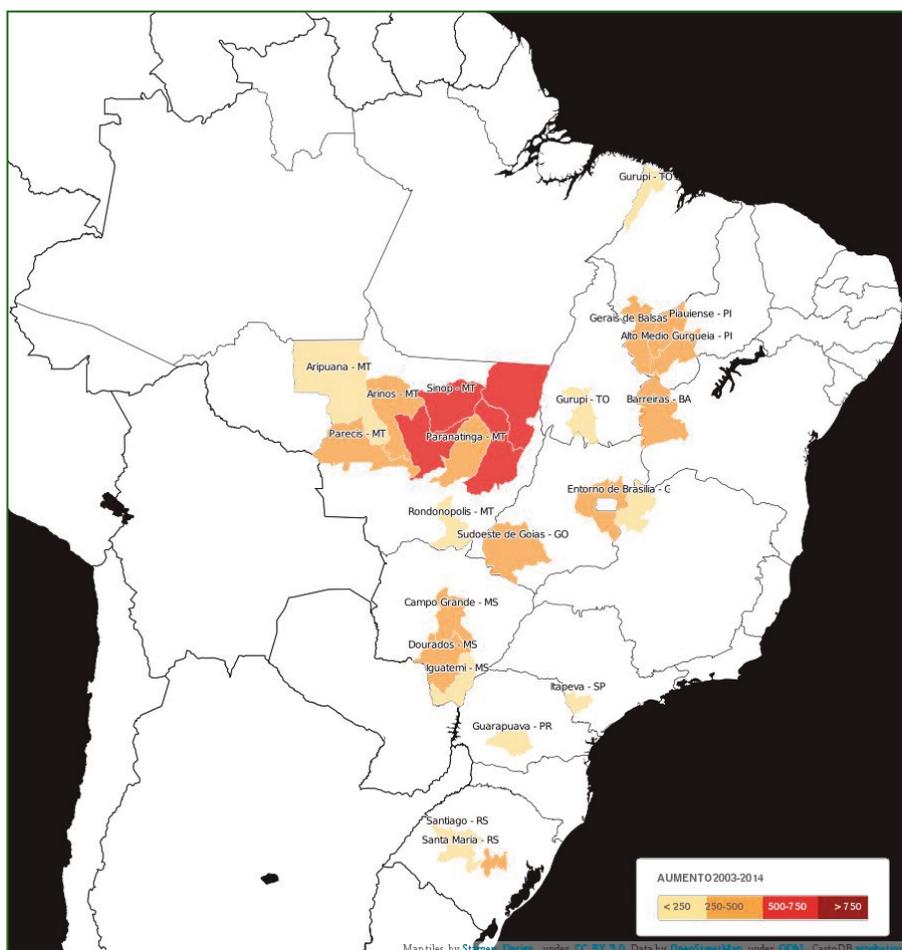


FIGURA 2. Aumento da produção de soja nas 25 principais microrregiões brasileiras no período de 2003 a 2014 (em milhões de toneladas). Fonte: IBGE, 2014. [Figura elaborada pelos autores com base em dados de IBGE, 2014].

tem sido amplamente usada para designar a existência de um rendimento elevado da atividade agrícola propriamente dita (o “dentro da porteira”) e uma subtração econômica aos rendimentos dos produtores por custos e perdas no transporte e na armazenagem (o “fora da porteira”). Assim tem sido tratado o assunto da competitividade da agricultura brasileira, sobretudo nas áreas de expansão, mais recentes e mais distantes das infraestruturas construídas ao longo de décadas.

Essa separação estanque entre os dois lados da porteira foi importante para mostrar a necessidade de investimentos que pudessem estancar a sangria dos resultados econômicos da atividade agrícola decorrente de insuficiências e deficiências que não podem ser preenchidas ou superadas por nenhum agricultor e, na maior parte dos casos, tampouco pelos produtores em seu conjunto ou mesmo pela iniciativa privada de uma maneira geral. Mesmo que os agricultores pudessem, por ações coletivas, reunir capitais e formar as competências necessárias, é difícil conceber soluções em que a iniciativa privada pudesse tornar-se protagonista e prescindir das ações estruturantes e de planejamento dos poderes públicos. É claro que o papel dos organismos federais e estaduais — como ministérios, agências regulatórias, organismos de financiamento — é indispensável à estruturação do território e que nenhum investimento privado relevante pode ser realizado sem uma estreita colaboração com os organismos públicos pertinentes ao tema (Diniz, 2013).

No caso da Região Centro-Oeste, e com intensidade ainda maior no caso do Estado de Mato Grosso, a importância das carências e das novas demandas é extraordinariamente grande. Afinal, trata-se de um estado com características muito singulares, com um território vasto, uma população de dimensões reduzidas e — mais importante — uma ocupação bastante recente de uma fração de sua vasta fronteira agrícola.

O destaque dado ao problema durante um longo período, traduzido no termo “apagão logístico”, contribuiu para desencadear uma série de iniciativas de natureza pública e privada que estão contribuindo para atenuar de modo muito substancial um bom número dos maiores gargalos existentes. Os eixos de escoamento mapeados são apresentados na *Figura 3*.

Embora muitos dos investimentos que estão sendo realizados ainda não tenham amadurecido completamente, inclusive por investimentos complementares de integração, existem já sinais muito claros de seus resultados. Cada uma das principais rotas conheceu investimentos que estão melhorando seu desempenho e reduzindo os ônus impostos aos agricultores.

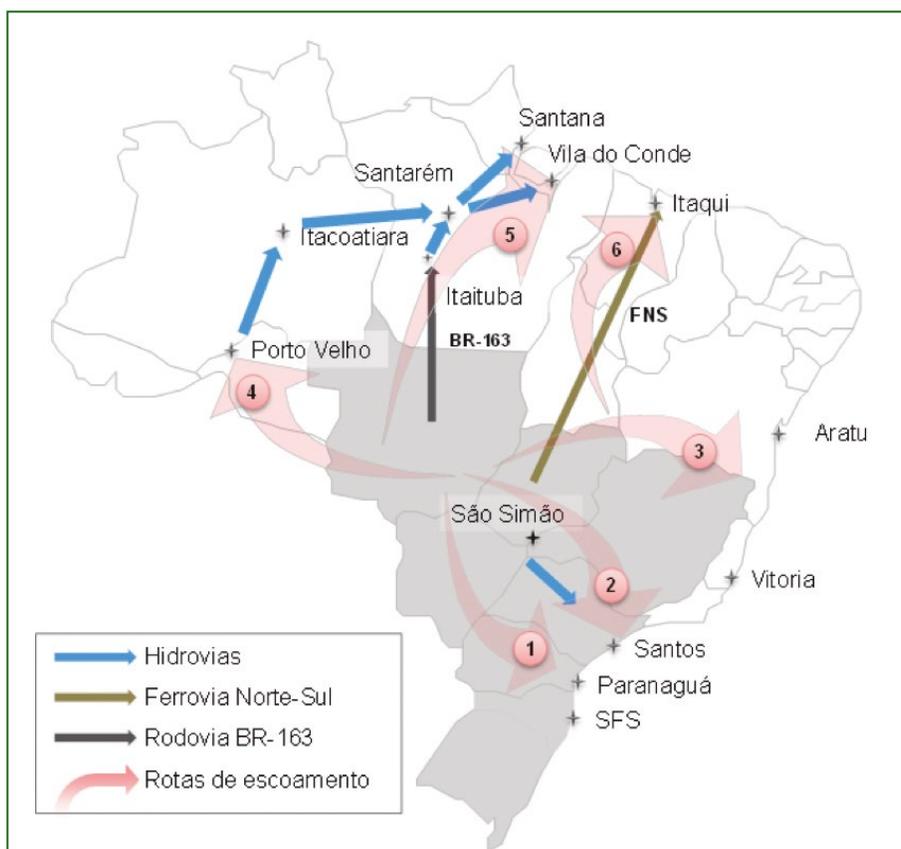


FIGURA 3. Principais corredores – novos e existentes – para escoamento de grãos agrícolas no Brasil. (Verax, 2015).

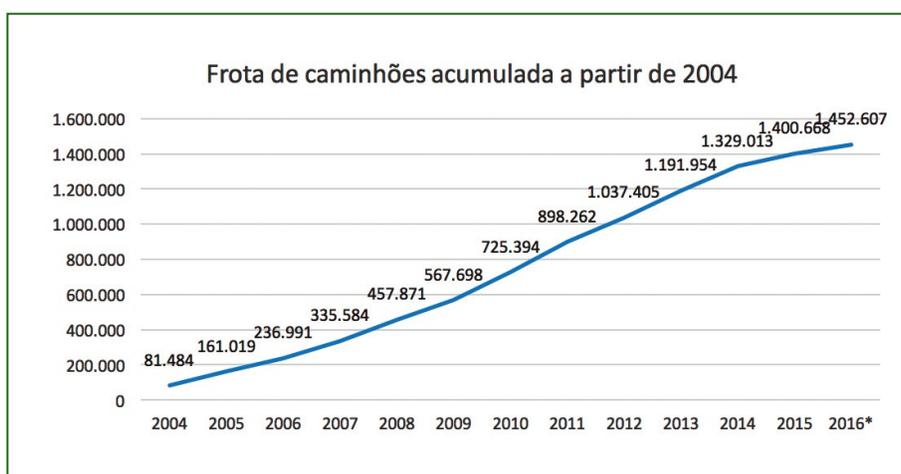


FIGURA 4. Frota de caminhões no Brasil no período de 2004 a 2016 (projeção). (Anfavea, 2016) [Gráfico elaborado pelos autores com base em dados de Anfavea, 2016]

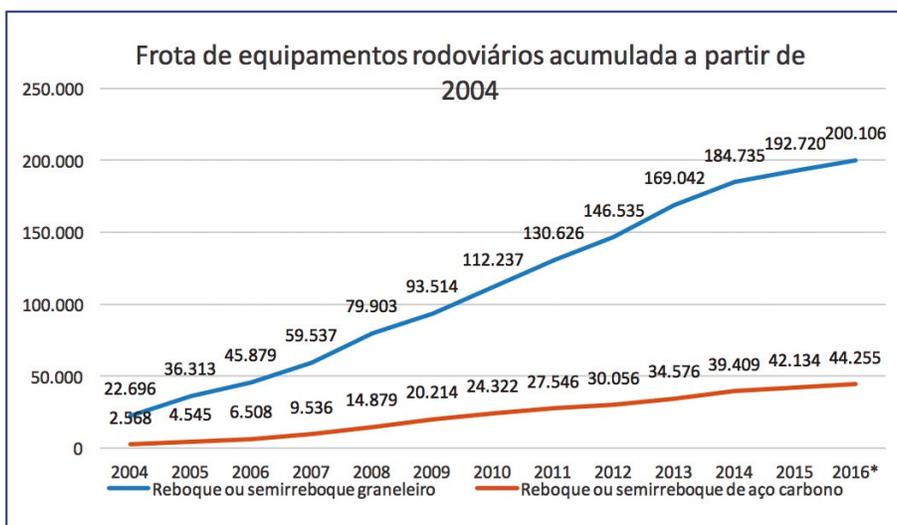


FIGURA 5. Frota de equipamentos rodoviários no Brasil no período de 2004 a 2016 (projeção). (Anfavea, 2016) [Gráfico elaborado pelos autores com base em dados de Anfavea, 2016].

A capacidade de armazenagem, que ainda encontra insuficiências importantes, apresentou, apesar disso, uma retomada de evolução muito favorável desde meados dos anos 2000.

A evolução recente da infraestrutura e de suporte à logística da região (os investimentos feitos no Sudeste e no Norte) permitem proje-

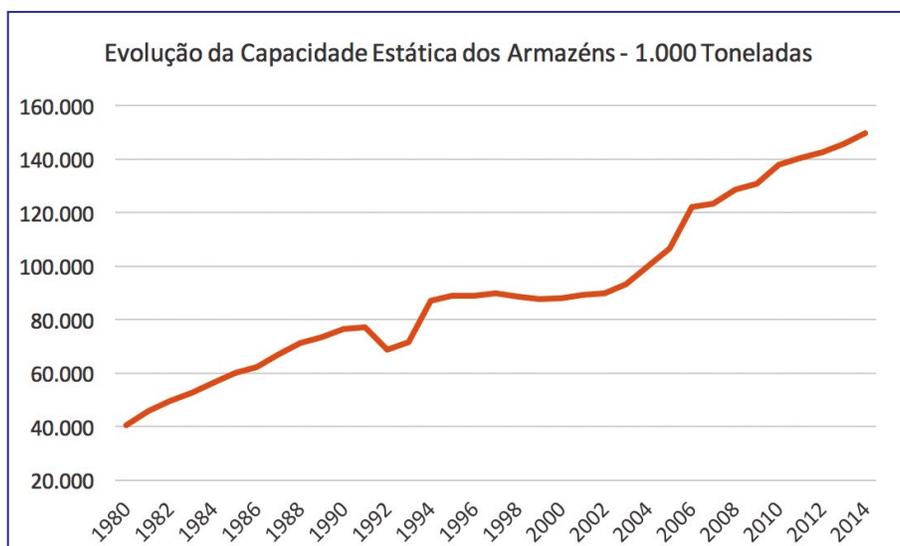


FIGURA 6. Evolução da capacidade estática dos armazéns entre 1980 e 2014 (Conab, 2014) [Gráfico elaborado pelos autores com base em dados da Conab, 2014].

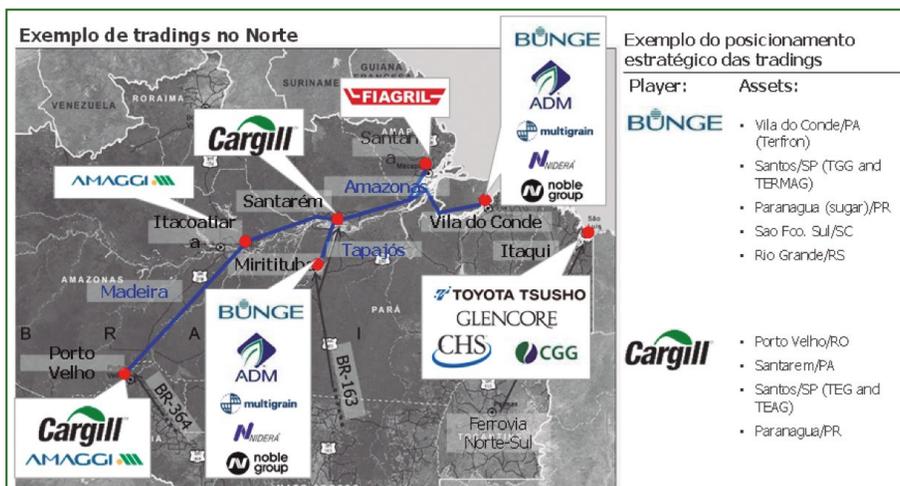


FIGURA 7. Posicionamento das principais empresas de comercialização agrícola para embarque de produtos de exportação (Verax, 2015).

tar novas condições de expansão para a produção da agricultura do Cerrado, do Centro-Oeste e particularmente de Mato Grosso. Uma evidência desse processo é o posicionamento ativo das principais empresas de comercialização agrícola (*tradings*) nos novos pontos de embarque de grãos para os mercados de exportação.

Existe ainda muito a ser feito, é certo, para reduzir todos os custos associados ao transporte das safras das regiões novas e de fronteira, mas passos importantes foram e estão sendo dados, permitindo antever que esse deixará de ser o gargalo mais importante para a expansão da produção e para a competitividade.

PROJEÇÕES PARA O FUTURO E NOVAS DEMANDAS

Uma vez enfrentados os problemas prementes dos gargalos de infraestrutura, sobretudo os logísticos, o núcleo da expansão agrícola do Cerrado parece estar dotado de boa parte dos recursos físicos que dão sustentação à produção da agricultura e à sua inserção internacional. De acordo com as previsões realizadas por trabalhos de consultorias especializadas na projeção de demanda de equipamentos logísticos (calculadas com base nas Projeções do Agronegócio do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento — e do Imea — Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária), a produção de grãos de Mato Grosso poderá alcançar 72 milhões de toneladas em 2020, 92 milhões em 2030, 113 milhões em 2040 e 133 milhões em 2050 (Verax, 2015).

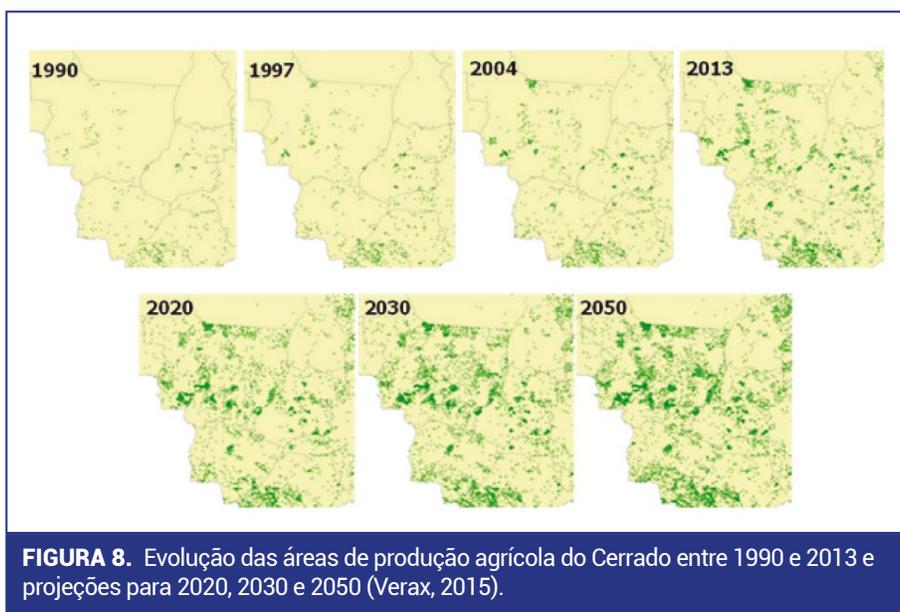


FIGURA 8. Evolução das áreas de produção agrícola do Cerrado entre 1990 e 2013 e projeções para 2020, 2030 e 2050 (Verax, 2015).

Importantes projetos de infraestrutura logística estão transformando de forma muito substancial e efetiva a inserção do Estado na geografia do comércio mundial de grãos, resolvendo boa parte dos gargalos logísticos e reduzindo os tempos e os custos de transporte, mas a expansão da produção propriamente dita está longe de estar assegurada. Dito de outra forma, enquanto na expansão recente havia um desequilíbrio entre os dois lados da porteira, em favor do lado de dentro, pode ocorrer que o desequilíbrio venha a ocorrer agora em detrimento desse lado. A expansão da produção em taxas aceleradas, a intensificação do uso da terra e o adensamento da produção podem significar riscos maiores de desenvolvimento de pragas-chave e doenças das culturas existentes, assim como a introdução de uma nova praga ou doença. O consequente uso intensivo de defensivos associado ao cultivo de variedades transgênicas sem a adoção de técnicas indicadas de manejo leva à seleção de pragas resistentes e à chamada perda de eficácia das tecnologias disponíveis (como os exemplos que envolvem as tecnologias *Bt*).

Esse argumento não tem qualquer conotação alarmista ou exagerada: o risco de perda de eficácia das tecnologias existentes é real e muitos são os indícios desse fenômeno sentido já por muitos agricultores, embora as percepções sejam atenuadas pela ocorrência mais intensa em diferentes regiões de forma não simultânea. Entre os anos de 2011 e 2015, por exemplo, a venda de agroquímicos no Brasil cresceu 13,2%,

somando, somente em 2015, mais de US\$ 9,6 bilhões (Sindiveg, 2015).

Os especialistas em temas de fitossanidade que foram reunidos ao longo dos últimos anos pelas entidades associativas afeitas à produção agrícola do Cerrado — Aprosoja-MT (Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso) e IMAmt (Instituto Mato-grossense do Algodão) — em parceria com a Embrapa são unânimes em considerar que a trajetória — excepcionalmente dinâmica e vigorosa — da agricultura do Cerrado evidencia sinais preocupantes, e os riscos envolvidos na evolução futura são consideráveis.

A agricultura tropical, em um bioma como o do Cerrado, com as suas potencialidades e características singulares, representa uma grande conquista do Brasil: nenhum país conseguiu, até hoje, produzir em tais condições em uma escala tão gigantesca. Mas essa expansão é recente, beneficiou-se de alguns fatores competitivos próprios (como a correção da acidez do solo) e da reciclagem de tecnologias que foram desenvolvidas em outros ambientes: quase sempre climas temperados e sem duas safras sucessivas no ano agrícola.

Ainda não foram produzidos estudos sobre as particularidades da produção agrícola que vem sendo consolidada e expandida nos Cerrados brasileiros que possam avaliar todos os riscos envolvidos. E não se trata de endereçar, por esta mensagem, qualquer tipo de crítica à comunidade científica e aos pesquisadores, pois existe uma questão de fundo muito mais relevante do que qualquer insuficiência de interesse dos cientistas pelos temas ligados a uma região nova e distante dos grandes centros tradicionais da pesquisa, mesmo da pesquisa agrícola: o período de tempo transcorrido entre a incorporação do Cerrado às modernas técnicas agrícolas e a produção em volume e escala, de acordo com os modelos vigentes, é simplesmente muito curto para que os fenômenos colaterais relacionados à produção nessas bases possam já ter emergido e produzido todos seus efeitos. As ocorrências que ano após ano são registradas pelos agricultores, que sofrem seus efeitos sem, contudo, serem capazes de dimensioná-los para além dos limites de suas propriedades e daqueles dos seus vizinhos e conhecidos, e pelos pesquisadores mais atentos, que, no entanto, captam apenas algumas dimensões do problema (seja aquela afeita à sua especialidade profissional, seja aquela que se verifica na região em que atua), constituem um indicativo sério de que estão sendo gestados surtos muito mais graves, seja pela intensidade de sua manifestação, seja por sua amplitude, seja — o que é mais provável — pela combinação de ambas.

"O RECENTE DESENVOLVIMENTO do setor agrícola brasileiro é um exemplo reconhecido de sucesso mundial na medida que em menos de 30 anos deixamos de ser importadores de alimentos para nos tornarmos o maior exportador de alimentos do planeta. A razão desse sucesso é, sem dúvida nenhuma, resultado de políticas públicas bem-sucedidas no âmbito do fomento à produção articulada com o avanço da pesquisa agropecuária protagonizada pela pesquisa pública e mais recentemente com a participação efetiva do setor privado, notadamente após a incorporação definitiva do Cerrado Brasileiro no processo produtivo e da aprovação da Lei de Proteção de Cultivares em 1997.

"Superados os problemas de infraestrutura, o que sem dúvidas acontecerá, o futuro reserva novos e cada vez mais difíceis desafios do ponto de vista técnico. Esses desafios são típicos dos sistemas agrícolas de longa duração, e, como não iremos nos furtar à nossa missão de continuar alimentando e produzindo fibras, combustíveis e outros bens de consumo para uma porção cada vez mais significativa da humanidade, temos que entender que o enfrentamento dos grandes problemas de natureza biótica e abiótica só se dá com efetividade quando há o engajamento dos diversos atores da pesquisa agrícola.

"O ambiente em que essa construção coletiva deve acontecer certamente extrapola os limites de esferas de governo, institucionais, de natureza jurídica dos atores, de limites territoriais. Só conseguiremos os resultados que o mundo exige de nós se estivermos imbuídos do mesmo objetivo de superar essas dificuldades todos aqueles que têm responsabilidade e interesse no tema.

"Assim, é fundamental que instituições de pesquisa, universidades, fundações de apoio à pesquisa, assistência técnica, órgãos de defesa sanitária, outros agentes de governo, produtores de insumos, revendas, produtores rurais e suas organizações e todos os demais elos da cadeia de produção estejam cientes das dificuldades e unidos na busca de soluções sistêmicas e de longo prazo para a agricultura brasileira em geral e em particular para a região do Cerrado."

Dr. Edward Madureira Brasil

Professor e ex-reitor da Universidade Federal de Goiás

DESAFIOS DAS TECNOLOGIAS MODERNAS NA AGRICULTURA

O aumento da resistência de pragas, doenças e plantas daninhas é um dos maiores desafios encontrados por produtores de soja, milho e algodão. A utilização de uma cultura transgênica sem a adoção de boas práticas, assim como o uso continuado de defensivos, pode ser considerada como fator primordial para a seleção de indivíduos crescentemente tolerantes ao longo do tempo. A chamada pressão de seleção exercida por meio das tecnologias de controle leva a uma resposta evolucionária da praga. Ou seja, faz com que indivíduos deixem de ser suscetíveis e que se multipliquem, tornando-se maioria após algumas gerações e levando à perda de eficácia da tecnologia.

O Cerrado ainda combina características que agravam esse processo. Em primeiro lugar, os fatores próprios do bioma e de seu clima, que favorecem a proliferação de insetos, fungos e plantas daninhas que, em outras regiões, encontrariam na severidade dos invernos e das próprias amplitudes entre estações condições adversas a sua reprodução e mesmo à mera sobrevivência. Em segundo lugar, a concentração da produção em monoculturas (soja, milho, em menor medida o algodão) em um território vastíssimo favorece o desenvolvimento em larga escala de populações de pragas típicas dessas culturas. Em terceiro, os extensionistas experientes constatam, em campo, que o cumprimento dos dispositivos legais e das orientações feitas pelas entidades técnicas da agricultura e empresas produtoras de sementes é apenas parcial, e este fato, mesmo que envolva a minoria dos produtores, ameaça o sistema como um todo

Este conjunto de fatores vê-se notavelmente agravado por modificações que vêm ocorrendo nos sistemas de pesquisa e extensão agrícola. Por um longo período, a pesquisa agrícola foi nucleada, no mundo e também no Brasil, por instituições públicas. A razão fundamental para isso está relacionada à necessidade de realizar pesquisa e assegurar a aplicação pelos agricultores dos resultados em condição em que a apropriação dos resultados das pesquisas pelos eventuais investidores privados seria muito limitada, pois a natureza das pesquisas e seus produtos típicos produziam resultados (por exemplo, sementes selecionadas e bem adaptadas) que poderiam ser reproduzidos pelos próprios agricultores ou por produtores selecionados. O valor privado, que poderia ser criado pela pesquisa, era rapidamente difundido por todos aqueles que dela se beneficiavam, sem, no entanto, terem incorrido nos custos.

Esta “falha de mercado”, ou seja, a impossibilidade de os sinais de mercado estimularem os investimentos necessários, tem consequências para o funcionamento da pesquisa agrícola, que esteve quase sempre em mãos de organismos públicos (ou associativos, de caráter coletivo, seja setorial ou regional), e as empresas privadas concentraram seus esforços em dois alicerces complementares: a produção dos produtos químicos e biológicos (mais recentemente) e a fabricação de máquinas e equipamentos. São evidentemente dois alicerces importantes do pacote agrícola que orientou a modernização da produção no século XX, mas não constituem o âmago da produção, que está na produção de sementes, variedades e cultivares. Nesses, pelo menos

para as grandes culturas, prevaleceram sempre os esforços públicos. Eram os organismos nacionais, regionais e setoriais que realizavam a maior parte dos esforços e de seus resultados dependiam os agricultores, um trabalho que era complementado por serviços de extensão rural que possuíam qualidade e alcance variáveis, mas representavam, apesar disso, a principal forma de acesso dos produtores agrícolas às novas tecnologias e aos métodos de produção.

A grande mudança nesse quadro deu-se pelas transformações científicas com o advento da biotecnologia moderna. Ela permitiu de fato que as empresas passassem a produzir conhecimento apropriável, pois as tecnologias derivadas de engenharia genética e técnicas de biologia molecular, que tinham como principal objetivo o desenvolvimento de variedades resistentes a pragas e variações climáticas, após as adequadas mudanças nos códigos nacionais de propriedade intelectual, passaram a ter proteção e a propiciar ganhos expressivos às empresas detentoras das tecnologias.

Foi assim que as empresas privadas, que desempenhavam papéis complementares e subsidiários no sistema de produção de pesquisa agrícola, puderam avançar em direção ao núcleo desse sistema e conquistar posições que são, hoje, de forte predominância, seja no Brasil ou mundo afora. A importância e o valor desse mercado podem ser dimensionados por diferentes critérios, mas bastaria, para os propósitos deste documento, mencionar a oferta que fez recentemente a Bayer (empresa alemã com mais de 150 anos de existência independente) para comprar todas as ações e o controle da Monsanto — US\$ 62 bilhões.

A entrada vigorosa de grandes empresas dos segmentos laterais da produção agrícola (agroquímicos em geral) na produção de pesquisas e conhecimentos com potencial de apropriabilidade (ou seja, capacidade de terem seus resultados protegidos e transformados em propriedade que não pode ser reproduzida) teve efeitos também nos serviços de extensão agrícola. O binômio pesquisa-extensão podia ter, quando a pesquisa agrícola era nucleada pelos organismos públicos de pesquisa, qualidade e alcance variáveis, eventualmente sujeitando os agricultores a carências para as quais não existiam serviços alternativos; mas era, ainda assim, um serviço em que não prevaleciam interesses comerciais. Essa condição de neutralidade comercial modificou-se após a entrada das empresas privadas no centro da pesquisa agrícola e na produção de seu elemento mais valioso — a semente. Agora, as novas tecnologias são disseminadas pelas próprias empre-

sas que produzem os conhecimentos de base, as sementes e, eventualmente, vários de seus complementos químicos¹. O extensionista típico do período de pesquisa agrícola nucleada pelos organismos públicos deu lugar ao agente comercial das empresas de sementes; e essa condição, evidentemente, não possui e não pode possuir a mesma isenção, qualquer que seja o perfil desses profissionais.

Essa circunstância nova agrava significativamente as condições de funcionamento e a vida útil das tecnologias agrícolas das grandes empresas de sementes, das quais dependem os agricultores. A competição comercial entre empresas pode traduzir-se em intensificação dos esforços de comercialização, um processo que pode muito facilmente fazer com que se percam os cuidados e as precauções que deveriam prevalecer nos processos de uso — e de preservação — das tecnologias agrícolas que possuem graus elevados de sensibilidade às condições de uso e às práticas agrícolas.

DESAFIO FITOSSANITÁRIO

Os capítulos 3º, 4º, 5º e 6º deste volume documentaram, de modo sistemático, os custos e as perdas associadas às principais culturas em decorrência, respectivamente, do bicudo (do algodão), da ferrugem (da soja), das lagartas e dos nematoides. Existem dois custos que são percebidos de modo mais direto e imediato pelos agricultores: as perdas de produção e os aumentos de custos.

No caso do bicudo, esse é um problema que aflige todos os cotonicultores, crescentemente. A importância dessa praga não é novidade, mundialmente. De acordo com as informações que foram apresentadas no capítulo 3º, o bicudo é a praga mais cara da agricultura dos Estados Unidos em toda sua história: nada menos de US\$ 22 bilhões (até 2003). Esse custo (de combate) e as perdas foram reduzidos com o plano de erradicação e estão situados em US\$ 200 milhões anuais.

No Brasil, o custo anual do combate ao bicudo-do-algodoeiro não está longe de merecer a designação de praga bilionária (o custo anual de US\$ 200 milhões representa, em reais, um valor entre R\$ 700 e R\$ 800 milhões). Os custos de combate à praga podem custar valores apenas ligeiramente inferiores a US\$ 200 por hectare, e o número de aplicações em cada safra vem aumentando a cada ano, havendo já propriedades que realizam o

[1] O binômio semente-defensivo mais conhecido é o das sementes que originam plantas resistentes ao herbicida (glifosato) produzido pela mesma empresa produtora de sementes.

número impressionante de 20 aplicações. Apesar de o combate ao bicudo custar muito caro, a incidência da praga pode provocar grandes reduções da produção — de até 75% em algumas propriedades e regiões. Os cálculos dos estudos do IMAmt mostram perdas de produção de montantes equivalentes aos custos do combate, o que torna o bicudo, entre custos e perdas, uma praga de quase US\$ 400 milhões de dólares por ano.

O custo anual de combate à ferrugem da soja (causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhiz*) é estimado (ver o capítulo 4º) em US\$ 2 bilhões, e sua gravidade é tal que pode ocasionar perdas totais em uma plantação. Embora exista um bom número de fungicidas registrados oficialmente nos organismos oficiais de controle, somente cinco fungicidas comerciais apresentaram eficiência acima de 50% de controle na safra 2014/15, uma indicação preocupante com relação ao futuro da atividade de controle.

Os prejuízos anuais causados pelas lagartas *Helicoverpa* spp e *Heliothinae* spp resultam em prejuízos de bilhões de dólares anualmente na agricultura mundial e na brasileira. Essas pragas têm importância elevada no cenário agrícola por alimentarem-se de estruturas reprodutivas das plantas, impactando em prejuízos consideráveis a culturas de importância econômica elevada como soja, algodão e milho.

Os nematoides parasitas de plantas são, entre todas as pragas agrícolas, a que causa danos de maior monta à agricultura mundial, segundo diversos autores (ver o capítulo 6º desta publicação). Apesar dos esforços e dos gastos incorridos pelos agricultores (nos Estados Unidos, US\$ 500 milhões são gastos anualmente no combate aos nematoides), as estimativas de perdas oscilam, segundo as diferentes estimativas, entre US\$ 100 bilhões e US\$ 157 bilhões. O problema, sério em todos os países, é mais sério e preocupante em condições tropicais e subtropicais, como mostram as evidências colhidas por agricultores e pesquisadores, que constatarem perdas de safra de até 32%.

Além dos custos de combate e das perdas associadas, as pragas e as doenças têm custos e riscos que ultrapassam a porteira da empresa. O uso intensivo e crescente de agroquímicos, imposto por sua progressiva perda de eficácia (na ausência de alternativas), produz custos humanos e ambientais.

Nos Estados Unidos, berço e reduto mais importante da agricultura em larga escala com uso intenso dos elementos químicos (e mecânicos) de suporte, os danos causados por insetos-praga entre os anos de 1945 e 2000 praticamente dobraram, de 7% para 13%, em comparação com os níveis pré-1945, apesar de, no mesmo período, o uso de pesticidas ter

aumentado mais de 10 vezes. Associados ao custo relativo a esse tipo de perda, surgem custos indiretos relacionados às aplicações inapropriadas e ao uso indiscriminado de pesticidas. Além destes, há os custos externos, assim denominados porque são absorvidos pela sociedade, e não pelos produtores. A estimativa de custos indiretos para os estadunidenses é de mais de US\$ 1,1 bilhão gastos por conta de impactos negativos sobre a saúde pública (intoxicações e óbitos), US\$ 1,5 bilhão pela resistência a pesticidas, US\$ 1,4 bilhão pela perda de culturas e mais de US\$ 2 bilhões por conta da contaminação das águas subterrâneas. Já os custos externos somam mais de US\$ 2,1 bilhões, principalmente por danos ao ecossistema e à biodiversidade (Ghimire & Woodward, 2013).

Em que pese a importância dos elementos apresentados até aqui (custos, perdas e impactos não agrícolas), o risco mais importante que ronda a agricultura de larga escala do Cerrado é o da perda de eficácia do conjunto de tecnologias que propiciaram a notável expansão apresentada. Esse risco não é simplesmente uma hipótese remota ou uma conjectura de natureza catastrofista. Existem evidências locais e elementos da experiência internacional que permitem pensar na necessidade imperiosa de desenvolver alternativas — múltiplas, variadas e complementares — para o enfrentamento do problema.

TECNOLOGIAS QUE SUSTENTARAM A EXPANSÃO

A expansão notável da agricultura brasileira nos anos 1980 e 1990 esteve vinculada a uma importante ocupação de novas áreas com atividades crescentemente voltadas para a produção de algumas poucas culturas que se mostraram mais adaptadas ao padrão de produção em larga escala com uso intensivo de mecanização e tecnologias químicas modernas: milho e soja, posteriormente complementadas pela entrada do algodão.

TABELA 1. Importância relativa das principais culturas do Cerrado – em milhares de hectares e participação – % (IBGE, 2014).

	Milho (grão)	Soja (grão)	Algodão herbáceo (caroço)	Cana-de-açúcar	Outros
	1000 ha				
1990	12.023	11.584	1.516	4.322	16.533
2014	15.841	30.308	1.131	10.472	12.660
	%				
1990	26,1	25,2	3,3	9,4	36,0
2014	22,5	43,0	1,6	14,9	18,0

A ocupação de novas áreas, que se somou ao aumento da produtividade, com uso mais amplo (e intenso) de insumos (sementes, fertilizantes, defensivos) e equipamentos modernos (tratores, colhedoras, sistemas de irrigação), também contribuiu para a expansão da produção, e foi nas novas áreas que o modelo encontrou condições notavelmente propícias para sua implantação.

TABELA 2. Área plantada das principais culturas, nos seis principais estados produtores (IBGE, 2014).

	Milho (grão)	Soja (grão)	Algodão herbáceo (caroço)	Cana-de-açúcar	Outros
	Mil hectares				
RS	926	4.990	-	25	2.931
PR	2.560	5.011	-	681	2.336
SP	780	694	12	5.567	452
MS	1.595	2.159	38	640	120
GO	1.405	3.177	68	882	555
MT	3.350	8.629	613	284	666
	%				
RS	10,4	56,2	0,0	0,3	33,0
PR	24,2	47,3	0,0	6,4	22,1
SP	10,4	9,2	0,2	74,2	6,0
MS	35,0	47,4	0,8	14,1	2,6
GO	23,1	52,2	1,1	14,5	9,1
MT	24,7	63,7	4,5	2,1	4,9

TABELA 3. Evolução das vendas de fertilizantes (Anda, 2016) e defensivos agrícolas (Sindiveg, 2015) e da produção de sementes (Abrasem, 2014).

	2011	2012	2013	2014	2015
Defensivos (US\$ milhões)	8,488	9,710	11,454	12,249	9,500
Fertilizantes (t milhões)	28,326	29,256	30,700	32,209	30,202
	2011/2012		2012/2013		
Sementes (t milhões)	2,453		3,629		

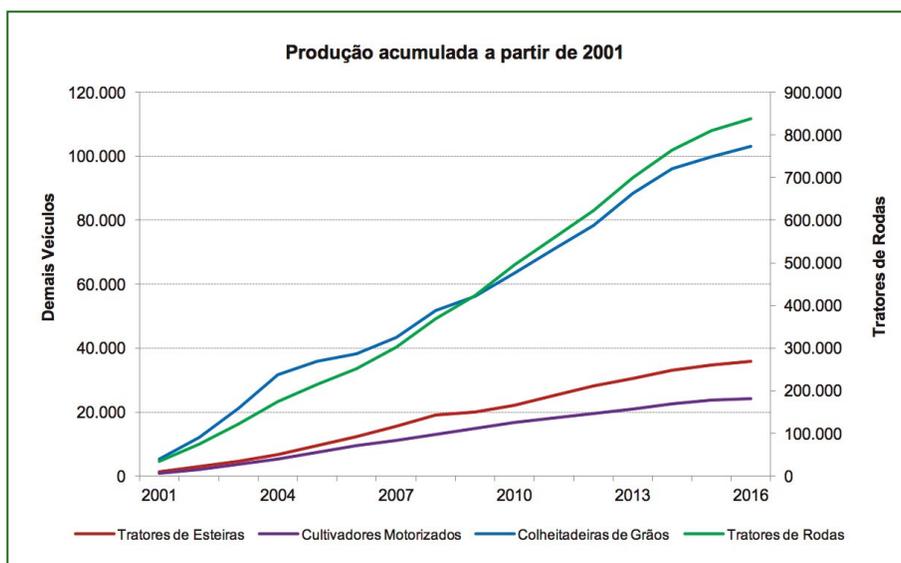


FIGURA 9. Evolução da produção acumulada de tratores, cultivadores e colheitadeiras entre os anos de 2001 e 2016 (projeção) (fonte: Anfavea, 2016). [Gráfico elaborado pelos autores com base em dados de Anfavea, 2016]

NOVAS TECNOLOGIAS E SEUS EFEITOS NA PESQUISA AGRÍCOLA

A mudança fundamental que ocorreu no mundo da tecnologia agrícola está associada aos desenvolvimentos científicos da biotecnologia moderna. Entende-se por biotecnologia moderna o conjunto de conhecimentos, técnicas e produtos que a ciência desenvolveu a partir da capacidade de identificar, no DNA de todos os seres vivos, os genes responsáveis por determinadas propriedades e funções desses organismos. Foi a partir desse passo que a seleção tornou-se mais eficaz e que a implantação de genes de um organismo em outros organismos tornou-se viável e eficaz em termos de seus resultados.

Essa propriedade nova pode ser considerada uma verdadeira revolução na pesquisa agrícola. Afinal, esse novo conhecimento científico e as oportunidades que ele ofereceu para a produção de novas soluções fizeram-se acompanhar de verdadeiras transformações também nos ambientes institucional e regulatório, com o surgimento da possibilidade de patenteamento de tecnologias (leia-se: organismos e sementes) nascidas desse conhecimento científico. Se até então a pesquisa agrícola era essencialmente pública, surgiram então oportunidades para as empresas — as existentes e as nascidas para explorar esse novo cenário.

As instituições públicas de pesquisa possuem, frente às grandes empresas de pesquisa agrícola, algumas diferenças importantes. A primeira dessas diferenças refere-se aos propósitos de umas e outras: enquanto as instituições públicas possuem missões amplas, as empresas podem direcionar suas estratégias de forma muito objetiva e segmentada.

A missão típica de uma agência pública de pesquisa envolve objetivos públicos e sociais, como o desenvolvimento de soluções novas para os problemas dos agricultores, assegurando capacidade elevada de acesso a informações (tornadas públicas) que possam assegurar alimentos e outros produtos agrícolas de qualidade elevada e seguros, prover as necessidades nutricionais dos habitantes, sustentar a competitividade da economia agrícola, fortalecer a base de recursos naturais e o meio ambiente, fornecendo oportunidades aos cidadãos do meio rural, às comunidades e à sociedade de uma maneira geral. É isso que se depreende, por exemplo, da missão definida pela agência de pesquisa agrícola dos Estados Unidos (ARS).

SERVIÇO DE PESQUISA AGRÍCOLA DOS ESTADOS UNIDOS - ARS

A ARS realiza pesquisas para desenvolver e transferir soluções para problemas agrícolas de alta prioridade nacional e fornecer acesso à informação e divulgação para:

- Garantir alimentos e outros produtos agrícolas seguros e de alta qualidade
- Avaliar as necessidades nutricionais dos norte-americanos
- Sustentar uma economia agrícola competitiva
- Aumentar a base de recursos naturais e do meio ambiente e proporcionar oportunidades econômicas para os cidadãos, para as comunidades rurais e para a sociedade como um todo.

Visão

A visão da ARS é levar a América a um futuro melhor por meio da pesquisa e da informação agrícolas.

Fonte: ARS

O mesmo tipo de abordagem pode ser percebido em outras agências públicas dos principais países desenvolvidos, onde a ciência e a pesquisa agrícola desempenham, há muito tempo, um papel destacadamente importante. No Japão, a missão, de natureza pública, envolve até mesmo a colaboração com a recuperação das regiões afetadas pelo terremoto que assolou a região leste do país.

AGÊNCIA JAPONESA DE PESQUISA AGRÍCOLA - NARO

Naro é uma instituição essencial para condução de P&D nas áreas de agricultura e alimentos no Japão. Sua missão geral é contribuir para o desenvolvimento da sociedade por meio de inovações em agricultura e alimentação, promovendo pesquisas pioneiras e fundamentais. A agência realiza desenvolvimento tecnológico para tornar a agricultura uma indústria competitiva e atraente e contribuir para o aumento da taxa de autossuficiência alimentar do país. Para este fim, suas pesquisas e desenvolvimentos têm como foco aumentar a produtividade e segurança da agricultura, diminuir os custos de produção e promover novos mercados e indústrias futuras por meio do desenvolvimento de produtos agrícolas de valor agregado, incorporando as necessidades do mercado nos respectivos produtos. Também conduz pesquisas relativas a questões globais, como as alterações climáticas, além, ainda, de P&D que permitam utilizar os recursos agrícolas locais por meio da maximização da multifuncionalidade da agricultura.

Fonte: Naro

No caso da França, o Inra também possui uma atuação diversificada, como mostra o quadro abaixo.

INSTITUTO NACIONAL FRANCÊS DE PESQUISA AGRÍCOLA - INRA

O Inra é um organismo público francês de pesquisa científica, sob a supervisão conjunta dos ministérios da Pesquisa e da Agricultura. Sua missão engloba:

- Produzir e divulgar o conhecimento científico
- Formar e treinar pesquisadores
- Informar decisões públicas
- Contribuir para a inovação por meio de parcerias e transferência de tecnologia
- Desenvolver as estratégias de pesquisa europeia e nacional
- Contribuir para o diálogo entre ciência e sociedade

Fonte: sInra

As empresas privadas de pesquisa agrícola possuem missões muito diferentes das instituições públicas (e nacionais ou regionais) de pesquisa.

Em primeiro lugar, as empresas possuem um caráter fortemente especializado. Muito embora possam atuar em mais de um segmento de mercado, concentram suas atividades em um punhado de (poucos) produtos (por exemplo, milho, soja e poucos mais). Uma segunda dimensão de sua especialização diz respeito ao tipo de “funcionalidade” que

suas tecnologias e sementes incorporam. O conhecimento científico ofereceu aos cientistas e às empresas oportunidades para o desenvolvimento de múltiplas soluções tecnológicas inovadoras para a criação de novas propriedades nas plantas de interesse, mas a maior parte das criações tecnológicas das empresas de sementes concentra-se nos atributos de resistência — resistência a insetos e resistência a herbicidas.

Uma característica importante que diferencia as empresas de tecnologia agrícola — sementes — das instituições (ou empresas) públicas de pesquisa refere-se a seu respectivo território de atuação. Enquanto os organismos nacionais têm atuação restrita a seu próprio território, incorporando eventualmente uma dimensão de cooperação internacional complementar, as empresas de pesquisa agrícola que se formaram ou desenvolveram a partir da emergência da biotecnologia moderna têm atuação global, que construíram deliberadamente de modo a estarem presentes em todos os espaços agrícolas relevantes, vendendo e, eventualmente, produzindo suas tecnologias, podendo ou não adaptá-las às condições locais.

Enquanto os organismos públicos de pesquisa possuem orçamentos dedicados a uma vasta gama de atividades e culturas, as empresas de tecnologias agrícolas (sementes) voltam-se para um grupo muito restrito e selecionado de objetivos; e para isso mobilizam um amplo arsenal de recursos, incluindo a compra de tecnologias, capacidades de produção e comercialização².

Os orçamentos de pesquisa dos institutos públicos não são muito inferiores aos que são dedicados pelas grandes empresas do setor. No caso das duas empresas especializadas (que não possuem outras áreas de atuação a dificultarem a segregação da informação de P&D agrícola-

[2] O exemplo da Monsanto é ilustrativo do recurso à aquisição de empresas e ativos para construir sua posição dominante nos segmentos de seu interesse. Tendo sido fundada em 1901, a empresa redirecionou-se para a biotecnologia vegetal nos anos 1980 e adquiriu numerosos ativos: G. D. Searle & Company (adquirida em 1985); Agracetus (adquirida em 1996); Solutia Inc. (vendida em 1997); Holden's Foundations Seeds (adquirida em 1997); Calgene (adquirida em 1997); DeKalb Genetics Corporation (adquirida em 1998); Pharmacia (fusão em 1999); Monsanto (vendida pela Pharmacia em 2000); Emergent Genetics (adquirida em 2005); Seminis (adquirida em 2005); Icoria, Inc (ativos selecionados, adquiridos em 2005); Delta & Pine Land Company (adquirida em 2007); Monsanto's Asia Subsidiaries (vendidas para a Devgen, 2007); Monsanto Choice Genetics (vendida para a Newsham Genetics, 2007); De Ruiters Seeds (adquirida em 2008); Agroeste Sementes (adquirida em 2008); Monsanto's Dairy Product Business (vendida para a Eli Lilly & Co., 2008); Aly Participacoes Ltda. (adquirida em 2008); CanaVialis S.A.; Alellyx S.A.; Monsanto's Global Sunflower

la), o último orçamento disponível (2015) supera ligeiramente o US\$ 1,5 bilhão no caso da Monsanto e fica ligeiramente atrás desse valor no caso da Syngenta (US\$ 1,36 bilhão). Para efeitos de comparação, o quadro abaixo apresenta os orçamentos de alguns organismos nacionais de pesquisa.

TABELA 4. Comparativo entre as instituições públicas de pesquisa agrícola.

Instituição	País	“Orçamento (US\$ milhões)”	Pesquisadores
ARS	EUA	1.100	2.000
Naro	Japão	541	1.542
Inra	França	1.000	3.600
Caas	China	1.019 ^(*)	5.743
Embrapa	Brasil	861 ^(*)	2.463
CSIRO	Austrália	157	689

Fonte: ARS; Naro; Inra; Caas; Embrapa, 2015; CSIRO
 (*) cotação de 6/6/2016 – R\$ 1 = US\$ 0,287 / 1 = US\$ 0,15211

A Embrapa possui mais de 2 mil pesquisadores e um quadro total de funcionários que beira os 10 mil. Essa vasta equipe está distribuída por um grande número de centros de pesquisa de produtos (18), centros de pesquisa de temas básicos (10) e centros de pesquisa ecorregionais (15).

Os orçamentos das instituições públicas de pesquisa não são muito diferentes dos orçamentos de pesquisa das grandes empresas de tecnologias agrícolas (produtoras de sementes com técnicas modernas de biotecnologia). A principal diferença entre ambas, neste quesito, refere-se à dispersão de esforços, no primeiro caso, e à concentração,

Assets (vendida para a Syngenta, 2009); Divergence, Inc (adquirida em 2011); Beelogics (adquirida em 2011); Precision Planting Inc (adquirida em 2012); Climate Corp (adquirida em 2013) 640 Labs (adquirida em 2014); Agradis, Inc (Select assets, adquirida em 2013); Rosetta Green Ltd. (adquirida em 2013); American Seeds, Inc Diener Seeds (Seed marketing and sales businesses, adquirida em 2006); Sieben Hybrids (adquirida em 2006); Kruger Seed Company (adquirida em 2006); Trisler Seed Farms (adquirida em 2006); Campbell Seed (Seed marketing and sales business, adquirida em 2006); Gold Country Seed, Inc (adquirida em 2006); Heritage Seeds (adquirida em 2006); NC+ Hybrids, Inc (adquirida em 2005); Specialty Hybrids (adquirida em 2005); Fontanelle Hybrids (adquirida em 2005); Stewart Seeds (adquirida em 2005); Trelay Seeds (adquirida em 2005); Stone Seeds (adquirida em 2005); Channel Bio Corp (adquirida em 2004); International Seed Group, Inc Poloni Semences (adquirida em 2007) Charentais melon breeding company (adquirida em 2007).

no outro. É exatamente o inverso do que ocorre com as grandes empresas, que dedicam seus orçamentos de pesquisa a um pequeno número de grandes projetos. Precisam ser projetos com mercados vastos, sobretudo culturas “mundiais” — como são o milho e a soja; ou o algodão. A forma de amortização dos gigantescos investimentos em P&D e em ativos complementares (como a propriedade intelectual e as campanhas para sua aceitação universal) só pode dar-se nos grandes mercados.

NECESSIDADE DE CONSTRUÇÃO DE UMA AGENDA COMPARTILHADA PARA O ENFRENTAMENTO DOS DESAFIOS

Parece claro, dos argumentos e das evidências apresentados, que dificilmente poderão as instituições públicas de pesquisa concorrer com as empresas privadas de pesquisa agrícola produtoras de soluções baseadas em biotecnologia moderna. Seria necessário, para tanto, que elas abandonassem suas missões, que deixassem de ser aquilo que são e que devem ser: instituições voltadas para a multiplicidade de culturas, para todos os ambientes, para as várias formas de produzir, incluindo culturas pouco expressivas em termos econômicos (relativamente) e modelos produtivos com impacto social elevado.

Se as instituições públicas de pesquisa são, por natureza, voltadas para a miríade de problemas que afetam a agricultura em qualquer país, e com mais forte razão nos países com vastos territórios e diversidade regional de climas, biomas e culturas, é também necessário reconhecer que lhes cabe um papel suplementar com relação às soluções criadas pelas empresas privadas para as culturas dominantes. Essas culturas, por suas dimensões, representam mercados prioritários para as grandes empresas de soluções agrícolas; mas está longe de assegurar que as soluções encontradas por essas empresas representem um ponto ótimo em outros parâmetros — por exemplo, em termos de impactos ambientais, ou mesmo quanto a sua sustentabilidade ao longo do tempo.

As empresas dominantes nas principais culturas com expressão mundial possuem todas elas atuação global, estratégias centralizadas e adaptações locais. As soluções que desenvolvem e adaptam podem ser eficazes na maximização de seus resultados empresariais, sem que isso signifique que as necessidades dos agricultores em cada região do planeta estejam adequadamente atendidas. A escolha que vêm fa-

zendo os agricultores por essas tecnologias são uma demonstração de sua superioridade em termos dos resultados para os agricultores, mas isso também não equivale a dizer que seus problemas estão equacionados ou que essa equação é sustentável em uma perspectiva mais ampla. É precisamente esse problema que hoje aflige os indivíduos e as instituições com uma visão mais realista e que formulam projetos com perspectivas de prazo mais longo.

É impensável que qualquer organização pública ou privada possa competir com as estratégias tão robustas das grandes empresas dominantes no mundo da biotecnologia vegetal. E, definitivamente, esse propósito não faz parte de qualquer agenda: essas empresas possuem seu papel e o cumprem com bastante efetividade. A agenda relevante e pertinente diz respeito a uma construção progressiva de capacidades que permitam pensar o longo prazo da perspectiva de uma economia regional (abarcando diversos estados, mas nucleada por Mato Grosso) que poderá, em poucos anos, tornar-se um produtor de capacidade idêntica ou superior aos grandes estados produtores dos Estados Unidos³.

Essas capacidades novas, que a agricultura tropical do Cerrado precisa constituir para dotar-se de alicerces que sustentem seu crescimento e sua competitividade, envolvem a apropriação de competências científicas que permitam um diálogo construtivo com os grandes produtores de tecnologia e também com os usuários (os produtores agrícolas). A presença de uma agenda de pesquisa autônoma e liderada pelas organizações construtivamente ligadas à agricultura brasileira e ao Cerrado teria como efeito indireto aumentar a dimensão local das agendas das grandes empresas, que hoje possuem estratégias centralizadas e esforços locais adaptativos. Ela permitiria, também, melhorar significativamente a compreensão sobre as trajetórias das

[3] A produção mundial de milho é de 1 bilhão de toneladas; os EUA respondem por um terço desse volume e o Brasil, por 5%, sendo Mato Grosso responsável por mais de um terço do volume brasileiro. No caso do arroz, a segunda cultura mundial em volume, a produção mundial é de 740 milhões de toneladas, e o Brasil produz apenas 12 milhões, recorrendo regularmente a importações (sobretudo da Argentina e do Uruguai). O mesmo déficit verifica-se no caso do trigo, a terceira cultura mundial, com 715 milhões de toneladas e uma produção brasileira de 6,7 milhões de toneladas.

É na soja, que não é um cereal e rigorosamente não é um grão, que o Brasil se destaca mundialmente, com uma produção de 95 milhões de toneladas, pouco inferior à dos Estados Unidos, com 108 milhões de toneladas, em uma produção total (mundial) de 317 milhões de toneladas.

tecnologias, superando os debates que hoje encontram dificuldades para avançar em virtude da ausência de informações precisas, apropriadas, aceitas por todos.

Entre todos os riscos que enfrenta a agricultura do Cerrado, o maior advém da atitude ufanista que simplesmente projeta a trajetória vitoriosa do período recente para o futuro próximo, alheia aos novos riscos e mesmo aos riscos que decorrem da própria expansão acelerada, a intensificar o uso dos recursos e a introduzir no sistema, já complexo, componentes que acentuam essa sua propriedade.

“A AGROPECUÁRIA DO CERRADO enfrenta vários desafios, em particular poder manter a sua competitividade e conseguir crescer de forma sustentável. Neste sentido, investimentos em C&T&I são necessários para manter o crescimento e a gestão sustentável dos recursos naturais. Estes investimentos não requerem somente recursos financeiros, mas de parceiros locais e internacionais para ter acesso ao conhecimento de última geração sobre a problemática e as oportunidades do setor agropecuário. O Cerrado, sendo uma região altamente integrada com mercados internacionais, precisa de ter um sistema de C&T&I também igualmente integrado.

“Mas os investimentos de médio e longo prazo necessários para manter e aumentar a competitividade do Cerrado têm que ser acompanhados de investimentos de curto prazo para poder sobreviver às futuras crises e choques climáticos que a região deverá enfrentar no futuro. Hoje a mudança climática e a volatilidade dos mercados de *commodities* internacionais são uma realidade que ameaça a competitividade da região. “A estabilidade de curto prazo da renda dos produtores e do agronegócio é fundamental para incentivar os investimentos e evitar queda da competitividade. Ninguém construiria uma grande casa de madeira sem um seguro contra incêndio. A necessidade de investir em um sistema de gestão integrada de riscos vira uma prioridade para poder facilitar e incentivar os investimentos de médio e longo prazo no setor agropecuário do Cerrado Brasileiro.”

Diego Arias, economista sênior no Banco Mundial

CONSIDERAÇÕES FINAIS

ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGROPECUÁRIA - PRESENTE E FUTURO

Embora Pero Vaz de Caminha tenha dito que “nesta terra em se plantando tudo dá”, a extraordinária revolução da agropecuária brasileira nas últimas décadas só foi possível graças à ciência e à tecnologia. O Brasil desenvolveu, ao longo desses anos, uma importante rede de inovação, na qual os principais players são as instituições públicas, onde se destacam a Embrapa, as Universidades, e instituições estaduais de pesquisa agropecuária, um setor privado altamente competitivo e complexo, com empresas nacionais e multinacionais, e produtores rurais, grandes empreendedores, que geraram uma agricultura tropical de grande relevância para o Brasil e para o mundo. Também foram fundamentais políticas públicas adequadas que buscaram apoiar e dar segurança ao desenvolvimento da agropecuária, com a visão de tornar o país menos dependente da importação de alimentos.

Dados de pesquisa econômica (Alves *et al.*, 2012) sobre os fatores de produção indicam que a tecnologia é o fator de longe mais relevante para o sucesso da agropecuária (68%), a frente de trabalho (22%) e terra (10%). O sucesso do agro pode também ser constatado pelo contínuo superávit da balança comercial, na faixa de US\$ 80 bilhões, dos recordes sucessivos na produção de grãos e carnes (200 milhões de toneladas de grãos) e a redução significativa do valor da cesta básica.

Mas assim como a frase de Caminha deixou há muito de ser um guia para os agricultores, que desenvolveram instrumentos e práticas para acelerarem a adoção de novas tecnologias e dependerem menos dos fatores naturais, é hoje preciso refletir sobre a envergadura dos desafios e reconhecer, conseqüentemente, que nenhuma organização detém, sozinha, todas as competências que assegurem o enfrentamento com sucesso desses desafios. Novos modelos de desenvolvimento, com parcerias mais efetivas entre instituições públicas e privadas, devem ser estabelecidos para assegurar uma reunião de competências, com pesquisas transdisciplinares, conhecimentos e capacidades que permitam alcançar resultados robustos e propiciem a renovação dos alicerces da competitividade e da sustentabilidade brasileira na agropecuária.

Para além da reconhecida necessidade de reforçar os investimentos em P&D, é vital assegurar novos veículos e formas de inovar. É para isso necessário que se estabeleça uma agenda compartilhada, que contemple ações como a criação de redes de pesquisadores para o enfrentamento de temas desafiadores de pesquisa; o estabelecimento de parcerias público-privadas que contribuam para o aumento do investimento privado em pesquisa, desenvolvimento e inovação; o aprimoramento da legislação para dar segurança ao investimento privado; e, por último, mas nem por isso menos importante, o estímulo à criação de novas empresas de base tecnológica (startups e spin-offs), ainda incipientes no Brasil, mas que são em grande número em muitos países e podem acelerar de modo notável a criação e a difusão de tecnologias inovadoras. O estabelecimento dos chamados ecossistemas de inovação, com estratégias de complementaridade entre as

(continua)

ações e os empreendimentos, gerando maior competitividade, e como forma de tentar ajustar a velocidade dos negócios com a velocidade das tecnologias disponíveis e em desenvolvimento serão fatores decisivos para assegurar novos e necessários saltos no desenvolvimento sustentável do setor agropecuário. Finalizando, ressalta-se que, hoje, somos impactados pelas chamadas tecnologias convergentes, baseadas em biotecnologia, tecnologias da informação, nanotecnologia e ciências cognitivas, as quais, segundo a "National Science Foundation", dos Estados Unidos, serão decisivas para o futuro da humanidade, e não será diferente com o setor agropecuário. Portanto, mãos à obra todos nós!

Ladislau Martin Neto, pesquisador, diretor executivo de P&D da Embrapa

Uma agenda dessa natureza, definida com os propósitos indicados, a partir do ambiente que foi delineado, deverá necessariamente superar algumas das limitações que possuem tradicionalmente as agências públicas, em virtude de sua inserção no sistema de produção agrícola com múltiplos atores, culturas e regiões. A primeira dessas limitações consiste na multiplicidade de prioridades e na fragmentação da agenda de pesquisa. A biotecnologia moderna é incompatível com essa configuração. Ela demanda equipes numerosas e dedicadas, com prioridades e metas. Consequentemente, é necessário que a agenda definida seja perseguida, com metas intermediárias, pelo período de tempo suficiente para alcançar resultados. As grandes empresas de biotecnologia vegetal (sementes), para alcançarem seus propósitos industriais e econômicos, lançaram-se de modo decidido à conquista de ativos complementares (pesquisadores, empresas, patentes, tecnologias). Portanto, de modo análogo, para que a agenda de pesquisa do Cerrado possa ter efetividade, é necessário que as partes envolvidas sejam capazes de reconhecer suas limitações individuais, a insuficiência das competências reunidas por seu conjunto e possam buscar colaborações para darem o passo adiante.

É importante destacar o pioneirismo do trabalho desenvolvido em conjunto pela Ampa (Associação Mato-grossense do Algodão), a Aprosoja/MT (Associação dos Produtores de Soja), a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o IMAmt (Instituto Mato-grossense do Algodão) e que tem como um dos resultados a presente publicação. A iniciativa dessa ação conjunta é a de discutir os desafios da produção agrícola no Cerrado, com o intuito de construir um diagnóstico que sirva de base para ações efetivas que permitam estabelecer as bases tecnológicas para a sustentabilidade da agricultura do Cerrado.

Referências

ABRASEM. 2014. Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **Anuário 2014.** Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/anuarios/>. Acesso em 06/06/16

ALVES, E. R. A.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Lucratividade da Agricultura. **Revista de Política Agrícola**, ano XXI, n. 2, p. 45-63, 2012.

ANDA. 2016. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Planilha Estatística 2016. Disponível em: <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.01.00&ver=por> Acesso em 04/06/16.

ANFAVEA. 2016. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Estatísticas. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/tabelasnovos.html>. Acesso em 03/06/16

ARS. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. Disponível em: www.ars.usda.gov/. Acesso em 02/06/16.

CAAS. Chinese Academy of Agricultural Sciences. Disponível em: http://www.caas.cn/en/about_caas/index.shtml. Acesso em 05/06/16.

CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation of Australia. Disponível em: <http://www.csiro.au/>. Acesso em 05/06/16.

CONAB. 2014. Companhia Nacional de Abastecimento – Capacidade Estática dos Armazéns. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1077&t=2>. Acesso em 02/06/16.

DINIZ, C. C. **Dinâmica regional e ordenamento do território brasileiro: desafios e oportunidades.** Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2013. 29 p.: il. (Texto para discussão, 471).

EMBRAPA. 2015. Relatório de Gestão da Embrapa 2014/2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/relatorio-de-gestao> Acesso em 05/06/16.

EMBRAPA ORGANOGRAMA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/organograma>. Acesso em 06/06/16.

IBGE. 2014. IBGE. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 03/06/16

INRA. French National Institute for Agricultural Research. Disponível em: <http://institut.inra.fr/Missions> Acesso em 03/06/16.

GHIMIRE, N.; WOODWARD, R. T. Under- and over-use of pesticides: An international analysis. **Ecological Economics** v. 89, p.73–81, 2013.

NARO. National Agriculture and Food Research Organization of Japan. Disponível em: <http://www.naro.affrc.go.jp/english/about/president/> Acesso em 03/06/16.

SINDIVEG. 2015. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal – Balanço 2015. Disponível em: <http://sindiveg.org.br/balanco-2015-setor-de-agro-quimicos-confirma-queda-de-vendas/> Acesso em 06/06/16.

VERAX. 2015. Verax Consultoria. **Relatório Projeto Mississippi.** Maio/2015.

Anexo 1

LISTA DE INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SEMENTES DE MATO GROSSO – APROSMAT

Tania de Fátima Silveira dos Santos - pesquisadora

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA DO BRASIL – APROSOJA BRASIL

Fabício Rosa - diretor executivo

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO – APROSOJA-MT

Alexandre Pedro Schenkel - diretor administrativo

Luiz Nery Ribas - diretor técnico

Franciele Dal'Maso - gerente de defesa agrícola

ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO – AMPA

Décio Tocantins - diretor executivo

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES

Joselito Bonifácio Oliveira

Victor Alexander Contarato Burns

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO – CNPq

Cláudia Queiroz Gorgati - coordenação-geral do Programa de Pesquisa em Agropecuária e Biotecnologia - CGAPB/DABS

ELABORA CONSULTORIA E PARTICIPAÇÕES

João Furtado - diretor

Diane Teo de Moraes - consultora

Guilherme Vaz França Reis - consultor

Priscila Socoloski - consultora

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Celso Omoto - professor

Durval Dourado Neto - vice-diretor da ESALQ/USP

Mário Massayuki Inomoto - professor

FUNDAÇÃO CHAPADÃO

Edson Borges - diretor executivo

FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT

Lucia Madalena Vivan - pesquisadora

Rosângela Aparecida da Silva - pesquisadora

FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – FRAC BRASIL

Christian Scherb - desenvolvimento de produto e mercado

Rafael Pereira - pesquisador

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC (APTA)

Christina Dudienas - pesquisadora

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR

Humberto Godoy Androcioli - pesquisador

Rodolfo Bianco - pesquisador

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO ALGODÃO

Alvaro Lorenço Ortolan Salles - diretor executivo

Carlos Marcelo Soares - pesquisador

Eduardo Moreira Barros - pesquisador

Jacob Crosariol Netto - pesquisador

Jean-Louis Bélot - pesquisador

Patrícia Andrade Vilela - pesquisadora

Rafael Galbieri - pesquisador

TROPICAL MELHORAMENTO E GENÉTICA – TMG

Romeu Kiihl – diretor científico

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – UPF

Erlei Melo Reis - professor

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” – UNESP

Geraldo Papa – campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD

Marcos Gino Fernandes - professor

Paulo Eduardo Degrande - professor

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU

Fernando César Juliatti - professor

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ

Marcio Alves Ferreira - professor

UNIVERSIDADE FEDERAL GOIÁS – UFG

Edward Madureira Brasil - professor

PARTICIPANTES DA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Celso Luiz Moretti - diretor do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento

DEPARTAMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

Maria Quitéria dos Santos Marcelino - pesquisadora

DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Ladislau Martin Neto - diretor de Pesquisa e Desenvolvimento

Jefferson Luís da Silva Costa - assessor

Moacyr José Vaz de Sousa - assessor

Paulo Roberto Galerani - assessor

EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL

Rafael Major Pitta - pesquisador

EMBRAPA ALGODÃO

Camilo de Lelis Morello - pesquisador

José Ednilson Miranda - pesquisador

Luiz Gonzaga Chitarra - pesquisador

Nelson Dias Suassuna - pesquisador

EMBRAPA CERRADOS

Alexandre Specht - pesquisador
André Ferreira Pereira - pesquisador
José Roberto Rodrigues Peres - pesquisador
Sebastião Pedro da Silva Neto - pesquisador

EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO

Carlos Manoel Pedro Vaz - pesquisador
Silvio Crestana - pesquisador

EMBRAPA RECURSOS GENÉTICOS E BIOTECNOLÓGICOS

Maria Fátima Grossi de Sá - pesquisadora
Rose Gomes Monnerat Solon de Pontes - pesquisadora

EMBRAPA SOJA

José Renato Bouças Farias - chefe geral Embrapa Soja
Cláudia Vieira Godoy - pesquisadora
Décio Luiz Gazzoni - pesquisador
Francismar Correa Marcelino-Guimarães - pesquisadora

PRESIDÊNCIA

Maurício Antonio Lopes - presidente
Eliseu Roberto de Andrade Alves - assessor
João Flávio Veloso Silva - pesquisador

SECRETARIA DE INTELIGÊNCIA E MACROESTRATÉGIA

Elísio Contini - chefe da Secretaria de Inteligência e Macroestratégia
Danielle Alencar Parente Torres - pesquisadora
Marisa Prado Gomes - pesquisadora
Pedro Abel Vieira Junior - pesquisador
Roberta Dalla Porta Gründling - pesquisadora
Virgínia Gomes de Caldas Nogueira - pesquisadora

SECRETARIA DE NEGÓCIOS

Vitor Hugo de Oliveira - chefe da Secretaria de Negócios
Ronaldo Pereira de Andrade - pesquisador

SECRETARIA DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS

Eliana Valéria Covolan Figueiredo - pesquisadora

Eberson Sanches Calvo - Agrinova Sementes
Joaquim Aparecido Machado - consultor
Miguel Ferreira Soria - entomologista Bayer CropScience
Sérgio Gonçalves Dutra - consultor
Walter Jorge dos Santos - consultor
Wilhelmus Uitdewilligen - consultor

