



UFPR – Setor Palotina

www.campuspalotina.ufpr.br

agronomiapalotina@ufpr.br



AGRONOMIA
UFPR - Setor Palotina

Apoio



“Este produto foi confeccionado com o apoio da PROEC/UFPR, e faz parte dos produtos comemorativos do Centenário da UFPR.”

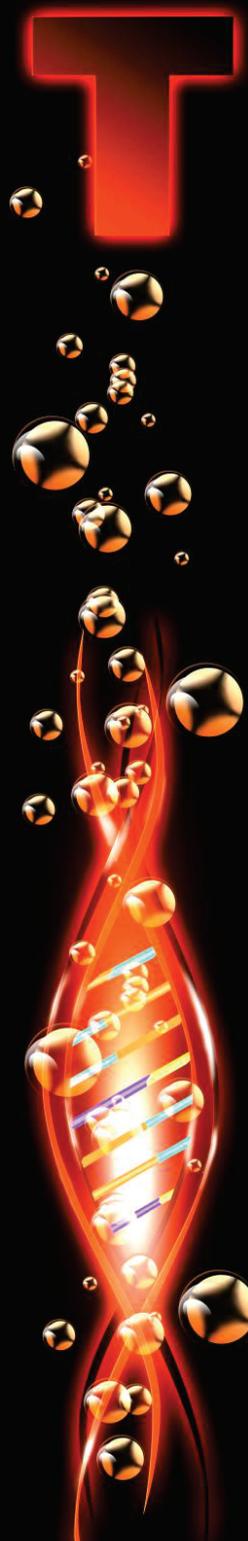
ISBN 978-8588924-13-0



9 788588 924130

Manejo de Cultivos Transgênicos

Albrecht, LP e Missio, RF - 2013



Manejo de Cultivos Transgênicos

Leandro Paiola Albrecht
Robson Fernando Missio



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

Manejo de Cultivos Transgênicos

Editores

Leandro Paiola Albrecht

Robson Fernando Missio

PALOTINA – PR

2013

©2013 by Leandro Paiola Albrecht e Robson Fernando Missio

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida sem a autorização escrita e prévia dos detentores do copyright.

Capa

Alexandre Claus e Juliano Rodrigo Boff

Revisão gramatical

Prof. Néelson Hendges

Impressão

Imprensa da UFPR

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A341m Albrecht, Leandro Paiola

Manejo de cultivos transgênicos. / Leandro Paiola Albrecht, Robson Fernando Missio (editores). – Palotina, PR: (s.n.), 2013.
139 p.

1. Transgenia. 2. Milho transgênico. 3. Soja transgênica. 4. Melhoramento genético. 5. Agricultura. I. Missio, Robson Fernando. II. Universidade Federal do Paraná. III. Setor Palotina.

CDU 631.528.1

Bibliotecária: Neide O. S. Paula – CRB 9-1477

Distribuição gratuita

Professores: Leandro Paiola Albrecht (lpalbrecht@yahoo.com.br) e

Robson Fernando Missio (rfmissio@ufpr.br)

UFPR – Setor Palotina (<http://www.campuspalotina.ufpr.br>)

Rua Pioneiro, 2153, Jardim Dallas, 85950-000, Palotina, PR.

Fone: (44) 3211 8500; (44) 3211 8503

SUMÁRIO

Prefácio	05
----------	----

1 Melhoramento Genético e a Transgenia	07
<i>Robson Fernando Missio e Luciana Grange</i>	

2 Soja RR e o Glyphosate	25
<i>Leandro Paiola Albrecht, Alfredo Junior Paiola Albrecht e Ricardo Victoria Filho</i>	

3 Manejo do Milho Bt	46
<i>Leandro Paiola Albrecht, Fábio Henrique Krenchinski, Danilo Morilha Rodrigues, Henrique Fabricio Placido, Ruan Carlos Navarro Furtado, Renato Rodrigo Bieler e Alexandre Claus</i>	

4 Detecção e Quantificação de Eventos Transgênicos	64
<i>Francismar Corrêa Marcelino-Guimarães</i>	

5 Biotecnologia, Biossegurança e Bioética	81
<i>Luciana Grange, Olivia Marcia Nagy Arantes, Andressa Caroline Patera e Angelica Luana Kehl da Silva</i>	

6 Perspectivas Sobre as Variedades Transgênicas	108
<i>Wellington Silva Gomes e Aluizio Borém</i>	

“Este produto foi confeccionado com o apoio da PROEC/UFPR, e faz parte dos produtos comemorativos do Centenário da UFPR.”



Reitor

Zaki Akel Sobrinho

Vice-Reitor

Rogério Mulinari

Diretor do Setor Palotina

Luciano dos Santos Bersot

Pró-Reitora de Extensão e Cultura

Elenice Mara Matos Novak

Coordenadora de Extensão

Nadia Gaiofatto Gonçalves

Coordenadores do Projeto

Leandro Paiola Albrecht (Coordenador)

Robson Fernando Missio (Vice-Coodenador)

Prefácio

O cultivo de culturas transgênicas é expressivo no cenário do agronegócio brasileiro, dominando, sobretudo, o retrato atual das grandes culturas, como é o caso da soja e do milho. Em algumas regiões do Brasil, a exemplo do que acontece na região Oeste do Estado do Paraná, fica impossível dissociar do contexto agrícola a imagem dos transgênicos, especialmente da soja RR e do milho Bt, ocupando mais de 90% da área cultivada (conforme constatado em muitas regiões).

A importância local, nacional ou mundial dos cultivos transgênicos, para o agronegócio, exige uma atenção especial dos agentes envolvidos no segmento. A conscientização sobre os manejos adequados de cultivos transgênicos deve permear a atitude de técnicos e produtores envolvidos como atores desse processo produtivo que, na sua essência, deve ser sustentável.

Com esse escopo dramaticamente constatado, em que certa relevância é apontada para as recomendações tecnicamente ajustáveis e exigências econômicas e legais pertinentes sendo cobradas, é que iniciativas devem ser tomadas, no sentido de incrementar e preservar as tecnologias disponíveis. Com esse afã e foco regional, surgiu no início de 2011 este projeto ousado, na UFPR Campus Palotina (hoje Setor Palotina), em parceria com a Emater, intitulado: “Manejo Adequado das Culturas Transgênicas em Palotina – PR”. Este projeto, coordenado pelos professores Leandro Paiola Albrecht e Robson Fernando Missio, conta com a participação de outros docentes e um grande número de acadêmicos do curso de Agronomia. Foram realizados levantamentos e diagnósticos sobre a realidade regional, no que concerne aos cultivos transgênicos, desenvolvidas atividades ao público alvo e a publicação de materiais de divulgação, pertinentes ao projeto, como o presente livro.

Nesse contexto, o presente livro intitulado: “Manejo de Cultivos Transgênicos”, escrito por autores e co-autores qualificados, objetiva a abordagem de temas como: melhoramento genético e a transgenia; soja RR e o glyphosate; manejo do milho Bt; detecção e qualificação de eventos transgênicos; biotecnologia, biossegurança e bioética; perspectivas sobre variedades transgênicas. Com viabilização financeira da UFPR, por meio do Edital04/2012, de “Fortalecimento e Divulgação da Extensão da UFPR”, este livro será de distribuição gratuita para Engenheiros Agrônomos, demais profissionais da assistência técnica, estudantes de graduação e pós-graduação em agronomia e áreas correlatas e, principalmente, para produtores rurais.

Leandro Paiola Albrecht
UFPR Setor Palotina

Melhoramento genético e a transgenia

Robson Fernando Missio¹ e Luciana Grange²

Introdução

Começamos este capítulo com uma pergunta simples: As culturas de importância econômica, que conhecemos hoje, sempre tiveram esta forma ou aparência? A resposta a esta pergunta é Não. O grande responsável pela alteração das características das plantas e animais foi, e ainda continua sendo, o homem. A domesticação e, principalmente, a seleção de plantas com características de interesse econômico ou alimentar foram a base para o melhoramento e tiveram início há milhares de anos atrás. O homem vem, repetidamente realizando seleções em plantas e animais para benefício próprio, e isto tornou as

¹ Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Curso de Agronomia, Palotina, PR. E-mail: rfmissio@ufpr.br

² Professora Adjunta da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Curso Superior de Tecnologia em Biotecnologia, Palotina, PR. E-mail: lgrange@ufpr.br

plantas de hoje, com características bem distintas dos seus ancestrais comuns. Um exemplo clássico disso é o que aconteceu com o milho. O ancestral do milho, o teosinto, apresenta características bem distintas do milho de hoje (Figura 1).



Figura 1. Comparações entre o teosinto (ancestral do milho) e o milho que conhecemos atualmente.

O melhoramento genético de plantas é definido como “a arte e a ciência que visam à modificação gênica das plantas para torná-las mais úteis ao homem” (BORÉM E VIEIRA, 2009). Desde os primórdios da agricultura, antes mesmo das descobertas de Mendel na área da genética, o homem já fazia a seleção de plantas geneticamente superiores para o seu benefício próprio. Esse processo

permitiu ganhos genéticos significativos, uma vez que existia grande variabilidade nas populações selvagens. Gradativamente, os ganhos genéticos com a seleção foram diminuindo para algumas culturas, tornando o melhoramento de algumas características cada vez mais difícil.

Atualmente, há necessidade de se usar conhecimentos científicos e tecnológicos para obtenção de ganhos genéticos significativos e manter os bancos de germoplasma das diferentes culturas com a maior variabilidade possível, sempre com introdução de novos genótipos. Também é de suma importância a manutenção de ancestrais comuns selvagens e com baixo grau de melhoramento genético nos bancos de germoplasmas, bancos de sequência de DNA, dentre outros. (http://www.cenargen.embrapa.br/_pdi/colecoes_vegetal.html#a02; <http://www3.uma.pt/isoplexis/index.html>; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>).

As principais descobertas que contribuíram para o melhoramento genético como ciência foram os resultados dos experimentos de Mendel, que comprovaram que o DNA é o material genético primário e elucidaram a herança dos caracteres.

Com a evolução dos estudos genéticos, foram sendo descobertas e desenvolvidas novas ferramentas a fim de contribuir para o melhoramento de diferentes culturas, como os marcadores enzimáticos e de DNA. Uma visão geral da evolução no surgimento de alguns marcadores moleculares pode ser visualizada na Figura 2. Maiores detalhes da utilização de marcadores moleculares nas diferentes etapas do melhoramento genético podem ser encontrados em diferentes publicações (BORÉM E CAIXETA, 2006; FERREIRA E GRATTAPAGLIA, 1998).

Mais recentemente, com o aperfeiçoamento das técnicas de sequenciamento de DNA, várias culturas de interesse econômico

puderam ter seus genomas sequenciados e essas informações estão disponíveis em um grande banco público (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), de grande utilidade para os programas de melhoramento.

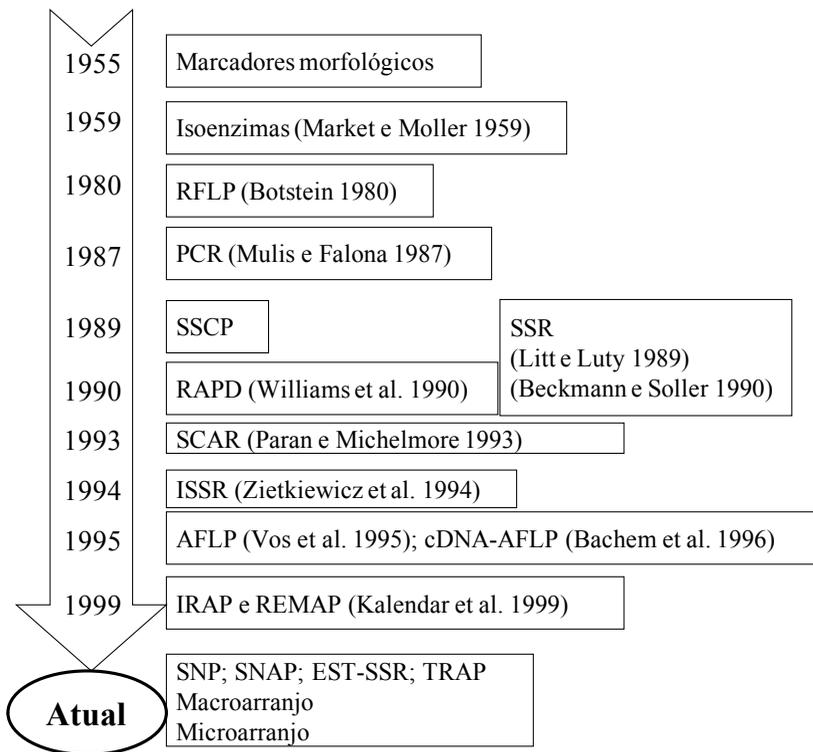


Figura 2. Evolução no surgimento de diferentes técnicas de marcadores moleculares.

Importância do melhoramento genético de plantas

Segundo Destro e Montalvan (1999), a importância do melhoramento genético de plantas para as principais espécies de

relevância agrônômica podem ser agrupadas em diferentes categorias (Tabela 1).

Tabela 1. Principais objetivos do melhoramento genético de plantas.

Objetivo	Descrição
Aumento na produtividade	De grãos, raízes, tubérculos, folhas, caules, frutos e troncos; Teor de óleo e proteínas; Teor ou da qualidade de certos ingredientes ativos em plantas medicinais e aromáticas; De látex (seringueira) e fibras da madeira; Eficiência fotossintética (todas as espécies); Tolerância ao pisoteio (forrageiras); Capacidade de recuperação da parte aérea após o corte (forrageiras, chás, cana-de-açúcar, erva-mate, etc);
Resistência a fatores abióticos	Tolerância à acidez e/ou à presença de elementos tóxicos no solo; Tolerância ao déficit hídrico e ao aquecimento global; Insensibilidade ao fotoperíodo; Tolerância à salinidade do solo ou água; Tolerância a baixas temperaturas;
Aumento da qualidade	Qualidade nutricional dos alimentos; Qualidade nutricional de forragens; Qualidade da fibra (algodão); Qualidade do óleo (soja, algodão, milho, mamona, girassol, amendoim, pinhão manso, etc); Redução de substâncias tóxicas; Aumento da palatabilidade de grãos e frutos; Obtenção de frutos sem sementes (citrus e melancia); Aumento da qualidade aparente (flores e plantas ornamentais);
Resistência a fatores bióticos	Tolerância ou resistência a doenças; Tolerância ou resistência a pragas; Tolerância ou resistência a nematóides;
Colheita, processamento e comercialização	Alteração no hábito de crescimento, altura de plantas, altura de espigas, altura de inserção da primeira vagem; Homogeneidade na maturação de sementes ou frutos; Alteração no tamanho e formato de frutos; Ampliação do período de conservação pós-colheita de frutos, flores ou folhas; Ampliação do período de colheita para industrialização (cana-de-açúcar);

Em regras gerais, o objetivo de todo programa de melhoramento genético sempre é a elevação do valor econômico das espécies, com exceções dos objetivos mais específicos (BORÉM E VIEIRA, 2009). Segundo Destro e Montalvan (1999), algumas características de importância agrônômica são consideradas “caracteres agrônômicos chaves” a serem consideradas em um programa de melhoramento genético de plantas. Esses caracteres chaves são aqueles imprescindíveis para o melhorista de plantas, e dependem de cada espécie em estudo. Entretanto, para espécies produtoras de grãos, como: soja, milho, algodão, trigo, feijão, girassol, etc., são consideradas características chaves à produtividade e à resistência a doenças e pragas. Mais recentemente, os programas de melhoramento genético têm focado em outras características consideradas de grande relevância, como: tolerância à seca, a solos ácidos, e ao melhoramento de espécies voltadas ao aquecimento global (RAMALHO et al., 2009).

O melhorista de plantas deve ser um profissional com conhecimentos em diferentes áreas e, muitas vezes, desenvolver trabalhos em conjunto com profissionais de outras áreas correlatas, para que possa atender às demandas e exigências do mercado (Figura 3). O conhecimento do profissional da área de melhoramento genético deve englobar diferentes áreas de conhecimento, como: bioquímica, fisiologia, sementes, solos, estatística, economia, biologia molecular, climatologia, dentre outras (Figura 3). Esse conhecimento é muitas vezes compartilhado com colegas de outras áreas citadas, havendo entretanto, uma exigência de mercado de trabalho por um profissional de conhecimento amplo e que possa interpor com todas essas áreas acima citadas.

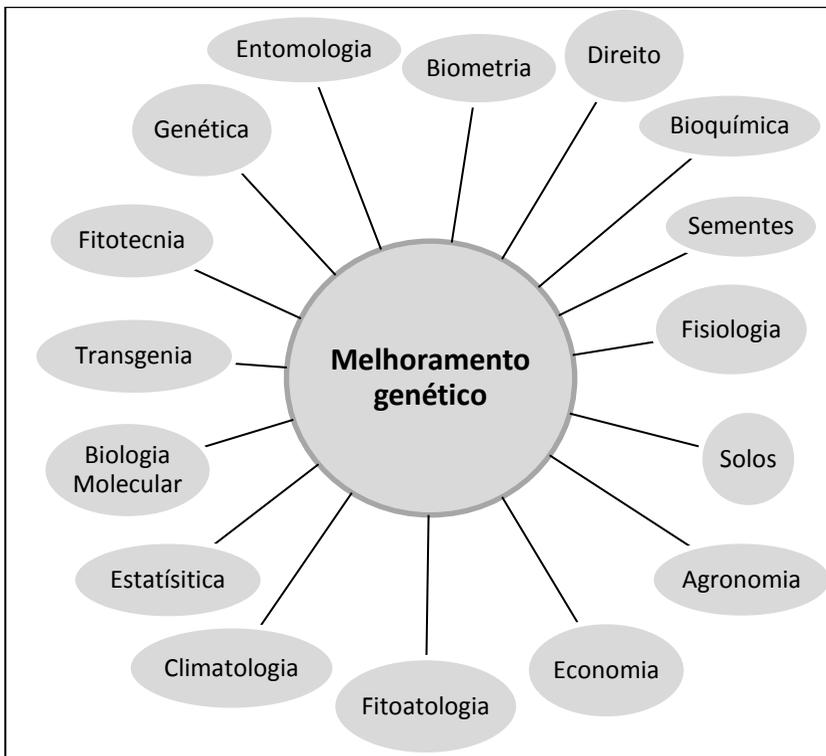


Figura 3. Melhoramento genético e suas áreas correlatas.

O melhoramento genético de plantas conjuntamente com outras técnicas utilizadas na área agrícola, como: adubação, máquinas e mecanização, métodos de cultivo, armazenamento de grãos, sementes, etc. proporcionaram ganhos substanciais na produtividade das principais espécies de importância agrônômica. Mais e melhores alimentos passaram a ser produzidos sem o aumento significativo na área de cultivo (Figura 4). Países tidos como do terceiro mundo, a exemplo de Argentina e Brasil, passaram a desenvolver e consolidar uma agricultura eficiente baseada na

mecanização intensiva e na alta tecnologia. Em nenhum outro país, a agricultura avançou tanto como no Brasil. Nos últimos 34 anos, as principais espécies produtoras de grãos apresentaram um ganho médio de produtividade de aproximadamente 50% no Brasil (Figura 4 e Tabela 2).

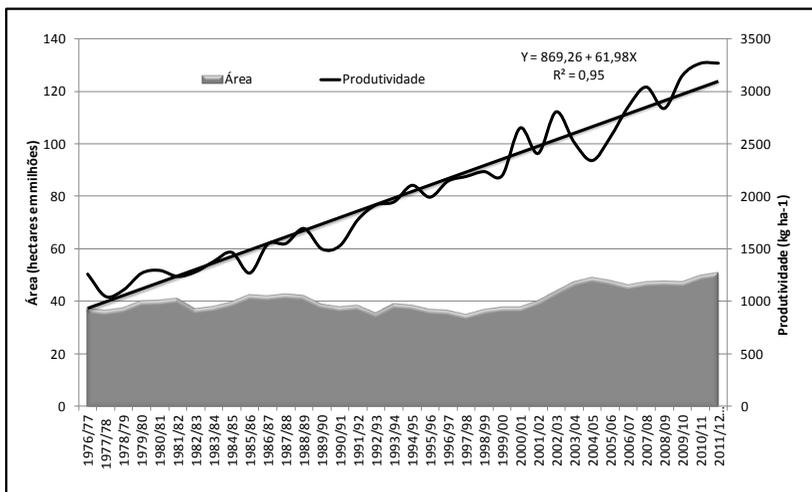


Figura 4. Área plantada e produtividade das principais culturas produtoras de grãos no Brasil. Fonte: Conab (2012).

Culturas como mamona, sorgo, amendoim, soja, feijão e milho tiveram um aumento significativo na produtividade média por hectare (Tabela 2). Esse fato, obviamente, não foi atingido única e exclusivamente pela contribuição do melhoramento, mas por uma série de evoluções tecnológicas no sistema de cultivo agrícola (plântio direto, adubação, máquinas, sementes, controle fitossanitário, etc.).

Tabela 2. Porcentagem de aumento na produtividade (kg/ha) de grãos das principais culturas de importância para a agricultura brasileira.

Cultura	Anos		Aumento em produtividade (%)
	1976/77	2010/11	
Algodão	430	3705	11,6
Amendoim	1413	2674	52,8
Arroz	1501	4827	31,1
Aveia	940	2464	38,1
Cevada	1018	3230	31,5
Feijão	488	935	52,2
Mamona	806	644	125,2
Milho	1632	4158	39,2
Soja	1748	3115	56,1
Sorgo	2450	2831	86,5
Trigo	655	2736	23,9
Média			49,8

Fonte: Conab (2012).

Melhoramento convencional x transgenia

Os métodos de melhoramento genético convencionais, tradicionais ou clássicos, são aqueles em que novas combinações genéticas são geradas por meio de cruzamentos sexuais entre espécies que apresentam características consideradas como desejadas. Quando a característica ou a variação genética desejada não existir dentro da espécie, alelos ou genes são transferidos de outras espécies do mesmo gênero.

De modo geral, para o lançamento de um cultivar, um programa de melhoramento genético convencional envolve uma série de etapas, sendo requeridos muitos anos de pesquisa e trabalhos de

campo (Figura 5). Com o advento da tecnologia dos transgênicos, o número de cultivares “convencionais” registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem diminuído substancialmente (Tabela 3). Um exemplo bem claro pode ser visualizado com a cultura da soja, a qual atingiu aproximadamente 99% de cultivares transgênicas registradas no MAPA. Outras culturas, como algodão e milho, também estão ganhando cada vez mais espaço no mercado dos transgênicos (Tabela 3).



Figura 5. Esquema de melhoramento genético clássico, mostrando suas principais fases.

Tabela 3. Número de cultivares registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, das principais espécies produtoras de grãos do Brasil.

Cultura	Nº de cultivares registrados no MAPA*		% transgênicos
	Convencional	Transgênica	
Algodão	112	14	12,5
Amendoim	25	0	0
Arroz	256	0	0
Aveia	76	0	0
Cevada	42	0	0
Feijão	283	0	0
Mamona	24	0	0
Milho	1425	696	48,8
Soja	524	517	98,7
Sorgo	369	0	0
Trigo	235	0	0

*Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php?). Acessado em 11/12/2012.

No melhoramento genético convencional, muitos genes são transmitidos às gerações seguintes por meio de cruzamentos específicos ou interespecíficos e retrocruzamentos. Muitos desses genes não são os de interesse do melhorista, entretanto, devido a diversos motivos (ligação gênica, recombinação, entre outros) os mesmos são transferidos para gerações seguintes, dificultando o trabalho do melhorista. Com o advento de técnicas modernas de modificação genética, também conhecida por tecnologia do DNA recombinante, criou-se a possibilidade de um gene desejável de uma espécie ser isolado e inserido em outra espécie, sem a necessidade de compatibilidade sexual ou cruzamentos (Figura 6). A descendência

gerada, contendo o gene de interesse ou o transgene, pode ser então reproduzida por métodos convencionais.

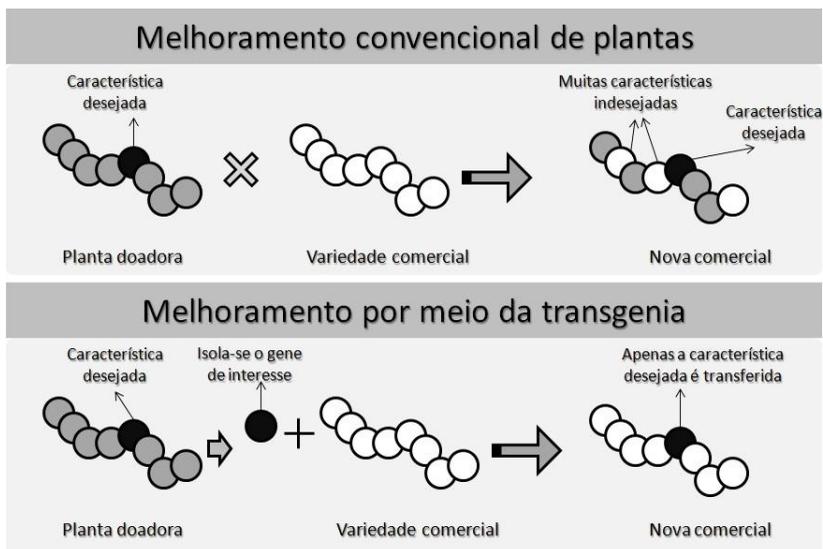


Figura 6. Comparação entre o melhoramento convencional e a transgenia.

Segundo Paterniani (2002), sob o ponto de vista genético, os métodos convencionais e a transgenia não são mutuamente excludentes: ao contrário, são complementares. Todo o progresso genético para produtividade e demais caracteres quantitativos, da grande maioria das espécies, foi obtido por métodos convencionais. A transgenia apenas incorporou nas variedades superiores um ou poucos genes responsáveis por características específicas, que conferem vantagens adicionais, como: resistência a insetos-praga, herbicidas, qualidade nutricional, entre outras.

As características agronômicas mais introduzidas em variedades transgênicas são a tolerância a herbicidas, resistência a insetos ou às duas características combinadas, que representam 59%, 15% e 26%, respectivamente, da área plantada mundialmente com culturas GMs (JAMES, 2011). Entretanto, outras características, não menos importantes, estão sendo alvo do melhoramento genético por meio da transgenia. Dentre elas, podemos citar a tolerância à seca, o estresse salino e o valor nutricional (ASHRAF, 2010; NAQVI et al., 2011; NAGAMIYA et al., 2007).

Nagamiya et al. (2007) relatam a contribuição da transgenia para obtenção de uma cultivar de arroz tolerante ao estresse salino. Nesse trabalho, os pesquisadores inseriram o gene *katE* de *Escherichia coli*, numa cultivar de arroz japonesa, permitindo a cultivar transgênica produzir sementes com a presença de 100mM de NaCl (Figura 7).

Um exemplo relacionado à resistência à seca foi a obtenção de um cultivar transgênico de arroz, obtido por Oh et al. (2009) na Coreia. Plantas transgênicas de arroz tolerante à seca foram obtidas e submetidas a condições de estresse hídrico. As duas linhagens de plantas transgênicas de arroz obtidas foram, visivelmente, mais tolerantes ao estresse hídrico quando comparadas com a respectiva cultivar não-transgênica (Figura 8). Os pesquisadores demonstraram, por meio de ensaios de campo, que a linhagem transgênica OsCc1:AP37 apresentou um aumento na produção de grãos de 16% a 57% com relação aos controles não-transgênicos avaliados sob condições severas de estresse hídrico. Em condições normais, as linhagens avaliadas não exibiram diferença significativa no crescimento e produção a campo.

A tecnologia dos transgênicos também permitiu a obtenção de milho com elevados teores de vitamina A. A deficiência em vitamina A afeta mais de 250 milhões de pessoas no mundo e é uma das mais prevalentes deficiências nutricionais nos países em

desenvolvimento. Desse modo, Aluro et al. (2008) desenvolveram uma linhagem de milho transgênico derivado do germoplasma Hi-II, que produz 34 vezes mais carotenoides totais no endosperma da semente de milho. Fato este que pode contribuir significativamente no combate à deficiência de vitamina A em humanos.

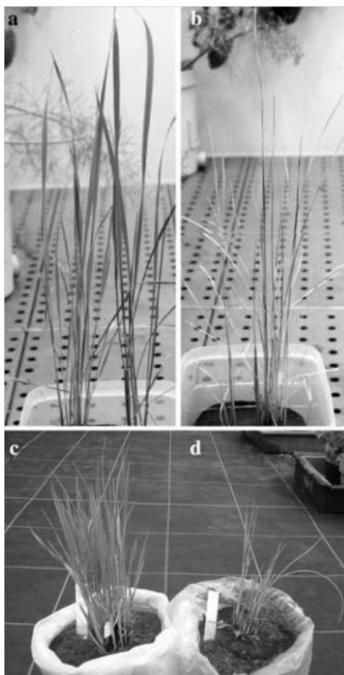


Figura 7. Plantas de arroz transgênicas tolerantes ao estresse salino no estágio vegetativo. As plantas transgênicas (a, c) e não-transgênicas (b, d) foram cultivadas na presença de 100mM de NaCl por 14 dias. Fonte: Nagamiya et al. (2007).

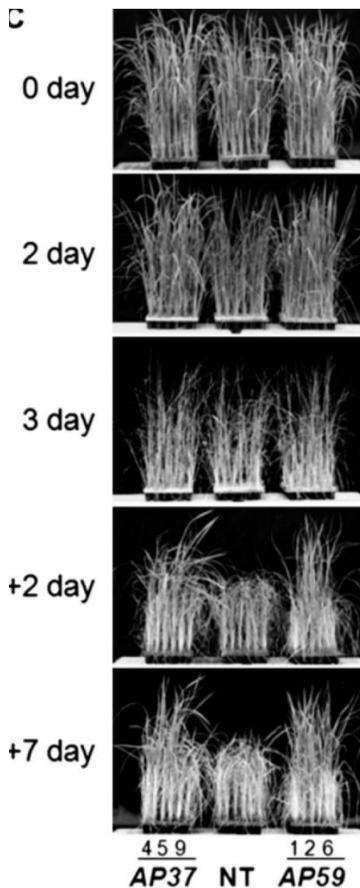


Figura 8. Aparência de linhagens transgênicas de arroz tolerantes à seca. Fonte: Oh et al. (2009).

Referências Bibliográficas

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. **Biotechnology Advances**, 28:169-183, 2010.

BACHEM, CWB.; HOEVEN, RS.; BRUIJN, SM.; VREUGDENHIL, D.; ZABEAU, M.; VISSER, RGF. Visualization of differential gene expression using a novel method of RNA fingerprinting based on AFLP: analysis of gene expression during potato tuber development. **The Plant Journal**, 9:745-753, 1996.

BECKMANN, JS.; SOLLER, M. Toward a unified approach to genetic mapping of eukaryotes based on sequence tagged microsatellites sites. **Biotechnology**, 8:930-932, 1990.

BOREM, A.; CAIXETA, ET. **Marcadores moleculares**. Viçosa, 374p., 2006

BOREM, A.; VIEIRA, G. **Melhoramento de Plantas**. 5ª Edição. Viçosa: Editora UFV, 529 p., 2009.

BOTSTEIN, D.; WHITE, RL.; SKOLNICK, M.; DAVIS, RW. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. **American Journal Human Genetic**, 32:314-331, 1980.

CAIXETA ET, OLIVEIRA ACB, BRITO GG, SAKIYAMA NS **Tipos de marcadores moleculares**. In: Borém A, Caixeta ET. **Marcadores moleculares**. Viçosa, MG, 374p., 2006.

CONAB. [Brasília]. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em 14 de dezembro de 2012.

DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Editora UEL, Londrina, 820p., 1999.

- FERREIRA, EF.; GRATTAPAGLIA, D. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. 3ª Edição, Brasília: Embrapa-Cenargen, 200p, 1998.
- JAMES, C. Global status of commercialized biotech/GM Crops: 2011. Disponível em: <http://www.isaaa.org>. Acesso em: 03/12/2012, 2011.
- LITT M.; LUTY JA. A hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *American Journal of Human Genetics*, 44: 397-401, 1989.
- MARKERT, CL.; MOLLER, F. Multiple forms of enzymes tissue, ontogenetic and species specific patterns. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, 45:753-762, 1959.
- MULLIS, K.; FALOONA, F. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase catalysed chain reaction. **Methods Enzymology**, 55:335-350, 1987.
- NAGAMIYA,K.; MOTOHASHI, T.; NAKAO, K.; PRODHAN, SH.; HATTORI, E.; HIROSE, S.; OZAWA, K.; OHKAWA, Y.; TAKABE, T.; TAKABE, T, KOMAMINE, A. Enhancement of salt tolerance in transgenic rice expressing an *Escherichia coli* catalase gene, *katE*. **Plant Biotechnology Report**, 1:49-55. 2007.
- NAQVI, S.; RAMESSAR, K.; FARRÉ, G.; SABALZA, M.; MIRALPEIX, B.; TWYMAN, RM.; CAPELL, T.; ZHU, C.; CHRISTOU, P. High-value products from transgenic maize. **Biotechnology Advances**, 29: 40-53, 2011.
- OH, SJ.; KIM, YS.; KWON, CW.; PARK, HK.; JEONG, JS.; KIM, JK. Overexpression of the transcription factor AP37 in rice improves grain yield under drought conditions. **Plant Physiology**, 150:1368–1379, 2009.

- PARAM, I.; MICHELMORE, RW. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew resistance genes in lettuce. **Theoretical Applied Genetics**, 85:985-993, 1993.
- PATERNIANI, E. Uma percepção crítica sobre técnicas de manipulação genética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 1:77-84, 2002.
- RAMALHO, MAP.; SILVA, GS.; DIAS, LAS. Genetic plant improvement and climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 9: 189-195, 2009.
- VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; LEE, T.; HORNES, M.; FRIJTERS, A.; POT, J.; PELMAN, J. KUIPER, M.; ZABEAU, M. AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Research**, 23:4407-4414, 1995.
- WILLIAMS, JG.; KUBELIK, AR.; LIVAK, KJ.; RAFALSKI, LA.; TINGEY, SV. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. **Nucleic Acids Research**, 18:6531-6535, 1990.
- ZIETKIEWICZ, E.; RAFALSKI, A.; LABUDA, D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. **Genomics**, 20:176-183, 1994.

Soja RR e o Glyphosate

Leandro Paiola Albrecht¹, Alfredo Junior Paiola Albrecht² e Ricardo Victoria Filho²

Introdução

Atualmente é essencial aumentar a produção e a distribuição de gêneros alimentícios para alimentar e livrar da fome uma população mundial crescente e limitada financeiramente. Ao mesmo tempo, devemos reduzir os impactos ambientais e buscar a sustentabilidade dentro do sistema produtivo, sem aumentar as áreas agrícolas e, sim, otimizando o uso de áreas que, em muitos casos, já estão sendo intensivamente cultivadas.

¹ *Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Curso de Agronomia, Palotina, PR. E-mail: lpalbrecht@yahoo.com.br*

² *Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, SP. E-mail: rvictori@usp.br; ajpalbrecht@yahoo.com.br.*

Para isso ser alcançado, é necessária a utilização responsável e adequada das descobertas científicas e de novas tecnologias disponíveis, como as plantas transgênicas. A agricultura, nas últimas décadas, tem aumentado de uma forma expressiva a produtividade de alimentos. Porém, também tem aumentado a utilização de defensivos agrícolas, que apresentam alto custo para os produtores, afetando sua lucratividade e, ainda, trazendo danos à saúde humana e ao nosso ecossistema.

Assim com a utilização consciente de culturas transgênicas, como a soja contendo a tecnologia Roundup Ready (RR), pode-se melhorar a eficiência produtiva das lavouras, reduzindo custos e danos ao meio ambiente, possibilitando, além de maior agregação de renda no campo, a diminuição de possíveis impactos ambientais pelo uso excessivo de herbicidas, como ocorria antes do surgimento da soja RR.

Mas a soja RR, mesmo proporcionando benefícios ao meio ambiente e aos agricultores, para os quais a aceitação dessa tecnologia é inegável, dando suporte ao rápido crescimento das áreas cultivadas com culturas RR no Brasil e no Mundo, ela apresenta algumas características que merecem atenção, como resultados de literatura que indicam efeitos danosos do glyphosate sobre a soja RR, e também, o surgimento recente de grande número de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, nas principais regiões produtoras de grãos no Mundo. Esses pontos levantados, e outros de suma importância, serão devidamente discutidos a seguir.

Generalidades sobre a soja RR e o Glyphosate

Hoje a sociedade moderna é testemunha de que as plantas transgênicas apoiaram o surgimento e desenvolvimento de produtos e serviços com impacto significativo na vida do produtor rural e dos consumidores em vários países. Organismos geneticamente

modificados, como as variedades transgênicas de soja, milho, algodão, canola, mamão, arroz, tomate e várias outras espécies, vêm ganhando a preferência de agricultores, devido a diversos benefícios proporcionados, desde que a primeira variedade transgênica, o tomate “FlavrSavr” lançado em 1994, atingiu o mercado (BORÉM E SANTOS, 2008).

Os primeiros trabalhos a campo com plantas transgênicas foram desenvolvidos em 1986 nos Estados Unidos da América do Norte e na França e, com o passar do tempo, até metade da década de 90, 56 diferentes culturas já tinham sido testadas em mais de 3.500 experimentos, em cerca de 15.000 áreas. As culturas que apresentaram mais testes foram: soja, milho, tomate, batata, algodão e canola. E as características inseridas foram, principalmente, resistência a herbicidas, qualidade do produto, resistências a vírus e insetos (OLIVEIRA JUNIOR. et al. 2011).

Com relação à ciência das plantas daninhas, atualmente temos cerca de 30.000 espécies que causam danos às culturas comerciais, através da competição por nutrientes, água, espaço físico e luz, impossibilitando que a cultura expresse todo seu potencial produtivo. Isso ocorre devido à agressividade das plantas daninhas, que apresentam diversas características adaptativas para suportar condições adversas e se propagar, enquanto que as culturas comerciais, por meio do melhoramento genético imposto a elas, perderam essa “agressividade” para ganhar produtividade, ficando mais vulneráveis a serem afetadas pelas plantas daninhas.

Antes do surgimento e expansão das culturas tolerantes a herbicidas, a maior dificuldade no controle de plantas daninhas que competiam com a cultura comercial, estava diretamente ligada à dificuldade de um único herbicida realizar o controle eficiente de todas as invasoras, ou seja, apresentar um amplo espectro de controle de plantas daninhas e ser seletivo para com a cultura de interesse, não causando danos a esta.

Dessa forma, uma das primeiras características transgênicas a serem incorporadas às variedades de soja e algodão foi tolerância a herbicidas. Com o desenvolvimento das primeiras plantas tolerantes ao herbicida glyphosate, desenvolvidas pela Monsanto, surgiu a tecnologia conhecida como Roundup Ready (RR). Comercialmente, cultivares de soja RR e de algodão RR estão disponíveis desde 1996 e 1997 nos EUA, respectivamente (BORÉM E SANTOS, 2008), pois as cultivares de soja e de canola foram as primeiras, contendo a tecnologia RR a serem plantadas em campos de produção comercial em 1996, nos Estados Unidos (VELINI et al., 2009).

No Brasil, a cultura RR mais difundida é a soja, que foi o primeiro evento transgênico liberado pela CTNBio, em 1998 (CIB, 2012) e que é cultivada, legalmente, desde 2005. Em nosso país, na safra 2011/2012, juntamente com o crescimento das áreas ocupadas pelas lavouras de soja, que atingiram 24,97 milhões de hectares, passando a ser a maior área já cultivada com soja no país (CONAB, 2012), ocorreu um elevado incremento das lavouras cultivadas com soja tolerante ao glyphosate, chegando-se a, aproximadamente, 85% de toda área cultivada, ou seja, 21,32 milhões de hectares (SAFRAS E MERCADO, 2012). Para esta safra (2012/13), as previsões giram em torno de que 90% das áreas sejam com soja RR.

Esse fato pode ser atribuído aos expressivos benefícios advindos da tecnologia Roundup Ready (RR), que deu suporte para o rápido crescimento da área de soja transgênica no Brasil e no Mundo. Crescimento este que, apoiado pelo herbicida glyphosate, atualmente representa de 12 a 14% do mercado mundial de defensivos agrícolas e tem participação entre 38 e 40% no mercado dos herbicidas, com uma produção anual do ácido de glyphosate em torno de um bilhão de quilos, apresentando uma taxa média de crescimento no mercado mundial próxima a 15% ao ano, nos últimos anos, devido ao desenvolvimento das culturas RR (VELINI et al., 2009; MONSANTO, 2012a).

Tratando-se do mercado mundial de herbicidas, é importante destacar que os primeiros registros de substâncias químicas utilizadas para o controle de plantas daninhas foram, no início do século XX, com uso de sais e ácidos, e depois, em 1941, houve um grande marco com a descoberta do 2,4-D, e outro grande marco, com a introdução do glyphosate em 1974. Nas últimas décadas, no Brasil e no mundo, o volume utilizado de herbicidas é cada vez maior, comparando-se com outras classes de defensivos agrícolas, como inseticidas e fungicidas (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011; VELINI et al., 2009).

O glyphosate é um herbicida pós-emergente, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas, classificado como não-seletivo (seletivo somente para culturas RR). Apresenta largo espectro de ação, controlando plantas daninhas anuais ou perenes, tanto de folhas largas como estreitas. Apresenta, também, ação sistêmica, sendo absorvido pelas folhas e tecidos verdes, e translocado, preferencialmente pelo floema, para os tecidos meristemáticos da planta. Age inibindo a atividade da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), que é catalisadora de uma das reações de síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, essenciais ao desenvolvimento da planta (GALLI E MONTEZUMA, 2005).

Ainda com relação ao glyphosate, além das informações expressas anteriormente, deve-se salientar que: produtos contendo glyphosate são registrados em mais de 130 países; no mundo, temos mais de 150 marcas comercializadas, contendo glyphosate; tem controle comprovado para mais de 300 espécies de plantas daninhas; é utilizado em mais de 100 culturas, com registro; apresenta forte adsorção ao solo, prevenindo absorção por outras plantas e movimento pela água; é inativado e biodegradado por grande variedade de microrganismos do solo; a degradação é rápida no solo; e ele é pouco volátil (MONSANTO, 2012b, VELINI et al., 2009).

As propriedades físico-químicas do glyphosate conferem-lhe comportamento peculiar e distinto da maioria dos defensivos usualmente estudados. Do ponto de vista ecotoxicológico, quando o comparamos com demais defensivos agrícolas utilizados normalmente no Brasil, este herbicida tem um comportamento significativamente mais seguro. E, além de todas essas características, o glyphosate apresenta baixo custo. Para se ter uma ideia, no último ano, em alguns lugares do mundo, um litro desse herbicida apresentou um valor próximo a um litro de água mineral. Por fatores como esses, podemos afirmar que esse produto apoiou a grande expansão da tecnologia RR.

Efeitos da aplicação de glyphosate sob a soja RR

Devido à grande importância da soja transgênica no cenário nacional e mundial, são observadas pesquisas voltadas à obtenção de informações com relação aos efeitos causados pela utilização do glyphosate, aplicado sob a soja RR. Nesse sentido, resultados na literatura vigente indicam cautela no uso de glyphosate na soja RR, e muito se especula sobre os seus efeitos. Porém, persistem dúvidas que precisam ser melhor elucidadas no âmbito científico e técnico.

Partindo-se do pressuposto que o glyphosate pode apresentar alguns efeitos indesejáveis mesmo em plantas de soja RR, para as quais é seletivo, destaca-se que qualquer estresse acarretará efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento normal das espécies vegetais (TAIZ E ZEIGER, 2009). Segundo pesquisas recentes, o glyphosate pode influenciar o balanço nutricional, gerar efeitos fitotóxicos, afetar a eficiência no uso da água, a fotossíntese, a rizosfera, o acúmulo de biomassa, a síntese de aminoácidos e compostos secundários, e também afetar a qualidade das sementes e grãos produzidos (KREMERET et al., 2005; NEUMANN et al., 2006; ZABLOTOWICZ E REDDY, 2007; ZOBIOLE et al.,

2010a,b,c,d; ALBRECHT E ÁVILA, 2010, ALBRECHT et al., 2011a,b; ALBRECHT et al., 2012a,b).

Resultados como esses denotam a possibilidade de comprometimento do desempenho agrônômico da soja RR sob aplicação de glyphosate em pós-emergência. Há relatos consistentes de que alguns cultivares de soja, mesmo tolerantes, podem, ainda, apresentar sintomas de fitointoxicação após a aplicação de glyphosate. Essas respostas fisiológicas podem variar de acordo com a localização, classe de solo, condições ambientais e outros fatores (ZABLOTOWICZ E REDDY, 2004).

Tais sintomas podem ser notados na parte aérea, onde se tem observado o chamado “yellow flashing”, que seria um sintoma visual de efeitos negativos do glyphosate sobre parâmetros fotossintéticos e teores de clorofila (KRAUSZ E YOUNG, 2001; REDDY E ZABLOTOWICZ, 2003), ou podem manifestar-se como danos não-perceptíveis, como no caso da redução da atividade e número de nódulos fixadores de nitrogênio (ALONSO, 2008; OLIVEIRA JUNIOR, 2008a, b). Resultados de Santos et al. (2007a) reforçam a hipótese de que o glyphosate pode prejudicar a simbiose entre o rizóbio e a soja.

Em trabalhos como o realizado por Santos et al. (2007b), a aplicação do glyphosate promoveu a diminuição do teor de N nas folhas, levando-se a considerar que a aplicação desse herbicida pode ser nocivo ao balanço nutricional. Semelhante ao observado para o N, o cálcio também foi diminuído nas folhas das plantas tratadas com glyphosate. Várias pesquisas demonstram que muitos nutrientes, como N, Ca, Mg, Fe, Mn e Cu, podem ter seus níveis alterados sob a aplicação de glyphosate (HUBER et al., 2004; GORDON, 2006; SANTOS et al., 2007a; HUBER, 2007; ZOBIOLE, 2010c).

Distintos trabalhos relacionam diretamente a qualidade das sementes com níveis de micronutrientes, como Mann et al. (2002)

que estabelecem ligação entre aumentos na germinação e no vigor das sementes de soja com a aplicação de Mn na cultura. Assim, diminuindo-se por algum motivo a disponibilidade de nutrientes para a soja, pelo uso de glyphosate, se chegaria a uma possível situação de decréscimo na qualidade das sementes.

Albrecht e Ávila (2010) mencionam observação de tendência linear decrescente na qualidade das sementes com o incremento na dose de glyphosate, justificada pelo possível efeito deletério das altas doses desse herbicida. Resultados de pesquisas comprovam que aplicações de glyphosate podem trazer danos significativos à qualidade das sementes de soja, principalmente quando essas aplicações são em doses elevadas, no período reprodutivo da cultura, ou ainda, quando são realizadas aplicações sequenciais tardias (ALBRECHT et al., 2011a,b; ALBRECHT et al., 2012a,b).

Assim, infere-se que, diante da literatura disponível, dentro dessa linha de pesquisa, podem-se assumir possíveis consequências do uso inadequado do glyphosate na soja RR, sobre o balanço nutricional, qualidade das sementes, parâmetros agrônômicos, bioquímicos e fisiológicos. Pois como sabemos, em alguns casos, em situações reais de campo, este herbicida é utilizado em doses mais altas do que o recomendado e também fora de seu período ideal de aplicação.

Neste mesmo contexto, é válido destacar que temos, também, o milho RR, que é amplamente cultivado em países, como: Estados Unidos, Canadá, Argentina, África do Sul, Uruguai, Paraguai, Colômbia, entre outros (MONSANTO, 2012c). No Brasil essa tecnologia foi aprovada recentemente pela CTNBio, em 2009 (CIB, 2012), mas comercialmente, áreas significativas foram cultivadas somente em 2011. Assim como a soja, o milho deve apresentar grande potencial de aceitabilidade pelos agricultores nos próximos anos, devido à facilidade proporcionada no controle de plantas daninhas, porém, pelo fato da liberação recente dessa

tecnologia, para utilização pelos produtores, pouco se sabe sobre os possíveis efeitos que o glyphosate pode causar a esta cultura, sob as condições edafoclimáticas brasileiras. Portanto, a exemplo dos resultados encontrados para cultura da soja, o glyphosate deve ser utilizado com atenção e cautela sob o milho RR (ALBRECHT et al., 2012c)

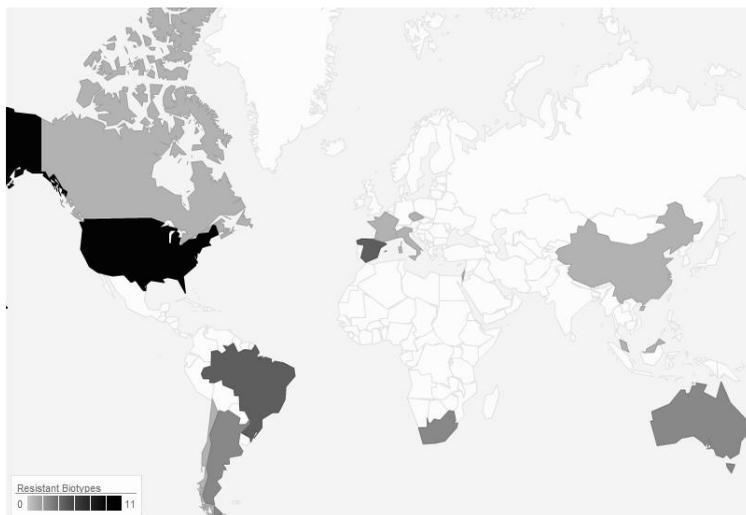
Resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate

Uma das definições mais aceitas para resistência de plantas daninhas a herbicidas é da Weed Science Society of America (WSSA), que define como habilidade de uma planta sobreviver e se reproduzir, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo selvagem da planta (WEED SCIENCE, 2012). Só não podemos confundir resistência com tolerância de plantas daninhas aos herbicidas, pois a tolerância é uma característica natural da espécie em sobreviver a aplicações de herbicida na dose recomendada, que seria letal a outras espécies, isso sem a ocorrência de alterações marcantes em seu crescimento e desenvolvimento. Esta é uma característica que existe na planta antes mesmo da primeira aplicação do herbicida sobre ela. A tolerância, assim como a suscetibilidade, são características inatas de uma espécie (CHRISTOFFOLETI, 2008).

Este assunto é de suma importância devido ao surgimento recente de grande número de espécies de plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate. Hoje, se tem 24 espécies resistentes espalhadas pelas principais regiões agrícolas do mundo (Figura 1). Destacando-se que os Estados Unidos, foram o país precursor das culturas RR, apresentam-se, hoje, 11 biótipos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate. Já o Brasil, que é segundo maior produtor mundial de culturas, como a soja, apresenta cinco biótipos resistentes, mesmo número encontrado na Espanha. Países, como:

Argentina, Austrália e África do Sul, que também são grandes produtores de grãos, apresentam três biótipos resistentes. Por fim, Chile, Paraguai, Canadá, Itália, França, Israel, Republica Checa, Malásia e China apresentam um biótipo resistente (WEED SCIENCE, 2012). Isso pode ser bem visualizado na Figura 1.

No Brasil, já se tinha registro de resistência de plantas daninhas ao glyphosate antes da introdução legal da soja RR, como o *Lolium multiflorum* (Tabela 1), as quais passaram a se tornar um grande problema com a expansão da cultura da soja RR pelo território brasileiro, em que houve um aumento do número de espécies resistentes e que, também, se disseminaram por diversas regiões do país, como ocorreu e está ocorrendo com a *Conyza spp.* e a *Digitaria insularis*.



Fonte: www.weedscience.com, 2012.

Figura 1. Plantas daninhas resistentes ao glyphosate no mundo, cujos países, com coloração mais escura, apresentam maior número de biótipos resistentes.

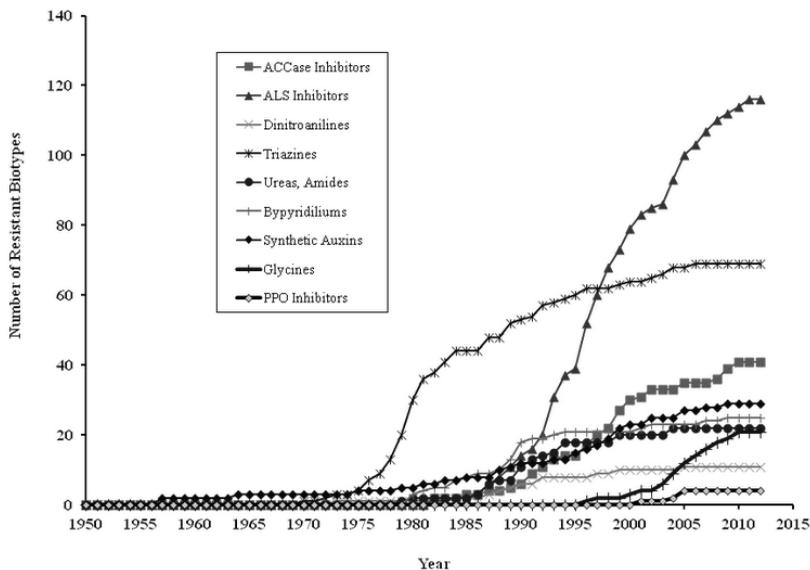
Na Tabela 1, temos as espécies de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, encontradas atualmente no Brasil, e temos, hoje, mais algumas espécies que não estão neste quadro, mas já apresentam uma suscetibilidade diferencial ao glyphosate, como é o caso do *Chloris polydactyla*, que vem apresentando problemas de controle.

Tabela 1. Espécies de plantas daninhas com resistência a glyphosate comprovada no Brasil, em ordem cronológica, como seus respectivos nomes comuns, ano e local de descoberta.

Espécies	Nome Comum	Ano	Local
<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	2003	RS
<i>Conyza bonariensis</i>	Buva	2005	RS e SP
<i>Conyza canadensis</i>	Buva	2005	SP
<i>Digitaria insularis</i>	Capim Amargoso	2008	PR
<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	2010	PR

Fonte: www.weedscience.com, 2012.

É interessante observar que o aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate está diretamente relacionado ao desenvolvimento e expansão das culturas RR pelo mundo (Figura 2), pois, com o uso continuado e algumas vezes indiscriminado desse herbicida, ocorreu uma maior seleção desses biótipos (WEED SCIENCE, 2012).



Fonte: www.weedscience.com – Ian Heap, 2012.

Figura 2. Crescimento no Mundo do número de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas com diferentes sítios de ação, destacando aqui os casos de resistência ao glyphosate.

A seleção natural é amplamente aceita como explicação do desenvolvimento da resistência, de modo geral. Sendo assim, biótipos resistentes a herbicidas sempre estão presentes em baixa frequência numa espécie de planta daninha. Então, quando o herbicida é aplicado ele atua como agente de pressão de seleção. Assim, as plantas suscetíveis morrem e as plantas resistentes sobrevivem e se reproduzem, espalhando-se pela área (CHRISTOFFOLETI, 2008). Como as plantas daninhas são organismos biológicos, evoluindo em resposta a distúrbios e

estresses, o uso intensivo de um herbicida com mesmo mecanismo de ação, como está ocorrendo com o glyphosate, proporcionará o surgimento de populações de plantas daninhas resistentes.

Quanto ao manejo correto de plantas daninhas em áreas agrícolas, para se prevenir e/ou controlar a resistência, o ideal é que se realize um planejamento a longo prazo, por meio da aplicação de um sistema integrado, com diferentes métodos controle e rotação de culturas. No caso da resistência ao glyphosate, conforme discutido, o aspecto fundamental que deve ser levado em conta pelos produtores é a rotação de mecanismos de ação de herbicidas.

Novos transgênicos

Atualmente, temos inúmeros e distintos eventos transgênicos liberados, que são amplamente cultivados no Brasil e no mundo, além da soja e do milho RR. No Brasil, para as culturas da soja, milho, algodão e feijão, temos 36 eventos liberados pela CTNBio, para alimentação, ração, e plantio. Com relação a eventos aprovados, que apresentam tolerância a herbicidas para as culturas da soja, milho e algodão, temos 29 (CIB, 2012). Na Tabela 2, podem ser visualizados todos os eventos aprovados comercialmente no Brasil pela CTNBio, para a cultura da soja. Também podem ser vistas as características de cada evento e sua data de aprovação.

Na Tabela 2, pode ser notado que, além do novo evento aprovado, pertencente à Monsanto, em que se terá soja resistente a insetos e tolerante ao glyphosate (tecnologia Intacta RR2 PRO), temos, também, outras tecnologias aprovadas, pertencentes a outras instituições, que conferem tolerância a distintos herbicidas com mecanismos de ação diferenciados.

Tabela 2. Demonstração dos eventos transgênicos aprovados comercialmente, pela CTNBio, para cultura da soja, com suas respectivas características e quando foram aprovados.

Eventos	Características	Aprovação
GTS-40-3-2	RR (RoundupReady) Tolerância ao herbicida glifosato	Setembro 1998
Cultivance (BRCV)	Tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas	Dezembro 2009
Liberty Link(A270412)	Tolerância ao herbicida glufosinato de amônio	Fevereiro 2010
A 5547-127	Tolerância ao herbicida glufosinato de amônio	Fevereiro 2010
BtRR2Y	Resistência a insetos e tolerância ao herbicida glifosato	Agosto 2010

Fonte: www.cib.org.br, 2012.

Cabe salientar que muito desses produtos, liberados comercialmente pela CTNBio, ainda não estão sendo cultivados comercialmente no Brasil, pois, além dessa aprovação, ainda existem outros entraves que impedem os produtores de implantar a cultura no campo e depois comercializá-la.

Como exemplo, podemos citar a soja Intacta RR2 PRO, que já foi liberada pela CTNBio, em agosto de 2010. Foram desenvolvidas cultivares adaptadas para distintas regiões brasileiras, e se havia sementes disponíveis para muitas delas, vários países, que compram a soja brasileira, já liberaram a compra desse produto. Porém, um destes, o mais importante, a China, por motivos de interesses comerciais, não liberou a entrada desse produto em seu país, o que criou uma barreira para a utilização dessa nova tecnologia

pelos produtores rurais brasileiros na safra 2012/2013 (APROSOJA, 2012).

Por fim, ressalte-se que existem vários outros eventos transgênicos que estão sendo desenvolvidos e estarão disponíveis em um futuro próximo. Entre eles, destaca-se a cana-de-açúcar RR, e também alguns eventos que combinam a tolerâncias a diferentes herbicidas em uma única planta, como o milho RR+2,4-D+glufosinato+ACCase, o algodão RR+2,4-D+glufosinato+ACCase, a soja RR+2,4-D+glufosinato, e a soja RR2+Dicamba. Assim também, em um futuro próximo, enfrentaremos a grande dificuldade de controle de plantas voluntárias (tigueras) em meio a lavouras, devido à tolerância a grande número de herbicidas que estas apresentarão.

Considerações finais

Até os dias de hoje há pesquisadores a favor e contra os transgênicos e conseqüentemente as culturas RR, que representam uma grande parcela das áreas cultivadas com transgênicos, estando associadas a outras tecnologias ou não. O fato é que o desenvolvimento de plantas transgênicas não resolveu e nem resolverá o problema da fome no mundo. Porém, ela é uma das tecnologias que podem auxiliar para minimizar esse problema, contribuindo para o bem-estar da sociedade em geral.

Os transgênicos, como as culturas RR, possibilitam ao agricultor produzir mais, com maior qualidade, agredindo menos o meio ambiente, favorecendo assim a sustentabilidade do sistema e o suprimento da demanda mundial de alimentos. Porém, para que muitos dos produtos transgênicos disponíveis hoje possam continuar sendo utilizados pelos agricultores, é preciso que haja um melhor posicionamento dessas tecnologias, para que importantes ferramentas, como as culturas RR, não sejam perdidas.

Referências Bibliográficas

- ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R. Manejo de glyphosate em soja RR e a qualidade das sementes. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 2, p. 45-54, 2010.
- ALBRECHT, L. P.; ALONSO, D. G.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R. S.; BRACCINI, A. L. ALBRECHT, A. J. P. Qualidade fisiológica das sementes de soja RR em resposta ao uso de diferentes tratamentos contendo glyphosate em aplicação sequencial. **BioscienceJournal**, v. 27, p. 211-220, 2011a.
- ALBRECHT, L.P.; BARBOSA, A.P.; SILVA, A.F.M.; MENDES, M.A.; MARASCHI-SILVA, L.M.; ALBRECHT, A.J.P. Desempenho da soja roundupreadysob aplicação de glyphosate em diferentes estádios. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 558-590, 2011b.
- ALBRECHT, L. P.; ALONSO, D.G.; ALBRECHT, A.J.P.; OLIVEIRA JR., R.S.; BRACCINI, A.L.; CONSTANTIN, J. Glyphosate e associações em pós-emergência no desempenho agrônômico e na qualidade das sementes de soja RR. **PlantaDaninha**, v. 30, p. 139-146, 2012a.
- ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; MENDES, M. A.; ALBRECHT, A. J. P.; ÁVILA, M. R. RR Soybean seed quality after application of glyphosate in different stages of development. **Revista Brasileira de Sementes** (Impresso), v. 34, p. 373-381, 2012b.
- ALBRECHT, A. J. P; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; ALBRECHT, L. P.; VICTORIA FILHO, R.; MORAIS, M. F.; MIGLIAVACCA, R. A.; BARROSO, A. A. M.; REIS, F. C.; LORENZETTI, J. L. **Efeito da aplicação de glyphosate sob o desenvolvimento da cultura de milho RR**. In: 29º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012, Águas de Lindóia. Resumos...Campinas: IAC/ABMS, 2012c.p.1132-1137.

- ALONSO, D.G. **Seletividade de glyphosate isolado ou em mistura para soja RR**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 72 p., 2008.
- APROSOJA. **Serviços – Comunicado Soja Intacta RR2**. Disponível em: <http://www.aprosoja.com.br/servicos/Paginas/Comunicado-Intacta-RR2.aspx> Acessado em: 12 de novembro de 2012.
- BORÉM, A.; SANTOS, F. R. **Variedades Resistentes a Herbicidas: Legislação e liberação**. In: A ciência das plantas daninhas na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. XXVI CBCPD/ XVIII Congresso ALAM. 2008. p.165-178.
- CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia: **Eventos Aprovados - CTNBio**. Disponível em: <http://cib.org.br/biotecnologia/regulamentacao/ctnbio/eventos-aprovados/> Acessado em: 28 de maio de 2012.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos: Safra 2011/2012, sexto levantamento, março de 2012**. Brasília, 2012, 35 p.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**. 3. ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. 120 p.
- GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. 1. ed. Monsanto, 2005. 66 p.
- GORDON, B. Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans. In: **Great Plains Soil Fertility Conference Proceeding**. Denver, CO, March 7-8, 2006, p. 224-226.

HUBER, D. M.; LEUCK, J.D.; SMITH, W.C.; CHRISTMAS, E. Induced manganese deficiency in GM soybeans. In: HOEFT, R.G. (Ed.) **Proc. Thirty-fourth North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference**, v. 20, p. 80-83, 2004.

HUBER, D.M. What about glyphosate-induced manganese deficiency? **Fluid Journal**, p. 20-22, 2007.

KRAUSZ, R.F.; YOUNG, B.G. Response of glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*) to trimethylsulfonium and isopropylamine salts of glyphosate. **Weed Technology**, v. 15, p. 745-749, 2001.

KREMER, R.J.; MEANS, N.E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean an root exudation and rhizosphere micro-organisms. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, v. 85, n. 15, p. 1165-1174, 2005.

MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.; PINHO, E.V.R.V. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1757-1764, 2002.

MONSANTO. **Monsanto em Campo: Boletins Informativos**. Disponível em: <<http://www.monsanto.com.br/monsanto/brasil/newsletter/geral>> Acessado em: 26 de março de 2012a.

MONSANTO. **Produtos - Herbicidas**. Disponível em: <<http://www.monsanto.com.br/produtos/herbicidas/herbicidas.a>> Acessado em: 22 de novembro de 2012b.

MONSANTO. **Produtos - Milho RoundupReady**. Disponível em: <http://www.monsanto.com.br/sustentabilidade/produtos/milho_roundup_ready_2/milho_roundup_ready_2.asp> Acessado em: 20 de maio de 2012c.

NEUMANN, G.; KOHLS, S.; LANDSBERG, E.; STOCK-OLIVEIRA SOUZA, K.; YAMADA, T.; RÖMHELD, V.

Relevance of glyphosate transfer to non-target via the rhizosphere. **Journal of Plant Disease and Protection**, v. 20 (special issue), p. 963-969, 2006.

OLIVEIRA JR, R.S.; DVORANEN, E.C.; CONSTANTIN, J.;CAVALIERI, S.D.; BLAINSKI, E. Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluazifop-p-butyl e fomesafen. **Planta Daninha**, v. 26, p. 619-625, 2008a.

OLIVEIRA JR, R.S.; DVORANEN, E.C.; CONSTANTIN, J.;CAVALIERI, S.D.; FRANCHINI, L.H.M.; RIOS, F.A.; BLAINSKI, E. Influência do glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de cultivares de soja resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 26, p. 831-843, 2008b.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Curitiba: Omnipax, 2011. 348 p.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Science**, v. 51, p. 496-502, 2003.

SAFRAS e MERCADO. **Agência Leia – Últimas Notícias**. Disponível em: <<http://www.safras.com.br/index.asp?tag=N&Tipo=L>> Acessado em: 30 de março de 2012.

SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; OLIVEIRA, J.A.; SILVA, A.A.; FIALHO, C.M.T. Efeito de formulações na absorção e translocação do glyphosate em soja transgênica. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 381-388, 2007a.

SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; REIS, M.R.; SILVA, A.A.; FIALHO, C.M.T.; FREITAS, M.A.M. Avaliação de

- formulações de glyphosate sobre soja RoundupReady. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007b.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 848 p.
- VELINI, E. D.; MESCHEDÉ, D. K.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. **Glyphosate**. 1. ed. Botucatu: Fepaf, 2009. 493 p.
- WEED SCIENCE. **International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/In.asp>> Acessado em: 20 de novembro de 2012.
- ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: A minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 825-831, 2004.
- ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection**, v. 26, p. 370-376, 2007.
- ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; YAMADA, T.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JR, A. Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 176-180, 2010a.
- ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C.M.; MUNIZ, A.S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 97, n. 3, p. 182-193, 2010b.
- ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; HUBER, D.M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.;

OLIVEIRA JR, A. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant and Soil**, v. 328, p. 57-69, 2010c.

ZOBIOLE, L.H.S.; BONINI, E.A.; OLIVEIRA JR, R.S.; KREMER, R.J.; FERRARESE-FILHO, O. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosate-resistant soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 5, p. 831-837, 2010d.

Manejo do Milho Bt

Leandro Paiola Albrecht¹, Fábio Henrique Krenchinski², Danilo Morilha Rodrigues², Henrique Fabrício Placido², Ruan Carlos Navarro Furtado², Renato Rodrigo Bieler² e Alexandre Claus²

Introdução

As plantas transgênicas com atividade inseticidas e resistentes a herbicidas representam novas alternativas no manejo de pragas e plantas daninhas em lavouras de milho. Os cultivos de milho transgênicos demonstram avanço na aceitação e cultivo no Paraná, alcançando na safra (2011/12) 794,2 mil ha de área semeada com milho transgênico na primeira safra e 1.480,2 mil ha na segunda safra, com produtividade média de 5.758,7 Kg ha⁻¹. A transgenia posicionada

¹ Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Curso de Agronomia, Palotina, PR. E-mail: lpalbrecht@yahoo.com.br

² Acadêmicos do curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Palotina, PR

como tecnologia a favor da agricultura envolve polêmicas que abarcam o uso sustentável e ético da tecnologia, em razões ambientais, visando à lucratividade econômica. A atenção deve ser dada a real conjuntura da produção de OGM's, levando em consideração a perspectiva dos agricultores e demais atores do agronegócio, além dos formadores de opinião regional.

Admitindo-se que os mesmos possam tomar posições, sobre hipóteses distintas, como: preconceito de alguns atores sociais sobre a temática; a visão meramente econômica ou simplesmente ambiental de outros; o descaso com os critérios técnicos específicos a serem empregados no manejo das cultivares transgênicas; e impactos positivos e negativos no agronegócio regional.

Histórico do Milho Transgênico

As plantas transgênicas com atividade inseticida e tolerantes a herbicidas representam um nova alternativa no manejo de pragas e plantas daninhas em lavouras de milho e, a cada ano, tem-se uma série de eventos aprovados pela CTNBio para o cultivo.

A liberação legal para cultivo dos primeiros eventos transgênicos na cultura do milho deu-se no ano de 2007, quando três eventos foram aprovados. A partir deste, em cada ano, novos eventos foram liberados: três eventos liberados em 2008, em 2009, cinco eventos, em 2010, quatro eventos, e em 2011, três eventos, totalizando 18 eventos, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Eventos de milho transgênico liberados pela CTNBio e suas respectivas características (CIB, 2012).

Eventos	Características	Data de Liberação
T25	Tolerância ao herbicida Glufosinato de Amônio	Mai-2007
MON 810 YieldGuard	Resistência a insetos da ordem Lepidóptera	Agosto-2007
BT11	Resistência a Insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao Glufosinato de Amônio	Setembro-2007
NK 603	RR2 (Roundup Ready2) - Tolerância ao herbicida Glyphosate	Setembro-2008
GA21	Tolerância ao herbicida Glyphosate	Setembro-2008
TC 1507 HERCULEX	Resistência a Insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao herbicida Glufosinato de Amônio	Dezembro-2008
MIR162	Resistência a insetos da ordem Lepidóptera	Setembro-2009
MON 810 x NK603	Resistência a insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao herbicida Glyphosate	Setembro-2009
Bt11 x GA21	Resistência a Insetos da ordem Lepidóptera, tolerância aos herbicidas Glufosinato de Amônio e Glyphosate	Setembro-2009
MON89034	Resistência a insetos da ordem Lepidóptera	Outubro-2009
TC1507 x NK603	Resistência a Insetos da ordem Lepidóptera, tolerância aos herbicidas Glufosinato de Amônio e Glyphosate	Outubro-2009
MON 89034x NK603	Resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate	Novembro-2010
Bt11xMIR162x GA21	Resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate e ao Glufosinato	Novembro-2010
MON 88017	Resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate	Dezembro-2010
MON 89034x TC1507 x NK603	Resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate e ao Glufosinato de Amônio	Dezembro-2010

TC1507 x MON 8010 x NK603	O milho resistente a insetos e tolerante ao herbicida Glyphosate e Glufosinato de amônio	Junho-11
TC1507 X MON 810	O milho resistente a insetos e tolerante ao herbicida glufosinato de amônio	Agosto-2011
MON 89034x MON 88017	Resistente a insetos e tolerante ao herbicida Glyphosate	Setembro-2011

Fonte: www.cib.org.br, 2012.

Hoje existem no mercado 136 cultivares de milho transgênico. As cultivares transgênicas para o controle de lagartas, atualmente no mercado, são resultantes de cinco eventos: 50 cultivares com o evento MON 810 - YieldGard[®]; 41 com o evento TC 1507 Herculex I[®]; 17 apresentam o evento Bt11 Agrisure TL[®]; 4 apresentam o evento MON 89034 e 2 apresentam o evento MIR162. Existem no mercado três eventos transgênicos que conferem resistência ao herbicida glyphosate e três eventos que apresentam resistência ao herbicida glufosinato de amônio. Infere-se, portanto, que há um progresso na liberação dos eventos de milho transgênico e que há uma evolução na associação de eventos transgênicos, provendo melhores opções para a viabilização do cultivo.

Cultivos transgênicos e a tecnologia milho Bt

A biotecnologia utilizada para melhoramento genético na agricultura demonstra grande expansão no cultivo mundial. A utilização de sequências genéticas, retiradas de diferentes espécies e inseridas em cultivos para expressar características que melhoram aspectos da produção vegetal, vem sendo conhecida como “Ouro Verde” ou uma “Revolução Biotecnológica na Agricultura”, em que, até os dias atuais, mais da metade da soja dos Estados Unidos e quase que a totalidade, na Argentina, são transgênicas, assim como, uma parcela considerável do algodão no mundo é transgênico (FREIXO et al., 2009).

Essa tecnologia foi inserida no Brasil de forma ilegal no Rio Grande do Sul, através de sementes contrabandeadas da Argentina. Após a CTNBio aprovar a soja Roundup Ready® no Brasil, iniciou-se a legalização dos transgênicos (HERBERLÊ et al., 2005). Por hora, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de transgênicos, somente atrás dos Estados Unidos, e o país atingiu 25,4 milhões de hectares de lavouras transgênicas na safra 2011/12, com previsões de chegar à marca de 30,4 milhões de hectares (GALVÃO, 2011).

O milho enquadrou-se como terceiro cereal mais cultivado no mundo no ano de 2007, quando o Brasil atingiu uma produtividade de 52 milhões de toneladas de milho, notando-se que no sistema convencional estimam-se perdas de até 34% causadas por insetos, em que a *Spodoptera frugiperda* pode ocasionar de 17 a 38,7%, e promovendo maior prejuízo quando as infestações ocorrem entre os estádios fenológicos de oito a dez folhas da cultura (ALVES et al., 2009).

No Brasil, já foram aprovados 18 eventos para cultivo de milho, que são: T25: tolerância ao herbicida Glufosinato de Amônio; MON 810 YieldGuard: resistência a insetos da ordem Lepidóptera; BT11: resistência a insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao Glufosinato de Amônio; NK 603 RR2 (Roundup Ready 2): tolerância ao herbicida Glyphosate; GA21: tolerância ao herbicida Glyphosate; TC 1507 HERCULEX: resistência a insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao herbicida Glufosinato de Amônio; MIR162: resistência a insetos da ordem Lepidóptera; MON 810 x NK603: resistência a insetos da ordem Lepidóptera e tolerância ao herbicida Glyphosate; Bt11 x GA21: resistência a insetos da ordem Lepidóptera, tolerância aos herbicidas Glufosinato de Amônio e Glyphosate; MON89034: resistência a insetos da ordem Lepidóptera; TC1507 x NK603: resistência a insetos da ordem Lepidóptera, tolerância aos herbicidas Glufosinato de Amônio e Glyphosate; MON 89034 x NK603: resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate;

Bt11 x MIR162 x GA21: resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate e ao Glufosinato; MON 88017: resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate; MON 89034 x TC1507 x NK603: resistente a insetos e tolerante ao Glyphosate e ao Glufosinato de Amônio; TC1507 x MON 8010 x NK603: resistente a insetos e tolerante ao herbicida Glyphosate e Glufosinato de amônio; TC1507 X MON 810: resistente a insetos e tolerante ao herbicida Glufosinato de amônio e MON 89034 x MON 88017 resistente a insetos e tolerante ao herbicida Glyphosate (Krenchinski et al., 2011). (KRENCHINSKI et al., 2011).

Os eventos mais cultivados e aceitos são os que conferem a resistência a insetos, atribuída por gene do *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Através de uma análise de custo, a implantação do milho *Bt*, em comparação com o milho convencional, mostrou que o custo de produção do mesmo é de R\$ 1.064,50, incluindo o preço pago pela tecnologia, assumindo 20% de custo agregado na semente, demonstrando economia de 4,18% na produção, analisando a diminuição do uso de defensivos agrícolas, e se a tecnologia foi utilizada juntamente com o gene RR cujo valor pode chegar a 15,06% (DUARTE et al., 2009).

O Paraná, na safra de 2010/11(safra verão), atingiu 794,2 ha de área cultivada com milho transgênico, estabelecendo a produtividade média de 7.225,1 Kg ha⁻¹, em que os principais eventos utilizados foram: Resistência a insetos (RI) 50,2 %, Tolerância a herbicida (TH) 5,8% e RI/TH 2,5%. A segunda safra apresentou 1.480,2 ha de área cultivada com milho transgênico, produzindo em média 4.292,3 Kg ha⁻¹, eventos utilizados foram: RI 71%, TH 4,4%, RI/TH 5,1% (GALVÃO et al., 2010).

Segundo técnicos do Instituto Emater de Palotina, o evento de milho transgênico que predomina na região de Palotina é o milho *Bt* (Yieldgard[®], Herculex[®] e o Agrisure[®]), corroborando com Duarte (2009).

A tecnologia *Bt* envolve a utilização da bactéria *Bacillus thuringiensis*, devido à característica na fase de esporulação da mesma, em que produz cristais protéicos chamados de δ -endotoxinas, na planta codificados pelos genes *Cry*. Para liberar o gene inseticida, é necessário que a proteína seja ingerida e, em ambiente alcalino, ser quebrada, liberando seu núcleo ativo (LOURENÇÃO et al., 2009).

Junto à tecnologia, foram desenvolvidas prescrições de manejo que assegurem a sua funcionalidade e principalmente o direito do produtor vizinho produzir milho convencional. A área de refúgio, manejo que utiliza semear no mínimo 10% da lavoura com milho convencional de mesmo desenvolvimento fenológico, em distância menor que 800 metros, criando um banco de oviposição de insetos suscetíveis à tecnologia, de modo a minimizar a evolução de pragas resistentes. Apesar da área de refúgio não ser imposta por lei, ficando a critério de o empresário rural realizá-la, é uma recomendação válida. No entanto, se o mesmo possuir vizinhos com milho convencional, deve-se manter uma área de coexistência, que se acha assegurada pela Resolução Normativa número 4 da CNTBio, e vigente desde 16/08/2007. Devido ao milho ser uma planta alógama, é estabelecida uma distância mínima de 100 metros entre as lavouras ou 10 fileiras de milho convencional (sem o gene *Bt*) circundando a lavoura transgênica, acrescido de mais 20 metros de isolamento (MENDES, 2011).

O uso indiscriminado de sucessivas aplicações de defensivos agrícolas, com mesmo modo de ação e uso do milho *Bt* sem os cuidados citados anteriormente, exerce uma pressão de seleção sobre as pragas alvo, baseando-se nos princípios de evolução. Enquanto os genes, que conferem injúria à espécie, tendem a ser silenciados, de modo que os insetos resistentes se reproduzirão transmitindo as características herdáveis de resistência, produzindo mais insetos resistentes (Figura 1), até o momento em que a tecnologia e

investimentos na mesma forem perdidos devido a práticas de manejo inadequadas (TESSELE et al., 2011).

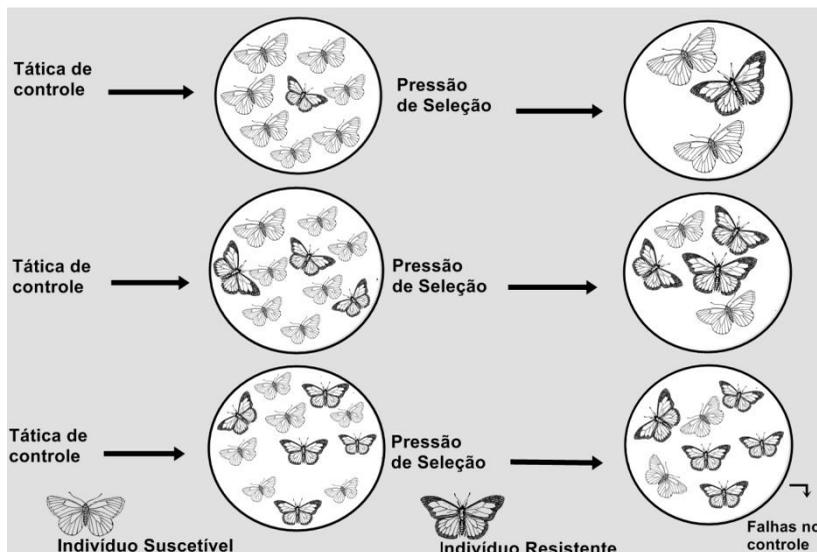


Figura 1. Desenvolvimento de resistência.

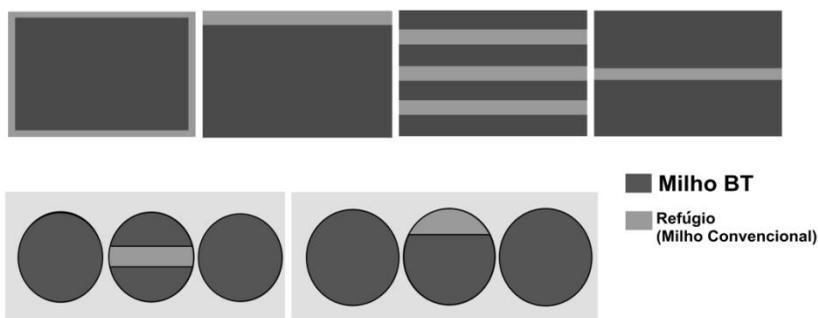
Manejo indicado do milho Bt e normas de cultivo

Área de refúgio (recomendações da Fundação MS – Lourenção et al., 2009).

As áreas de refúgio têm por objetivo reduzir o potencial de evolução do processo de resistência de insetos alvo da tecnologia Bt. Dessa maneira, tais áreas devem ser suficientemente atraentes para a ovoposição da praga-alvo, servindo assim como reservatório de insetos suscetíveis. No Brasil, é recomendada a adoção da área de, no

mínimo, 10% da área plantada, a qual deverá estar presente, no máximo, a distância de 1.500 m da lavoura Bt.

As áreas de refúgio deverão ser cultivadas com milho convencional, de preferência com híbridos de desenvolvimento fenológico similar, ou seja, de mesmo ciclo e semeadas na mesma época que o do híbrido Bt. É permitido o controle químico na área de refúgio, desde que não se utilizem produtos à base de *B. thuringiensis*. Cada propriedade deve conter sua própria área de refúgio.

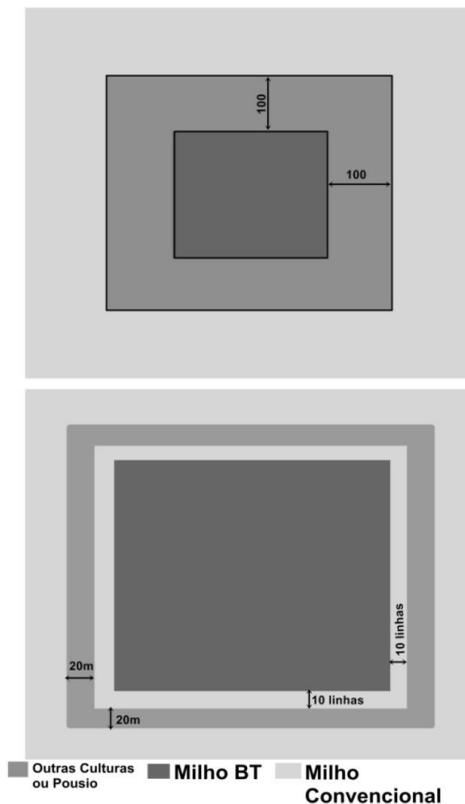


Opções de área de refúgio. Adaptado de ABRASEM (2008) e Fundação MS – Lourenção et al. (2009).

Coexistência (recomendações da Fundação MS – Lourenção et al., 2009).

A CTNBio determinou, através da sua resolução Normativa número 4, de 16 de agosto de 2007, as chamadas Normas de Coexistência. Essa Normativa dispõe sobre as distâncias mínimas entre cultivos comerciais de milho geneticamente modificado e não geneticamente modificado em áreas vizinhas, visando à coexistência entre os sistemas de produção. É uma garantia de opção pelo uso da tecnologia.

Segundo essas Normas, as lavouras de milho geneticamente modificado deverão ter uma distância de isolamento de 100 m da lavoura de milho convencional de vizinhos ou 10 fileiras de milho convencional (sem o gene *Bt*) de mesma estatura ao seu redor, acrescidas de outros 20 m de isolamento.



Opções de coexistência. Adaptado de ABRASEM (2008) e Fundação MS – Lourenção et al. (2009).

Restrição quanto ao local de plantio

Conforme estabelecido no art. 1º da Lei 11.460, de 21 de março de 2007: ...*“ficam vedados a pesquisa e o cultivo de organismos geneticamente modificados nas terras indígenas e áreas de unidades de conservação, exceto nas Áreas de Proteção Ambiental”*.

Da responsabilidade civil e administrativa

Segundo o art. 21 da Lei 11.105, de 24 de março de 2005: ...*“considera-se infração administrativa toda ação ou omissão que viole as normas previstas nesta Lei e demais disposições legais pertinentes”*.

Parágrafo único. *As infrações administrativas serão punidas na forma estabelecida no regulamento desta Lei, independentemente das medidas cautelares de apreensão de produtos, suspensão de venda de produto e embargos de atividades, com as seguintes sanções:*

- I – *advertência;*
- II – *multa;*
- III – *apreensão de OGM e seus derivados;*
- IV – *suspensão da venda de OGM e seus derivados;*
- V – *embargo da atividade;*
- VI – *interdição parcial ou total do estabelecimento, atividade ou empreendimento;*
- VII – *suspensão de registro, licença ou autorização;*
- VIII – *cancelamento de registro, licença ou autorização;*

IX – perda ou restrição de incentivo e benefício fiscal concedidos pelo governo;

X – perda ou suspensão da participação em linha de financiamento em estabelecimento oficial de crédito;

XI – intervenção no estabelecimento;

XII – proibição de contratar com a administração pública, por período de até 5 (cinco) anos.

Art. 22. Compete aos órgãos e entidades de registro e fiscalização, referidos no art. 16 desta Lei, definir critérios, valores e aplicar multas de R\$ 2.000,00 (dois mil reais) a R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais), proporcionalmente à gravidade da infração.

o § 1 As multas poderão ser aplicadas cumulativamente com as demais sanções previstas neste artigo.

o § 2 No caso de reincidência, a multa será aplicada em dobro.

o § 3 No caso de infração continuada, caracterizada pela permanência da ação ou omissão inicialmente punida, será a respectiva penalidade aplicada diariamente até cessar sua causa, sem prejuízo da paralisação imediata da atividade ou da interdição do laboratório ou da instituição ou empresa responsável”.

Dos crimes e das penas

Art. 27. Liberar ou descartar OGM no meio ambiente, em desacordo com as normas estabelecidas pela CTNBio e pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização: Pena – reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

Art. 29. Produzir, armazenar, transportar, comercializar, importar ou exportar OGM ou seus derivados, sem autorização ou em desacordo com as normas estabelecidas pela CTNBio e pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização: Pena – reclusão, de 1 (um) a 2 (dois) anos, e multa.

Observação: Transcrito por Fundação MS – Lourenção et al., (2009).

Estudo de caso: Milho Bt na Região de Palotina

Realizou-se um expressivo quantitativo de entrevistas e de coleta de dados pertinentes, confirmando a prática de monocultura utilizada na região (soja primeira safra – milho segunda safra), em que todos os produtores entrevistados cultivavam soja e milho, em que 13% eram de pequeno porte (até 10 ha), 25% de médio porte (entre 10 e 50 ha) e 7% de grande porte (mais de 50 ha). E 98% dos mesmos cultivam transgênicos em suas propriedades, caracterizando a aceitação regional. Os dados da Figura 2 demonstram que 70% dos produtores cultivam transgênicos entre 2 a 5 anos.

HÁ QUANTOS ANOS CULTIVA TRANSGÊNICOS?

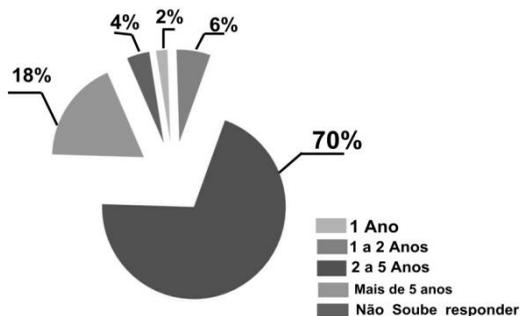


Figura 2. Aceitação de cultivos transgênicos na região.

Elencados os prováveis motivos que levaram produtores cultivarem transgênicos, o mais relevante foi a facilidade do manejo da cultura, seguido por aumento da rentabilidade em função do menor custo, confirmando o trabalho de Duarte (2009) (Figura 3).

PRINCIPAL MOTIVO QUE LEVOU A CULTIVAR TRANSGÊNICOS

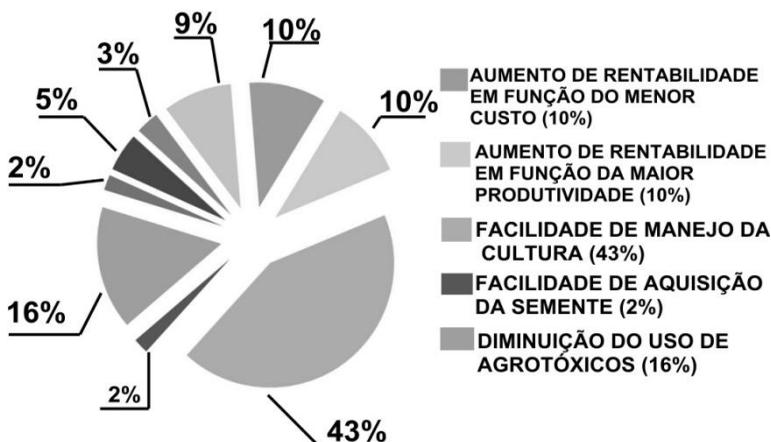


Figura 3. Motivos de utilização de cultivo de transgênicos na região.

Dos produtores entrevistados, 78% consideram-se muito satisfeitos com os cultivos transgênicos, dos quais 50% dos produtores afirmam não haver desvantagens ao se cultivar transgênicos e 20% veem a aceitação de mercado como uma problemática. No tocante à produção de milho transgênico, 94% dos produtores utilizam mais de 50% de sua área com cultivo de milho transgênico e somente 45% ainda cultivam milho convencional, sendo que 64% dos mesmos estão insatisfeitos com o preço da

tecnologia acrescido nas sementes. Os produtores, quase em sua totalidade relataram melhor controle de pragas com o uso da tecnologia, pelo que 50% dos mesmos julgam necessária uma ou mais aplicações de inseticida para melhor controle de pragas.

No quesito técnicas de manejo, apenas 70% dos produtores de milho transgênico conhecem o manejo de área de coexistência e 72% conhecem o manejo de área de refúgio. Uma problemática no manejo do milho Bt é o surgimento de biótipos resistentes, em que 35% dos entrevistados identificaram lagartas resistentes em suas propriedades (Figura 4).

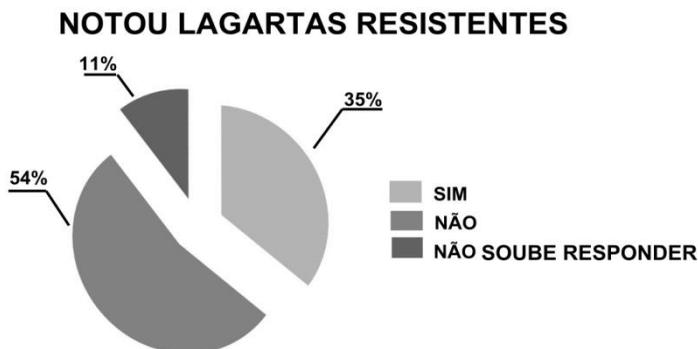


Figura 4. Identificação de biótipos resistentes.

A região avaliada demonstrou elevado nível tecnológico, apresentando ótima aceitação a novas tecnologias, com produtores bem estruturados e alta produtividade. Os produtores relatam o valor da tecnologia, ressaltando o ganho e facilidade obtidos com a mesma, porém apresentam falhas na aplicação de técnicas de manejo que assegurem a durabilidade da tecnologia. Os valores econômicos

dessa tecnologia *Bt* são percorridos por Alves et al. (2009) e Duarte et al. (2009).

A falta de informação pode ser apontada como um dos responsáveis pela baixa adesão a técnicas adequadas de manejo dos transgênicos *Bt*. Como citado anteriormente, índices acima de 25%, que relatam desconhecer técnicas de manejo como área de refúgio e de coexistência, assim como os que conhecem afirmação ser uma prática pouco usual na região, confirmam a hipótese de déficit no aporte de práticas sustentáveis. Tal fato pode justificar a preocupante identificação de biótipos resistentes de insetos-praga em propriedades locais. Tais fatos corroboram com o discutido por Tessele et al. (2011) e apontado por Lourenção et al. (2009).

Entendendo a relevância da tecnologia *Bt* para o sistema produtivo regional e dos inúmeros benefícios apontados pelos produtores rurais e caracterizados nos agroecossistemas, seria imprescindível a aplicação de práticas de manejo que permitam a sustentabilidade desse sistema, como a área de refúgio, o que diminuiria a pressão de seleção, e o que está de acordo com a pesquisa (LOURENÇÃO, et al., 2009; MENDES, 2011).

Considerações finais

O avanço biotecnológico tem ganhado importante papel na produção vegetal principalmente por conta dos transgênicos. A criação de organismos geneticamente modificados facilitou o manejo e otimizou a produção das grandes culturas agrícolas. Porém, apesar de todos benefícios trazidos por estes, há a preocupação para que essa nova tecnologia não se perca e com a sustentabilidade das novas opções agrícolas.

A região de Palotina, da mesma forma que outras regiões do Brasil, que utilizam alta tecnologia, apresenta ótima aceitação aos

eventos transgênicos *Bt*, com alto índice de utilização, porém, com dificuldades em manejos que assegurem a durabilidade e sustentabilidade da tecnologia, como a utilização da área de refúgio.

Referências Bibliográficas

ABRASEM. Associação brasileira de sementes e mudas. **Manejo de resistência de insetos**. Plante refúgio. Setembro de 2008.

ALVES, L. R. A. et al. Avaliação econômica de milho geneticamente modificado resistente a insetos. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Porto Alegre, RS. 2009

CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia: **Eventos Aprovados - CTNBio**. Disponível em: <<http://cib.org.br/biotecnologia/regulamentacao/ctnbio/eventos- aprovados/>> Acessado em: 28 de maio de 2012.

DUARTE, J. O. et al. Aspectos econômicos da produção de milho transgênico. **Circular Técnica**. Sete Lagoas, MG. 2009

FREIXO, A. B. Produtos transgênicos- Aceitá-los ou não. **Universidade Veiga de Almeida**, Rio de Janeiro. 2009

GALVÃO, A. et al. Relatório Biotecnologia. **Céreles**, Uberlândia – MG. 2010.

GALVÃO, A. et al. Relatório Biotecnologia. **Céreles**, Uberlândia – MG. 2011.

KRENCHINSKI, F. H. et al. Eventos de milho transgênicos liberados pela CTNBio e cultivares transgênicas comercializadas. In: Simpósio de Biotecnologia na Agroindústria, 3, 2011, Paraná. **Resumos...** Paraná:

Universidade Federal do Paraná - Campus Palotina, 2011. p. 51.

LOURENÇÃO, A. F. et al. Milho *Bt*: Uso Correto da Tecnologia. In: **Tecnologia e Produção**: Milho Safrinha e Culturas de Inverno, 2009. p. 79-89.

MAFIOLETTI, R. L. et al. Dimensionamento da safra de soja e milho paranaense e os fatores determinantes para a expansão da soja transgênica no Paraná. **Informações Econômicas**, v.39, n.7, p.10-18, 2009.

MENDES, S. M. et al. Área de refúgio é necessária?. **CampoNegócios**. 2011. p. 80-82.

TESSELE, A. et al.. Implicações existentes no cultivo e manejo fitossanitário do milho *Bt*. In: Simpósio de Biotecnologia na Agroindústria, 3, 2011, Paraná. **Resumos...** Paraná: Universidade Federal do Paraná - Campus Palotina, 2011. p. 56.

Detecção e Qualificação de Eventos Transgênicos

Francismar Corrêa Marcelino Guimarães¹

Introdução

Os organismos geneticamente modificados (OGMs) constituem um dos principais frutos da Biotecnologia e, a cada dia, oferecem possibilidades e alternativas importantes para vários problemas de caráter econômico, e de melhoria na qualidade de vida humana e do meio ambiente. Por outro lado, o desenvolvimento, liberação e uso comercial desses eventos, trazem, também, preocupações com as questões de biossegurança, principalmente no que se refere à saúde humana e animal e a potenciais danos ambientais, diante da perspectiva de sua liberação no meio ambiente.

¹ *Embrapa Soja, Londrina, PR. E-mail: francismar.marcelino@embrapa.br*

A liberação comercial de OGMs, referindo-se especificamente a culturas vegetais geneticamente modificadas, tem ainda implicações nas questões de rotulagem, uma vez que esses transgenes ou traços podem entrar na composição de diferentes alimentos. Por exemplo: a soja e o milho geneticamente modificados (GM) entram na composição de vários alimentos, seja na forma de grão ou como proteína, óleo, gordura, amido, extrato ou lecitina (SENA, 2005). No Brasil, qualquer ingrediente alimentar ou produto final a ser utilizado para consumo humano ou animal, que contenham ou sejam produzidos a partir de OGMs, acima de 1% do produto final, devem ser rotulados, conforme estipulado pelo Decreto No. 3.871 de 25 de abril de 2003.

Nesse sentido, é essencial que haja metodologias capazes de detectar, identificar e quantificar eficazmente esses eventos cruciais para que medidas de fiscalização e controle possam ser tomadas, quando necessário.

A detecção de um organismo com uma determinada alteração em seu material genético pode ser realizada a partir das diferentes moléculas envolvidas no armazenamento e expressão da informação gênica: a molécula de DNA contendo a alteração genética propriamente dita, o mRNA ou proteína expressos e, ainda, com base na alteração fenotípica decorrente da modificação inserida. As alterações no fenótipo não são facilmente observáveis em muitos casos, uma vez que se manifestam somente na presença de uma determinada condição ambiental, como no caso da soja resistente ao glifosato e do milho resistente a alguns insetos-praga.

A detecção de OGMs com base no mRNA é inviabilizada, principalmente devido à grande instabilidade desse tipo de molécula. De modo semelhante à detecção baseada em mRNA, a detecção de proteínas está na dependência da especificidade temporal e tecidual da expressão do transgene. Além dessas limitações, ambas as moléculas apresentam restrições ao serem manuseadas e, no caso de

proteínas, a manutenção de sua estabilidade é crucial para ser possível a sua detecção. Desse modo, os principais métodos de detecção de OGMs baseiam-se na análise do DNA, que está presente em todas as células do organismo e apresenta uma razoável estabilidade *in vitro*.

No caso específico da detecção e quantificação de resíduos de OGMs em alimentos, os métodos baseados na presença do DNA ou da proteína exógena vêm sendo utilizados sistematicamente. Os métodos baseados em DNA utilizam principalmente a técnica da Reação em Cadeia da DNA polimerase (PCR) convencional e também o quantitativo. Este constitui o método mais utilizado devido a sua sensibilidade e especificidade, sendo eficaz tanto na análise de produtos *in natura*, como: grãos, farelo, extrato, etc, como aqueles altamente processados, como diferentes tipos de alimentos contendo o OGM ou traços em sua composição, e como: bebidas lácteas, chocolates, salsichas (MARCELINO, 2007; MARCELINO, 2008). Os métodos baseados na detecção ou quantificação da proteína alvo exploram a capacidade de interação altamente específica entre antígeno e anticorpo. Dentre os métodos disponíveis destacam-se o teste da tira de fluxo lateral e o ELISA. Estes são utilizados principalmente para produtos *in natura*, em razão da necessidade da manutenção de estrutura da proteína.

Metodologias para Detecção e Quantificação de OGMs

Metodologias baseadas em DNA

A análise baseada em DNA tem como alvo qualquer região contida no cassete ou construção transgene que foi inserida na espécie. A construção genética utilizada para produzir um OGM

consiste, basicamente, de três elementos: o promotor, que controla a expressão do transgene no organismo; a região codificadora, que codifica a proteína de interesse; e a região terminadora, que determina o final do gene. Além disso, pode ser utilizado um gene marcador que serve para selecionar as células que, de fato, tenham sido transformadas. A soja resistente ao herbicida glifosato, por exemplo, tem como região reguladora o promotor 35S do vírus do mosaico da couve-flor (CaMV); como região codificadora o gene que codifica a proteína EPSPS de *Agrobacterium tumefaciens*, que confere a resistência ao herbicida, e como região terminadora, o terminador do gene nopalina sintase (NOS), também de *Agrobacterium* (Figura 1).

Desse modo, a detecção de qualquer uma dessas regiões em uma planta GM, presentes exclusivamente na construção transgene, possibilita sua discriminação daquelas não GM.

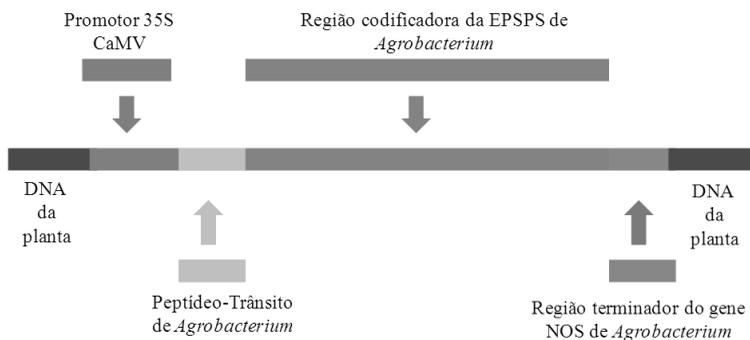


Figura 1. Representação da construção presente na soja, RR® (*Roundup Ready*). Região promotora 35S do vírus do mosaico da couve-flor, peptídeo de trânsito de *Petunia*, gene que codifica a proteína EPSPS, que confere resistência ao herbicida, e o terminador do gene nopalina sintase (NOS).

Os métodos baseados no DNA utilizam a técnica da PCR para a detecção e quantificação de resíduos transgênicos, tanto em produtos *in natura* como produtos processados. Isso decorre da sua alta eficiência, repetibilidade e sensibilidade. Tais métodos têm sido desenvolvidos para detectar qualitativamente a presença de sequências modificadas de ácidos nucleicos em alimentos transgênicos (LIPP et al., 2005). Tal metodologia é qualitativa, uma vez que apenas detecta a presença do evento, mas não o quantifica.

O método baseia-se na amplificação de um fragmento de DNA específico do transgene: da região promotora, da região terminadora, do gene marcador ou algum segmento de DNA exógeno a ele associado. A amplificação é feita pela enzima DNA polimerase, que utiliza pequenas sequências iniciadoras específicas de DNA, denominadas *primers*, que flanqueiam a região que se deseja amplificar. Além da molécula alvo, dos iniciadores e da enzima DNA polimerase, também é necessária a adição dos desoxinucleosídeos trifosfatados e de Mg^{+2} , que atua como cofator da polimerase. Em princípio, em uma PCR o número de sequências alvo amplificadas aumenta exponencialmente a cada ciclo, que é constituído de três diferentes etapas. Na primeira etapa, a molécula de DNA alvo é desnaturada a uma temperatura em torno de 94°C, seguida de uma redução em torno de 50 a 60°C, para o anelamento dos *primers*. Finalmente, a temperatura é elevada a 72°C, para que haja a polimerização pela DNA polimerase. Os ciclos são repetidos 20 até 45 vezes, dependendo da quantidade de DNA alvo ou do tamanho do fragmento a ser amplificado. Após cada ciclo, as moléculas obtidas são utilizadas como molde para um novo ciclo de amplificação, obtendo-se amplificação exponencial do número de fragmentos. Isto resulta na obtenção de até um bilhão de cópias da sequência alvo após x ciclos (Figura 2).

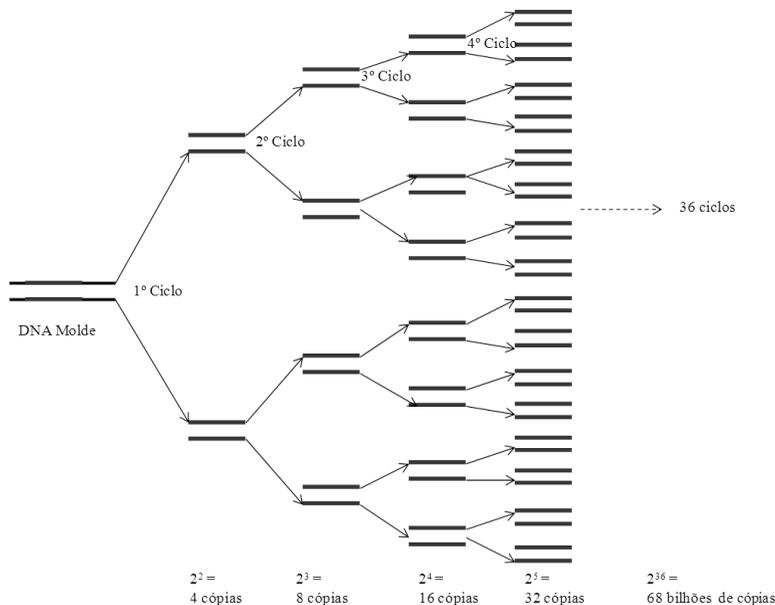


Figura 2. Amplificação exponencial do DNA na reação de PCR.

Rotineiramente são realizados *screening* para detecção de alimentos GM com *primers* que flanqueiam na região promotora 35S do vírus do mosaico da couve-flor e da região terminadora NOS de *Agrobacterium tumefaciens*, ambos presentes na maioria dos transgênicos atualmente comercializados. No entanto, para a identificação do evento transgênico, são necessários *primers* específicos que flanqueiem a região codificadora ou alguma região que seja específica do transgene ou, ainda, os sítios de inserção e regiões terminais do cassete de clonagem. A Figura 3 mostra os possíveis resultados obtidos em uma análise qualitativa, incluindo a avaliação da qualidade da amostra a ser analisada, através da amplificação de um gene de referência endógena. Para tornar a

detecção de OGM mais precisa e confiável, o uso de um gene de referência é indispensável. A referência endógena se refere a um gene espécie-específico, de baixo número de cópias no genoma da espécie e ainda deve exibir baixa heterogeneidade entre cultivares (DING et al., 2004). Sua amplificação deve ser positiva tanto nas amostras transgênicas como nas convencionais, utilizadas como controle nas reações, e é crucial para minimizar a ocorrência de resultados falsos negativos.

As características mais marcantes do método de detecção de transgenes, baseado na reação de PCR convencional, são a sua precisão e a sua sensibilidade. No entanto, esse método é incapaz de fornecer informação acurada sobre a quantidade do alvo que está sendo amplificado devido a oscilações na eficiência de amplificação em diferentes reações, bem como nos diferentes ciclos de uma mesma reação. Essas variações estão relacionadas com o acúmulo de inibidores, perda da processividade da enzima DNA polimerase e escassez dos reagentes ao longo dos ciclos. Em especial, nos últimos ciclos da PCR, os produtos de amplificação são produzidos de modo não-exponencial, o que torna inviável a correlação da quantidade inicial de alvo com a quantidade de alvo amplificado no decorrer dos ciclos de amplificação.

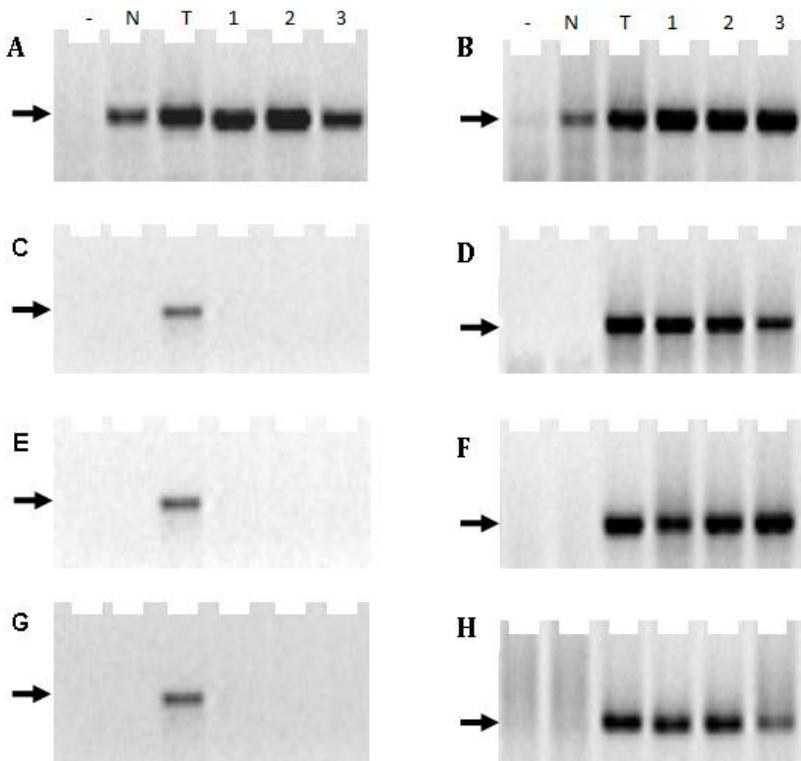


Figura 3. Análise qualitativa de OGM em amostras de grãos de soja.

O DNA das amostras foi extraído pelo método Wizard e amplificado com *primers* específicos que anelam ou no gene de referência endógena lectina (controle A e B), ou na região do promotor 35S do CaMV (C e D), ou na região terminadora NOS (E e F), ou na região codificadora do gene EPSPS (G e H). Após a reação de PCR, os produtos amplificados foram separados em géis de agarose. À esquerda (A, C, E e G), está exemplificado um resultado negativo e, à direita (B, D, F e H), um resultado positivo. Os símbolos nas canaletas representam: (-), reação de PCR sem DNA (controle); N, soja normal (controle); T, soja transgênica (controle); 1, 2 e 3 referem-se a amostras de

grãos de soja. As setas indicam as bandas de DNA de interesse.

Uma metodologia, que vem sendo largamente empregada para a quantificação de OGM, é a metodologia *TaqMan*®, por PCR quantitativo em tempo real. Em contraste com quantificações nos ciclos finais da PCR, a PCR em tempo real monitora a reação ciclo a ciclo, associando a amplificação do alvo em cada ciclo com a emissão de uma determinada quantidade de fluorescência. A fluorescência é originada durante a hibridização do DNA alvo com sondas ou *primers* marcados com fluoróforos específicos. A intensidade de sinal emitida é proporcional à quantidade de DNA alvo amplificado e aumenta exponencialmente em cada ciclo de amplificação. Desse modo, é possível monitorar a quantidade de produto gerada em cada ciclo, e durante a fase exponencial da reação, onde a quantidade de fragmento gerado é proporcional à quantidade inicial. O sistema *TaqMan*® utiliza, além dos *primers* de PCR usuais, uma sonda fluorescente que hibridiza dentro da sequência alvo. A sonda contém um corante fluorescente ligado ao seu terminal 5' (*reporter*) e um inibidor da fluorescência (*quencher*) ligado ao seu terminal 3'. Durante o processo de amplificação, a atividade de exonuclease 5'-3' da DNA polimerase degrada a sonda, separando fisicamente o corante fluorescente do inibidor, aumentando a emissão de fluorescência. A intensidade de fluorescência emitida é diretamente proporcional à quantidade de DNA do transgene presente na amostra (HOLLAND et al., 1991). Devido ao emprego simultâneo de *primers* e sondas, esta metodologia é uma das mais precisas para quantificação de OGMs (Figura 4).

Para a quantificação do percentual de DNA GM em um determinado produto, o número de cópias do transgene é dado em função do número de cópias de um gene endógeno espécie-

específico. A quantificação relativa a partir de uma curva padrão é a metodologia comumente utilizada para a determinação do percentual de DNA GM presente nas amostras. O percentual de OGM é definido como sendo a razão entre a quantidade em peso do ingrediente GM com relação à quantidade total do ingrediente. No entanto, como esse percentual é, na realidade, determinado pela amplificação por PCR de um fragmento do DNA exógeno, bem como de um gene endógeno utilizado como referência, o que ocorre, na verdade, é uma extrapolação da razão entre o número de cópias de DNA GM e número de cópias de DNA não-transgênico da espécie em questão, amplificados por PCR. Tanto o fragmento de DNA exógeno, como o utilizado como referência endógena, devem apresentar a mesma eficiência de amplificação por PCR quantitativo. Essa eficiência deve ser demonstrada inicialmente em reações simples e pela construção de curvas de calibração com valores de coeficiente de correlação acima de 0,98, e ambas eficiências acima de 90%. Durante as análises, a amplificação de ambos os alvos em reações multiplex os desvios referentes à eficiência de amplificação são minimizados. Para construção da curva de calibração são utilizados padrões de referência, que são amostras contendo quantidades específicas de DNA GM, expressos nas diferentes unidades, nanogramas, número de cópias ou percentual, que devem ser, concomitantemente, amplificados com as amostras do ensaio. Apenas com a amplificação desses padrões é possível a construção das curvas de calibração que permitem a determinação do percentual de resíduos transgênicos.

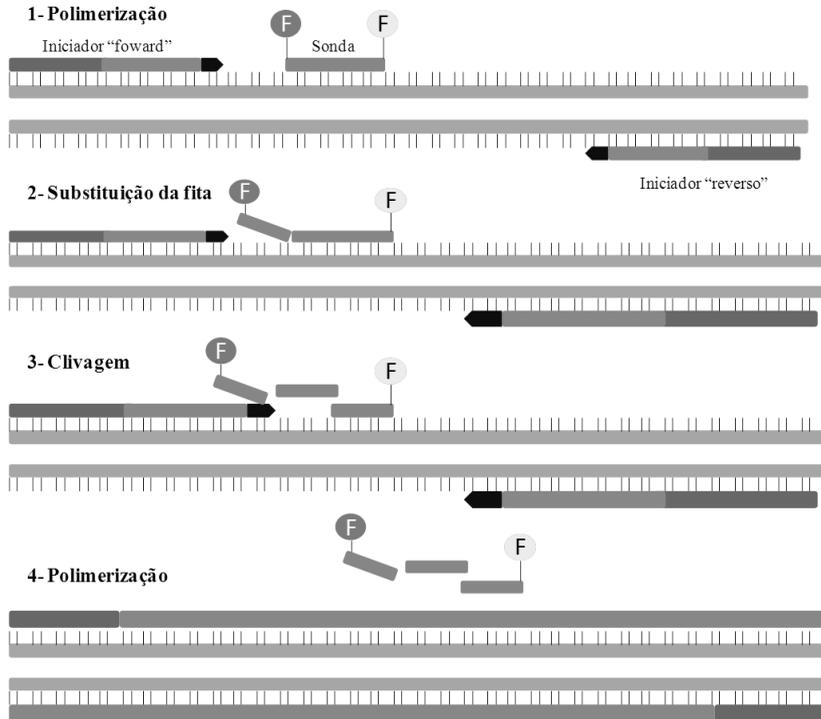


Figura 4. Metodologia *TaqMan* para PCR quantitativo em tempo real. A - Anelamento dos *primers* e da sonda e início da polimerização; B – Polimerização; C – Clivagem da sonda pela atividade de exonuclease 5’- 3’ da polimerase; D – Final da polimerização e emissão de fluorescência devido à degradação da sonda. Adaptado de Novaes e Pires-Alves, 2004.

Kits para quantificação da soja *Roundup Ready* e do milho Bt11 estão disponíveis no mercado. Neles, a quantificação é baseada no método *TaqMan*®. O alvo de amplificação é a sequência de DNA do promotor 35S presente na maioria dos OGM’s comercializados até o momento. O procedimento é extremamente preciso em

decorrência da perfeita complementaridade entre os *primers* usados na reação de PCR, a sonda *TaqMan*® e as sequências alvo de DNA que estão sendo amplificadas. A fluorescência liberada durante a reação é lida pelo sistema de detecção e os dados gerados são analisados eletronicamente. Como referência endógena, é amplificado o gene que codifica para a proteína lectina. A referência endógena é utilizada para normalização da reação, garantindo que flutuações na intensidade do sinal gerado, devido problemas de pureza do DNA e quantidade do alvo abaixo do limite de quantificação, sejam considerados durante a análise. Seu emprego garante que a quantificação possa ser determinada de maneira relativa, ou seja, o percentual de DNA geneticamente modificado por percentual do DNA endógeno.

Metodologias baseadas em proteínas

Dentre as metodologias comumente utilizadas para detecção de OGMs com base na proteína expressa, destacam-se a técnica de ELISA e o Teste de Tira de Fluxo Lateral. Tais métodos são, também, denominados imunológicos, pois se baseiam em uma das interações mais fortes e específicas da natureza, a interação entre antígeno-anticorpo. Desse modo, para utilização de tais ensaios é necessária a existência de anticorpos específicos contra a proteína transgênica, que será o antígeno na reação e sua produção em quantidades suficientes para utilização no teste.

Ressalte-se que, diferentemente dos métodos baseados em DNA, a detecção e quantificação da proteína transgene estão na dependência de sua expressão nos tecidos da planta, que se deseja analisar. Uma baixa expressão pode ser suficiente para garantir seu efeito fisiológico, no entanto, pode ser insuficiente para ser detectada pelo método empregado (BARROS, 2005).

ELISA

A técnica de ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) é um teste imunoenzimático que permite a detecção de proteínas específicas denominadas antígenos, quando da sua interação com seu anticorpo correspondente. Para tal, além do anticorpo específico para a proteína alvo, também deve ser adicionada à reação um segundo anticorpo, normalmente ligado a uma enzima que, na presença de seu substrato, leva a alteração colorimétrica do meio. A coloração permite então a detecção da presença da proteína alvo, além de sua intensidade ser proporcional à quantidade de antígeno existente na amostra, e o que permite que a técnica também seja usada na quantificação. As reações são conduzidas em uma superfície inerte, normalmente em placas de 96 poços, onde os antígenos de interesse são adsorvidos. No caso da detecção de transgenes, a detecção é feita quando o extrato do tecido vegetal é adicionado nos poços da placa. Se a proteína transgene estiver presente, irá interagir com o anticorpo específico, ligado à placa e, após lavagens seguidas para retirada do excesso de proteínas e adição do segundo anticorpo conjugado, tem-se a detecção. A quantificação é possível desde que seja preparada uma curva padrão a partir de quantidades conhecidas da proteína alvo.

Para que ocorra o funcionamento adequado do método, é imprescindível que a proteína transgênica de interesse esteja intacta, para ser capaz de ser reconhecida por seu anticorpo. Nesse sentido, o ELISA não é um método de detecção de transgenes apropriado se as proteínas da amostra tiverem sido degradadas em função de algum tipo de processamento, por exemplo, com calor ou tratamento químico. Sendo assim, este não é o método utilizado para análise de OGM alimentos rotineiramente e, sim, para grãos ou partes vegetais.

Kits para detecção de patógenos, micotoxinas, gravidez, entre outros baseados na técnica ELISA, estão disponíveis comercialmente e são aceitos mundialmente há várias décadas. No caso da detecção

de transgenes, kits para eventos mais comuns estão disponíveis, tais como: para a detecção das proteínas EPSPS (soja e algodão RR) e os diferentes tipos de Cry: Cry1Ab presentes nos eventos de milho Mon809, Mon810, Bt11; Cry1F presente no milho Herculex; Cry1Ac no algodão Bolgard I e Cry2Ac no Bolgard II e Liberty Link (<http://www.biogeneticservices.com/elisagmo.htm>). No caso da soja RR, a sensibilidade do ELISA fica em torno de 12-15M (50pg/mL). O limite de detecção para a proteína EPSPS foi de 0,25% para sementes e 1,4% para alimento tostado (STAVE, 1999).

Tira de Fluxo Lateral ou Strip Test

O teste de Tira de Fluxo Lateral é o mais comum teste utilizado para a detecção e *screening* inicial da presença de transgenes em amostras. Trata-se de um teste simples e rápido e também se baseia na interação antígeno-anticorpo. Além da simples detecção é ainda capaz de identificar um evento específico, graças à especificidade da interação da proteína transgene, o antígeno, com seu anticorpo correspondente.

A tira é normalmente feita de celulose, havendo na extremidade superior um material poroso e absorvente para garantir o movimento do fluxo por capilaridade. Na parte mais inferior da tira, está ligado o anticorpo de detecção, específico para a proteína de interesse, ligado a uma substância que promova o aparecimento de cor, enquanto na parte superior, o anticorpo de captura, região onde o complexo proteico irá parar a migração e se formarão as duas linhas que compõem o teste (Figura 5).

Para proceder o teste, inicialmente, a extremidade da tira, com o anticorpo de detecção, deve ser imerso em um tubo contendo o extrato proteico do material que se deseja analisar. Se a proteína transgene estiver presente, imediatamente se ligará ao anticorpo de detecção e o complexo migrará por capilaridade. À medida que o

complexo vai migrando, novas moléculas de anticorpo vão interagindo e se ligando com o complexo, que se torna cada vez maior, até que ocorra a precipitação e a migração pare. Nesse momento, observa-se a formação da linha positiva do teste (linha inferior). As moléculas do anticorpo de detecção, que não se ligaram ao complexo, continuam migrando ate atingirem a porção superior, onde ocorre a formação da segunda faixa, que constitui a linha-controle do teste (Figura 5). A presença de duas faixas indica que o teste funcionou adequadamente e que o resultado é positivo. A presença apenas da faixa superior indica que o teste é negativo.

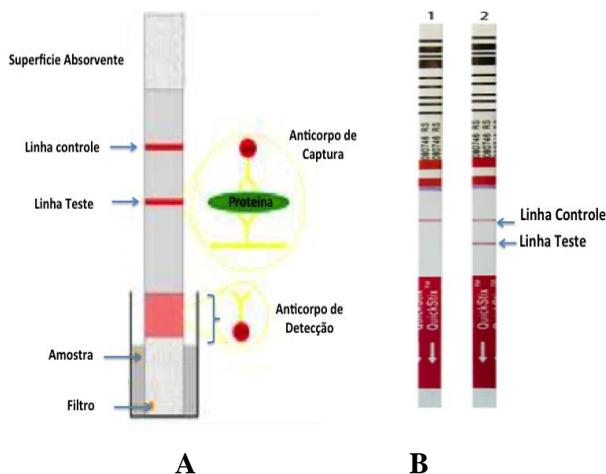


Figura 5. Teste de Tira de Fluxo Lateral. A – Representação esquemática da tira de Fluxo Lateral com detalhes da interação entre proteína-alvo presente na amostra e o anticorpo de detecção. B – Interpretação dos resultados do teste de tira; em 1 amostra negativa e 2 amostra positiva.

O procedimento de ELISA é mais longo do que o teste tira; enquanto a técnica de ELISA pode levar horas, o teste de tira leva apenas alguns minutos. Em contrapartida, o ELISA é mais sensível, com um limite de detecção de 0,01 a - intervalo de 1%.

Referências Bibliográficas

BARROS, E. G. **Detecção de resíduos de OGMs**. In COSTA N.M.B., BORÉM A., ROSA C.O.B. Alimentos transgênicos Saúde e Segurança. Editora Folha de Viçosa. 250p. 2005.

DING J.; JIA J.; YANG L.; WEN H.; ZHANG C.; LIU W.; ZHANG D. Validation of a rice specific gene, sucrose phosphate synthase, used as the endogenous reference gene for qualitative and real-time quantitative PCR detection of transgenes. **J. Agric. Food Chem.**, 52:3372-3377. 2004.

HOLLAND, P. A.; ABRAMSON, R. D.; WATSON, R.; GELFAND, D. H. Detection of specific polymerase chain reaction product by utilizing the 5'-3' exonuclease activity of *Thermus aquaticus* DNA polymerase. **PNAS**, 88:7276-7280, 1991.

LIPP M.; SHILLITO R.; GIROUX R.; SPIEGELHALTER F.; CHARLTON S.; PINERO D.; SONG P. Polymerase Chain Reaction Technology as Analytical Tool in Agricultural Biotechnology. **Journal of AOAC International**, 88:136-9154, 2005.

MARCELINO-GUIMARAES, F. C.; GUIMARAES, Marta Fonseca Martins; BARROS, E. G.. Detection and quantification of Roundup Ready soybean residues in sausage samples by conventional and real-time PCR. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 32-39, 2008.

MARCELINO-GUIMARAES, F. C.; MARTINS, M. F.; BARROS, E. G. Detecção e quantificação de alimentos geneticamente

modificados: o panorama brasileiro. **Revista Ceres**, 4:214-224, 2007.

SENA, J. A. D. **Métodos de detecção analítica de organismos geneticamente modificados.** In PATERNIANI, M. L. S. *Biossegurança e Plantas Transgênicas.* Editora FUNEP. Jaboticabal, SP. 116p. 2005.

STAVE, J. W. Detection of new or modified proteins in novel foods derived from OGM – future needs. **Food Control**, 10:361-374. 1999.

Biotecnologia, Biossegurança e Bioética

Luciana Grange¹, Olivia Márcia Nagy Arantes², Andressa Caroline Patera³ e Angelica Luana Kehl da Silva³

Biotecnologia na agricultura

Durante muitos anos plantas cultivadas vêm sendo manipuladas geneticamente pelo homem, através de cruzamentos controlados, modificando a constituição genética de indivíduos ou de populações, para genótipos superiores. Esse método é conhecido como melhoramento genético de plantas clássico ou tradicional (MONQUERO, 2005).

A princípio, os melhoristas eram apenas pessoas práticas que tinham habilidade de selecionar, dentre muitas outras, as plantas que

¹*Professora Adjunta da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Curso Superior de Tecnologia em Biotecnologia, Palotina, PR. E-mail: lgrange@ufpr.br*

²*Consultora no projeto Biossegurança de OGM - LAC BIOSAFETY.*

³*Acadêmicas do Curso Superior em Tecnologia em Biotecnologia da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Palotina, PR.*

apresentavam diferenças e que podiam ser de interesse econômico e alimentar. Somente após a redescoberta das leis de Mendel, no início do século XX e com o avanço de outros ramos científicos, é que o melhoramento passou a possibilitar a criação de novos tipos de plantas, pela modificação dirigida dos diferentes caracteres hereditários (BORÉM & MILACH, 1999).

Para alcançar seus objetivos, nos anos posteriores, esses cientistas seguiram contando com o auxílio de algumas ferramentas valiosas como a aplicação dos conceitos de recombinação, mutação e seleção natural. Também passaram a ser considerados instrumentos aplicados na busca pelo sucesso dos programas de melhoramento genético de plantas os conceitos de mutações, variabilidade genética, esterilidade masculina, heterose, sistemas de incompatibilidade nas plantas e cruzamentos interespecíficos. Mas, foi na década de 80 que surgiu uma nova e altamente promissora ferramenta: a genética molecular e com ela uma nova revolução para o melhoramento genético de plantas, a biotecnologia (BORÉM, 1998).

O termo “biotecnologia” foi utilizado pela primeira vez em 1919, pelo engenheiro húngaro Karl Ereky, referindo-se às atividades cujos produtos provinham da ação de organismos vivos em matérias brutas. Pode-se dizer que “biotecnologia é o uso de seres vivos e seus componentes na agricultura, alimentação e saúde, além do emprego na produção ou modificação de produtos em processos industriais” (ARAGÃO, 2003). Ainda é possível agregar a esta definição o uso de seres vivos na proteção do meio ambiente, monitoramento e remediação ambiental (AMÂNCIO & CALDAS, 2010).

De maneira mais generalista, biotecnologia pode ser considerada como um conjunto de técnicas de manipulação de seres vivos ou parte destes para fins de produção e econômicos. O conceito inclui também técnicas modernas de modificação direta do DNA de forma a alterar precisamente as características desse organismo ou introduzir novas. A técnica de transferência e modificação genética,

conhecida como engenharia genética ou tecnologia do DNA recombinante, mais a genômica, ficaram conhecidas como “biotecnologia moderna”, em contraposição à “biotecnologia tradicional ou clássica”, que inclui as técnicas tradicionais de cruzamento genético (SILVEIRA, 2005).

O organismo que sofre essa manipulação passa a ser considerado um OGM (Organismo Geneticamente Modificado), ou transgênico, termo genérico dado a uma família de produtos obtidos ou que contenham material derivado do uso da tecnologia do DNA ou RNA recombinante (isolamento, purificação, clonagem e engenharia gênica) ou de outras técnicas da genética molecular (hibridação somática, mapeamento gênico etc.) (AMÂNCIO & CALDAS, 2010).

Os produtos transgênicos, segundo o Protocolo de Cartagena⁴ sobre Biossegurança, são definidos como organismos geneticamente modificados obtidos por um procedimento que visa à transferência inter ou intraespecífica de genes permitindo substituir, acrescentar ou retirar um comando químico ou gene de uma cadeia genética para obter um organismo com um atributo de interesse (BORÉM, 2005).

Para a agricultura moderna, a biotecnologia da produção de plantas transgênicas tem um papel fundamental sendo, atualmente, a solução-chave para o aumento da produção de alimentos

⁴ Em 29 de Janeiro de 2000, a Conferência das Partes para a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD) adotou uma complementação à Convenção que ficou conhecida como Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança. O protocolo visa à proteção da diversidade biológica frente aos riscos potenciais que os organismos vivos modificados resultantes da moderna biotecnologia (ou transgênicos como ficaram popularmente conhecidos no Brasil). Esse protocolo prevê um procedimento de troca de informação anterior a qualquer introdução desses organismos em um novo país; tal procedimento proverá informações necessárias para que decisões sejam tomadas antes da autorização da importação (CAPALPO et al., 2009). O texto do Protocolo e outros detalhes podem ser encontrados no site <http://www.cbd.int/biosafety/protocol.shtm>.

(SCHOLZE, 2001), uma vez que, segundo previsões da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial em 2050 deverá ser de 9,3 bilhões de pessoas representando um incremento de 35% da população atual (JAMES, 2011). Mais importante ainda e diferentemente das estimativas anteriores, que previam um *plateau* em 2050, o contínuo crescimento global está agora projetado até o final deste século, alcançando 10 bilhões de pessoas em 2100 (JAMES, 2011).

Para conseguir alimentar esse contingente de pessoas, segundo essa organização, deverão ser acrescidos 50% a mais de alimentos em comparação ao que o mundo vem produzindo nos dias de hoje, tendo, no entanto, como uma dificuldade agregada, a preocupação com a preservação de recursos genéticos e naturais. Além desse percalço, a humanidade também enfrentará mais dois desafios ligados direta e indiretamente para a sustentabilidade dos sistemas sociais: a escassez de água e a produção de energia (SILVEIRA, 2005). Diante dessas perspectivas, a produção de plantas transgênicas vem colaborando de maneira relevante, conforme apresentado pela Tabela 1, para que esses desafios possam vir a ser superados (dados compilados a partir de RECH, 2005; SILVEIRA, 2005; ROYAL SOCIETY, 2000, JAMES, 2011).

Tabela 1. Demandas para a sustentabilidade do sistema mundial de produção de alimentos e as principais contribuições oferecidas pelas plantas transgênicas.

Demandas	Contribuições
Redução da necessidade de terras apropriadas para cultivos comerciais	<ul style="list-style-type: none"> - plantas modificadas para aumento da produtividade; - plantas modificadas para adaptação aos diferentes sistemas de cultivo; - benefícios econômicos no nível do produtor (menos arações, menos

	<p>pulverizações com pesticidas e menos mão-de-obra;</p> <ul style="list-style-type: none"> - plantas resistentes a estresses bióticos (patógenos, insetos-praga e plantas daninhas); - plantas com maior eficiência na conversão de biomassa;
Redução no uso da água e da extração de outros recursos naturais	<ul style="list-style-type: none"> - plantas melhoradas para responder a FBN (Fixação Biológica do Nitrogênio); - plantas tolerantes a estresses abióticos (salinidade, seca, frio, inundação, calor); - plantas com maior resposta à adubação, mecanização e manejo de lavouras; - plantas melhoradas para produção de etanol de 2ª geração;
Conservação da biodiversidade e biorremediação	<ul style="list-style-type: none"> - plantas modificadas para aumento da produtividade; - plantas modificadas para maior adaptação em solos marginalizados; - plantas geneticamente adaptadas para hiperacumulação de metais pesados;
Qualidade, segurança alimentar e biofábricas	<ul style="list-style-type: none"> - remoção de antinutrientes, alergênicos e/ou toxinas; - plantas engenheiradas para a biofortificação; - plantas modificadas com genes para aumentar o valor nutricional dos alimentos (proteínas, fibras, óleos, carboidratos, vitaminas/sais minerais e fitoquímicos); - plantas modificadas para produção de hormônios e vacinas em sementes.

Portanto, as características anteriormente mencionadas, em conjunto ou isoladamente, visam o aperfeiçoamento da agricultura moderna, podendo reduzir a dependência excessiva das ações mecânicas e químicas ou outras práticas agressivas ao meio

ambiente, bem como aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais, aumentar a produtividade agrícola e reduzir os custos de produção, agregar valor aos produtos agrícolas, gerar alimentos funcionais e acelerar a adaptação de culturas de grande interesse econômico a mudanças climáticas globais. Em outras palavras, a biotecnologia de plantas transgênicas apresenta-se com a principal missão de contribuir para a sustentabilidade do sistema mundial de produção de alimentos em benefício do homem, do ambiente e do planeta (CAPALBO et al., 2009).

Biossegurança e riscos envolvendo plantas GM

Apesar dos atuais e reconhecidos benefícios advindos dos cultivos das diferentes plantas transgênicas, esse tipo de tecnologia ainda gera apreensões por parte da sociedade, em relação às consequências desses resultados a médio e longo prazo para a saúde do homem e para a longevidade do meio ambiente como um todo.

A perspectiva que se tinha na década de 1980 sobre a transgênese era a de que a humanidade teria a possibilidade de gerar novos organismos que, de outra forma, jamais existiriam na natureza. Isso originou as preocupações ambientais que perduram até hoje: a possível transferência das modificações genéticas entre espécies sexualmente compatíveis, entre espécies distintas (fluxo gênico vertical) e entre gêneros distintos (fluxo gênico horizontal); o aumento de competitividade (*weedness*); os impactos em organismos não-alvo; o desenvolvimento de resistência; a erosão genética e possível impacto desses organismos na fauna e na flora (ANDRADE et al., 2012). Outros temores que circundam a produção de alimentos GM estão fundamentados na segurança desses produtos como alimentos para consumo humano e animal.

A Codex Alimentarius Commission, da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), adotou, em

2003, uma lista de princípios para a análise dos riscos oriundos da aplicação da técnica de transgênese. Além disso, descreve, também, uma metodologia para conduzir as avaliações da segurança alimentar desses produtos (WHO, 2012). Os princípios de avaliação requerem a investigação de: (a) efeitos diretos para a saúde (toxicidade); (b) tendência a provocar reações alérgicas (alergenicidade); (c) componentes específicos que promovem propriedades nutricionais ou tóxicas; (d) estabilidade do gene inserido; (e) efeitos nutricionais associados com a modificação genética específica; e (f) qualquer efeito não intencional que pode resultar da inserção genética (CAMARA et al., 2009).

Para contemplar a segurança necessária diante desses temores e para disponibilizar à sociedade produtos seguros obtidos pela biotecnologia, surge o conceito de biossegurança, termo usado para descrever os estudos e esforços para reduzir ou eliminar potenciais riscos resultantes da biotecnologia moderna e ou de seus produtos, dentro do escopo de manejo de riscos biológicos (ZAID et al., 2001). A biossegurança envolve também regulamentações que se destinam à análise e ao manejo dos riscos potenciais de OGMs como alimento, para a saúde humana e animal, para o desenvolvimento saudável de plantas e também para a preservação do ambiente agrícola ou da biodiversidade como um todo (HAGLER et al., 2010). Assim a avaliação da biossegurança de plantas transgênicas, para efeitos didáticos, costuma ser abordada em dois grandes tópicos - avaliações de segurança ambiental e de segurança alimentar.

A biossegurança é regulada em vários países por um conjunto de leis, regulamentos, acordos e políticas. A base para a construção dessas regras e condutas está galgada no princípio da precaução e na utilização de métodos científicos de avaliação de riscos como elemento preditivo do comportamento futuro antecipado a fim de permitir as tomadas de decisões. A interpretação adequada da precaução deve ser de tal forma a garantir a segurança ambiental e

alimentar sem comprometer desnecessariamente os avanços tecnológicos (MAPA, 2010).

As atividades com OGMs na agricultura e pecuária acham-se regulamentadas pela Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005, comumente chamada “Lei de Biossegurança”, além de diversas outras Leis aplicadas também ao produto, independente de ser este derivado da biotecnologia. A criação dessa Lei também foi responsável pela reestruturação da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e pela criação do Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS). A CTNBio é um Colegiado Multidisciplinar integrante do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), consultivo e deliberativo para proceder a análise de avaliação de risco de OGM e derivados, estabelecer normas técnicas de segurança de OGM e derivados e emitir pareceres técnicos referentes à autorização para atividades que envolvam pesquisa e uso comercial de OGM e derivados.

Segundo Andrade et al. (2012), organizadores do Guia para a Avaliação do Risco Ambiental de Organismos Geneticamente Modificados, produzido pelo International Life Sciences Institute (ILSI) do Brasil e adotado pela CTNBio, a análise de risco é o uso sistemático da informação disponível para guiar a tomada de decisões, com base nos riscos e benefícios avaliados, da adoção de uma tecnologia em particular. A análise de risco consta de três partes, (Figura 1) (ANDRADE et al., 2012):

1) Avaliação de risco: é o processo científico de estimar níveis de risco, incluindo estimativas sobre possíveis consequências. Depois de identificar metas de proteção, consiste no uso sistemático da informação disponível para identificar possíveis perigos e sua probabilidade de ocorrência, para em seguida inferir com certeza aceitável sobre a inocuidade da nova tecnologia num determinado ambiente e sobre a saúde humana e animal;

2) Manejo/gestão de risco: é o processo de definir ou propor estratégias para prevenir, mitigar ou controlar os riscos em níveis aceitáveis. Estabelece restrições e medidas de controle que devem ser adotadas;

3) Comunicação de risco: é o intercâmbio interativo de informação entre os diferentes atores sobre os possíveis perigos e seu manejo, assim como dos benefícios, para que se tomem decisões informadas. Envolve um diálogo aberto entre os reguladores, os tomadores de decisão e o público. Como requisito mínimo, os argumentos favoráveis ou contrários aos OGMs devem ser baseados em dados e argumentos científicos seguros.

As principais etapas da avaliação de risco apresentadas pelos cultivos GM deve ter como ponto de referência o comportamento das variedades tradicionais conhecidas em situações semelhantes de cultivo. De início, as primeiras etapas da avaliação devem ter como idéia geral a identificação de perigos novos, ou seja, aqueles devidos a modificações genéticas e ainda não-existentes na agricultura convencional. A partir de então, nas etapas seguintes, o que deverá ser avaliado é a possibilidade de que esses perigos se materializem (risco) e causem danos (ANDRADE et al., 2012).

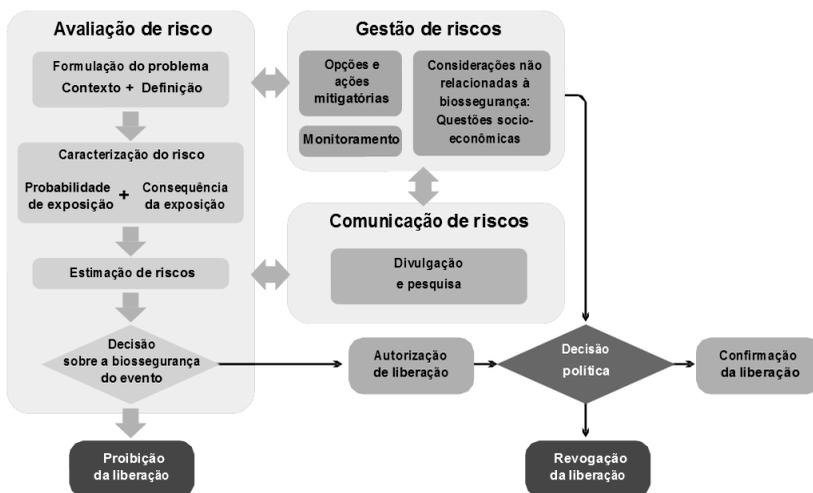


Figura 1. Fluxograma da análise de risco, incluindo a avaliação de risco, a gestão e a comunicação de risco (Fonte: ANDRADE et al., 2012).

Os primeiros dois passos compõem a formulação do problema (a definição do contexto e o estabelecimento de uma lista de perigos, conhecido também como definição do problema); no passo 3 são identificados a probabilidade de ocorrência e o dano potencial associado a cada novo perigo listado no passo 2. A avaliação destes serve como base para o descarte dos perigos que não são novos ou são improváveis, ou ainda que não se prestam a uma avaliação, reduzindo assim a lista de riscos significativos que devem ser avaliados. No passo 4, o risco de cada perigo restante é estimado com base num algoritmo qualitativo tabular amplamente utilizado na avaliação do risco que inclui a dimensão do dano potencial estimado. Havendo risco, na etapa 5, determina-se se ele é aceitável ou se pode ser manejado para reduzir, evitar, mitigar ou minimizar seus efeitos (Figura 2) (ANDRADE et al., 2012).

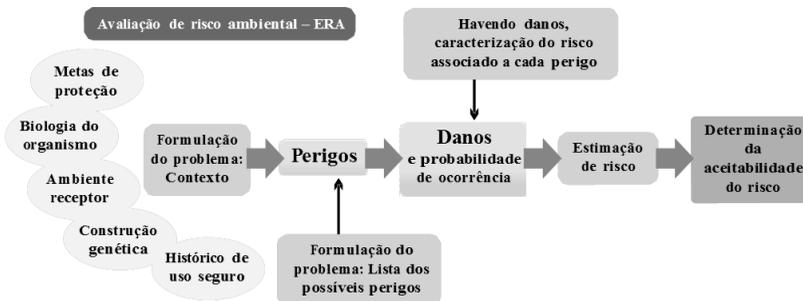


Figura 2. Relação entre os passos da avaliação de riscos (Fonte: ANDRADE et al., 2012).

Por fim, a função da comunicação eficaz dos riscos é reduzir a expectativa negativa da população-alvo, preparar as partes interessadas para tomar medidas de mitigação quando necessárias e minimizar a desconfiança que possa existir sobre o uso do OGM. Por outro lado, também tem a função de fornecer informações úteis para planejar as ações de gestão da empresa ou do órgão de fiscalização (ANDRADE et al., 2012).

Para a ciência do risco, por definição RISCO é função do PERIGO (ou DANO) e da EXPOSIÇÃO, isto é, o risco é a composição de duas probabilidades: a probabilidade de o dano acontecer e a de quanto/quando estaremos expostos ao agente que causa o dano (ARANTES et al., 2011). *(O Artigo 23 do Protocolo de Cartagena requer às Partes «promover e facilitar a conscientização, educação e participação» do público quanto aos assuntos discutidos no Protocolo sobre os cultivos GM)* (ANDRADE et al., 2012). Diversos estudos de percepção de riscos mostram que os benefícios percebidos são a principal variável explicativa da percepção e da rejeição de riscos tecnológicos: quanto menor a percepção dos

benefícios maior tende a ser a aversão ao risco e, conseqüentemente, maior a rejeição à tecnologia. (ARANTES et al., 2011).

Dentre os clássicos eventos transgênicos que passaram por uma análise de risco seguindo as etapas de avaliação conforme descrito acima e atualmente autorizados/listados pela Coordenação de Biossegurança de Organismos Geneticamente Modificados, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012) estão: 5 eventos com a cultura da soja (*Glycine max* L.), dentre elas a Soja GTS 40-3-2, comercialmente conhecida como soja RR, desenvolvida pela Monsanto, empregando transformação por bombardeamento de micropartículas objetivando introduzir-se o gene que confere tolerância ao glifosato; 18 eventos com a cultura do milho (*Zea mays* L.), com destaque para o milho NK603 (eventos MON89034-3 x MON 00603-6), obtido por biobalística com alterações observadas para resistência a lepidópteros e resistência ao glifosato, expressão constitutiva dos dois genes em toda a célula; 11 eventos com a cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), dentre eles o algodão MON531 resistente a insetos da ordem Lepidoptera, e suas células expressam uma parte da proteína inseticida Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* linhagem HD73 e; 1 evento com *Phaseolus vulgaris* L., o feijão Embrapa 5.1 (EMB-PV051-1), resistente ao vírus do mosaico dourado. Além desses eventos, outros com as culturas de cana-de-açúcar, citrus, eucalipto e arroz, estão liberados para experimentos a campo ainda em sistema de contenção (MAPA, 2010).

Já segundo Capalbo et al. (2009), os estudos de riscos ambientais têm se debruçado sobre: as características do transgene, as características da planta (fenótipo e genótipo) em que o transgene foi inserido e o ambiente onde essa planta será liberada; o fluxo de genes entre espécies distintas (fluxo gênico vertical) e entre gêneros distintos (fluxo gênico horizontal) e; o impacto dos organismos não-alvo em relação à tecnologia utilizada. A vantagem desses estudos é

que podem ser previamente estabelecidos através da aplicação de avançadas técnicas moleculares antes do material ir a campo, o que confere uma margem de segurança bastante sólida para o evento proposto.

Segundo Suzuki (2006), infelizmente a fiscalização necessária para o risco assumido continua pífia, por parte do Ministério da agricultura. De 626 liberações planejadas no meio ambiente até março de 2006 para as diferentes culturas, o número de inspeções, de acordo com o Ministério da Agricultura, chegou a, no máximo, 30. O que significa que nessa ocasião, a capacidade de fiscalização entre os órgãos responsáveis era de apenas 4,8%.

Para a pesquisadora Leila Macedo Oda, em uma entrevista concedida à Revista de Biotecnologia, encarte especial sobre Biossegurança, o problema de fiscalização é um dilema em todos os países do mundo e não é uma questão somente dos transgênicos (FERREIRA, 2001). Os percalços fiscais a serem enfrentados quanto ao plantio de OGMs, principalmente no que tange o meio ambiente, são os mesmos que rondam a preservação da biodiversidade e dos recursos naturais e genéticos por todo o mundo.

Para estabelecer os princípios científicos, 2010 foi escolhido como o Ano Internacional da Biodiversidade, com a 10ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), a COP 10, em Nagoya, no Japão. O objetivo da Convenção foi tratar de temas referentes não só à preservação da biodiversidade, mas também ao uso sustentável de seus componentes e o fomento da repartição dos benefícios oriundos da utilização dos recursos genéticos (LIMA, 2010). Em paralelo à COP10, ocorreu nesse mesmo ano a MOP5, reunião do Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança. A relação entre biodiversidade e biotecnologia é o foco desse protocolo. Na MOP5, as partes deverão adotar um regime de responsabilidade e compensação por danos que organismos geneticamente modificados vivos (OVMS) possam causar à

biodiversidade. O escopo do protocolo deve considerar um grão de soja ou de milho, bactérias e qualquer OVM que possa transferir ou replicar material genético.

Para o caso da soja tolerante ao glifosato, por exemplo, a CTNBio estabeleceu que áreas de plantio deveriam ser monitoradas por pelo menos cinco anos, quando a partir de uma modelagem experimental, previamente aprovada pela CTNBio, seria previsto o monitoramento com a participação inclusive de representantes da sociedade civil. Por isso, a pesquisadora que é atual presidente da ANBio (Associação Nacional de Biossegurança), ressalva que é importante fortalecer e descentralizar as ações fiscalizatórias que não são responsabilidade apenas do governo federal. Os estados e municípios devem ter programas sistemáticos de capacitação dos seus fiscais e de monitoramento da qualidade dos produtos e serviços oferecidos para a população, independentemente de serem transgênicos ou não.

Para contextualizar este tópico que abrange tantos saberes e interesses científicos, políticos, econômicos e sociais, é preciso reconhecer que, historicamente, a criação da Lei de Biossegurança e seu decreto regulamentador constituiu um marco regulatório fundamental que possibilitou agregar um conjunto de dispositivos jurídicos em diferentes áreas do direito (ambiental, sanitário, defesa do consumidor, civil, propriedade intelectual, administrativo e penal) para o Brasil e para o mundo. Enquanto parte desses dispositivos foram criados para convergir no sentido de explicitar os critérios e os parâmetros para a aprovação do uso comercial de OGM no país e de garantir os interesses das empresas requerentes (sigilo comercial), uma outra parte foi estabelecida para atender as necessidades de preservação do interesse público no sentido de viabilizar a transparência das avaliações e das decisões tomadas pelos membros da CTNBio, bem como de penalizar possíveis irregularidades adotadas pelos produtores da biotecnologia moderna.

Portanto, o que culmina nesta totalidade é que a bioética deve estar presente, balizando todo o desenvolvimento científico. O exercício da reflexão ética e moral possibilitam a oportunidade de que a aplicação de uma descoberta científica como os OGMs, por exemplo, possa trazer, de fato, reais benefícios para a humanidade e para o ambiente como parte da vida do homem. Nenhuma tecnologia assustou tanto como esta, pelo simples fato de estar manipulando o que sempre é considerado a essência da vida – a molécula de DNA. Nunca uma tecnologia foi tão discutida e avaliada. Talvez, se outras descobertas tivessem tido esse mesmo balizamento crítico social, muitos desastres e aplicações impróprias teriam sido evitadas. Certamente, a ética será o esteio para o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia em prol da humanidade. Segundo a Dra. Leila Macedo Oda em Ferreira (2001), um “Código de Ética de Manipulações Genéticas” deverá refletir o pensamento de uma sociedade e o que ela quer para, de fato, melhorar sua qualidade de vida e minimizar o seu sofrimento.

Bioética: fundamentos filosóficos

Atualmente, no âmbito agropecuário, as considerações que circundam o tema da aplicação da transgênese, são agrupadas em várias categorias que incluem, de forma ampla, além das preocupações com a inocuidade alimentar e segurança ambiental, as implicações éticas, culturais e de impacto socioeconômico (ANDRADE et al., 2012).

De fato, os OGM apresentam diversas características que podem criar entendimentos controversos diante dos diferentes segmentos da sociedade. Primeiro, como se trata de implantação de inovação, gera dúvidas quanto aos seus impactos a médio e longo prazo. Segundo, em muitos casos os benefícios ainda são mais amplamente percebidos pelos agricultores e por outros participantes

da cadeia produtiva, mas de baixa percepção pelos consumidores finais. Terceiro, em muitos países, como é o caso da União Europeia, o surgimento dos cultivos geneticamente modificados (GM) coincidiu com um período de erosão da confiança do público nas instituições responsáveis pelas avaliações de riscos (ARANTES et al., 2011). Quarto, a maioria dos cultivos GM produzidos atualmente foram desenvolvidos por empresas privadas do setor agroquímico, fato que ainda reforça a associação do risco dos cultivos GM como um risco imposto, portanto, não voluntário, por motivos econômicos.

Também é fato que pesquisas com humanos e animais, na tentativa de avaliar potenciais riscos alimentares de produtos GM, transcorrem por situações envolvendo temas como ética em pesquisas com animais e, para humanos, muitos impasses legais. Por exemplo, o “Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)”⁵. Ainda neste âmbito, outras questões legais, que não são bem assistidas pelas atuais normativas, implicam quem realmente deverá ser judicialmente responsabilizado em caso de acidentes relacionados aos principais riscos ambientais e alimentares, envolvendo OGMs, e como o judiciário irá tramitar esses processos a fim de realmente levar à sociedade resultados de fato punitivos e, se possível, que possam minimizar os danos causados pelo fato ocorrido.

Portanto, na construção da biossegurança, é possível identificar como área do conhecimento científico um lastro cognitivo que, historicamente, está associado aos processos que resultaram na

⁵ O **TCLE** é um documento que informa e esclarece o sujeito da pesquisa de maneira que ele possa tomar sua decisão de forma justa e sem constrangimentos sobre a sua participação em um projeto de pesquisa. É uma proteção legal e moral do pesquisador e do pesquisado, visto ambos estarem assumindo responsabilidades. Deve conter, de forma didática e bem resumida, as informações mais importantes do protocolo de pesquisa. Deve estar escrito em forma de convite e em linguagem acessível aos sujeitos daquela pesquisa. O pesquisador deve se garantir que o sujeito da pesquisa realmente consiga entender o que está escrito. Não tente esconder possíveis riscos e desconfortos. Outros detalhes podem ser encontrados no site <http://www.cep.ufam.edu.br/index.php/tcle>.

confirmação do que hoje se chama de “estruturas científicas e tecnológicas”, nas quais se apoiam as ciências da vida e suas possibilidades experimentais. Assim, é preciso compreender que biossegurança, bioética e ética são ciências cujas origens estão inter-relacionadas. A ética é uma ciência normativa que está consolidada nos valores e nas virtudes da existência de cada indivíduo. A biologia se relaciona à ciência dos fenômenos da vida em suas leis gerais. (GRANGE E ARANTES, 2005).

Nesse contexto, a bioética surge a partir da busca pela qualidade de vida da sociedade, sem detrimento à manutenção do ecossistema e esta, por sua vez, é a junção da bio-experimentação e da ética antropológica (SUZUKI, 2006).

O termo “bioética” foi empregado pela primeira vez no início dos anos 1970 pelo biólogo Van Rensseler Potter, da Universidade de Wisconsin, que se preocupou com o desenvolvimento desenfreado da ciência e com a preservação do equilíbrio entre o homem e o ecossistema, bem como suas possíveis repercussões para a vida humana. Assim, tornou-se necessário avaliar, sob diferentes pontos de vistas, os benefícios e riscos que a pesquisa pode apresentar para o sujeito e a sociedade, obrigando os projetos a passarem por comitês de ética para serem analisados (MARSICANO et al., 2008).

Atualmente a bioética tem sido considerada como o estudo sistemático das aplicações morais das ciências relacionadas à vida e à saúde. Os valores éticos são aplicados sobre todas as intervenções humanas que possam alterar sua integridade, o equilíbrio do meio ambiente e das formas de vida nele presente. (NICOLELLIS, 2006)

De acordo com a *Encyclopedia of Bioethics*, bioética é definida como um estudo sistemático da conduta humana no campo das ciências biológicas e de atenção à saúde, sendo essa conduta examinada através dos princípios morais. Mais amplo que a ética

médica, a bioética trata da vida do homem, da fauna e da flora. (VIEIRA, 1999).

Para Sgreccia (1996), no que concerne à bioética voltada ao meio ambiente, define-se ética aplicada ao ‘reino biológico’ àquela designada por um universo mais amplo comparado ao da medicina. A bioética relaciona-se com a ética tradicional, porém, incluindo problemas éticos de todas as profissões sanitárias; as pesquisas de comportamento; unindo os problemas sociais às políticas sanitárias, à medicina do trabalho, às políticas de controle demográfico, à saúde internacional; os problemas da vida animal e vegetal em relação à vida do homem.

Os avanços da biotecnologia e de outras ciências biológicas devem ser pautados em conhecimentos científicos e jurídicos, que por sua vez precisam ser construídos a partir de preceitos éticos e morais que conduzam todos os atores envolvidos nas tomadas de decisão a escolherem alternativas que contemplem acima dos interesses econômicos e políticos, o bem-estar do homem e do ambiente (PESSOA, 2009).

Com a Declaração do Rio de 1992, oriunda da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, surgiu a mais representativa formulação do Princípio da Precaução no Direito Internacional. No Princípio 15 dessa Declaração (UNITED NATIONS, 1992) fica estabelecido que: *De modo a proteger o meio ambiente, a abordagem precautória deve ser largamente aplicada pelos Estados de acordo com suas capacidades. Onde houver ameaça de dano sério ou irreversível, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como uma razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental.* Posteriormente a este, vários acordos internacionais passaram a adotar definições semelhantes para o Princípio da Precaução, e dentre estes a Convenção da Diversidade Biológica (BRASIL, 2000), que é ratificada pelo Brasil.

⁶Porém, em se tratando de OGMs, para além do tradicional princípio da precaução, atualmente, se faz necessário que outros princípios éticos façam parte do pensamento daqueles legalmente responsáveis pela regulamentação e controle do uso e liberação de produtos obtidos a partir da tecnologia do DNA recombinante. Nesse contexto vale a pena resgatar, dentre muitos, um filósofo da atualidade conhecido por Hans Jonas e sua teoria sobre a ética da responsabilidade. Nascido em 1903, em Mönchengladback, na Alemanha, esse estudioso de intensa vida intelectual aponta um caminho inovador dentro dos conceitos humanísticos que abrangem a relação homem-natureza.

Segundo Siqueira (2005), Hans Jonas aponta o sentimento de um possível apocalipse gradual decorrente do perigo crescente dos riscos do progresso técnico global e seu uso inadequado. Até então, o alcance das prescrições éticas reduzia-se ao âmbito da relação com o próximo no momento presente. Era uma ética antropocêntrica e voltada para a contemporaneidade. A moderna intervenção tecnológica mudou drasticamente essa plácida realidade, colocando a natureza para uso humano e passível de ser alterada radicalmente. Assim, para Jonas, o homem passou a manter com a natureza uma relação de responsabilidade, pois ela se encontra sob seu poder. Portanto, ele aponta em suas convicções, que é necessária uma nova proposição ética que contemple a natureza e não somente a pessoa humana e que esse novo poder da ação humana impõe alterações na própria natureza da ética.

Por fim, cabe aqui registrar que, certamente, o desenvolvimento científico e tecnológico, de modo particular, as

⁶ O princípio da precaução teve a sua gênese nos anos 70, no Direito Alemão, que já o adotava como fundamento das políticas ambientais nessa época. Posteriormente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972 e a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, impulsionaram a introdução do referido princípio nos debates internacionais sobre a proteção do meio ambiente. (CEZAR E ABRANTES, 2003).

experimentações no campo da genética deverão, constantemente, se propor a questionamentos científicos, éticos e morais para além das ações políticas e econômicas. Tal exercício deverá ser executado de tal que forma que a responsabilidade passe a ser uma pré-condição da moral, ou seja, é a disposição de assumir atos, de assumir responsabilidades.

Jonas refere-se, hoje, a uma *ética da responsabilidade futura*. Portanto, essa ética, que através do entendimento sobre os conceitos de homem, mundo e natureza, poderá ser compreendida a partir de dois deveres estabelecidos por Jonas. O primeiro o de existir que consiste em um dever para com a existência da humanidade futura, e o segundo dever que consiste no modo de ser da futura humanidade, na construção de novos hábitos e atitudes. Proporcionando, assim, um princípio gerador de reflexão, que poderá nos impulsionar para uma nova formação educacional, fundamentada sobre princípios éticos.

Considerações finais

Nos últimos 20 anos, a biotecnologia moderna vem tornando-se essencial para a agricultura, bem como para várias áreas da ciência. O Brasil, país rico em biodiversidade, grande *player* no mercado mundial de produtos agrícolas, tem garantido cada vez mais espaço no cenário internacional através de pesquisas no campo da genética e da genômica.

O crescimento demográfico é um dos principais responsáveis por uma demanda cada vez maior de alimentos, espaço e recursos. Essa expansão demográfica, aliada à preservação ambiental e à capacidade de suporte do planeta, não oferece alternativa a não ser a melhoria da produção agrícola dentro de um sistema sustentável.

A partir da descoberta da estrutura em espiral dupla do ácido desoxirribonucleico, em 1953, por James Watson e Francis Crick, e da revolução biotecnológica da década de 70, foram abertos novos caminhos que trouxeram importantes conquistas para a humanidade, como: o sequenciamento de genomas de animais, plantas e humanos; o tratamento de doenças a partir de células-tronco; e também os alimentos geneticamente modificados (transgênicos).

Quando se trata de OGMs, é inevitável não pensar em “biossegurança” e “bioética”, termos que estão diretamente envolvidos nos debates realizados por todo o mundo. Os OGMs apresentam diversas características que podem criar um comportamento de rejeição por parte do público, não só por ainda ser considerada uma técnica inovadora, gerando muitas dúvidas quanto aos seus impactos a longo prazo, mas também pelos seus principais benefícios conhecidos pela sociedade, serem percebidos, na sua maioria, apenas pelos agricultores e por alguns dos diferentes atores e organizações do setor agropecuário.

Diante das diversas pressões por parte de um mercado em plena expansão e dos temores de uma sociedade desinformada acerca das liberações dos OGMs, o Protocolo de Cartagena de Biossegurança foi a primeira iniciativa multilateral para regulamentar e regular o movimento internacional dos cultivos geneticamente modificados. Esse protocolo está fundamentado no princípio da precaução, também presente na declaração do Rio 92.

Ainda nesse caminho, recentemente, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, realizada em junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro, contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas. O objetivo da Conferência foi renovar o compromisso político com o desenvolvimento sustentável, incluindo as contribuições e receios e envolvendo os plantios de OGMs pelo Brasil e pelo mundo.

Atualmente, os temores da sociedade se relacionam com: a fidedignidade e clareza a cerca da informação comunicada sobre os OGMs com relação às suas funções e segurança ambiental e alimentar; a reformulação de normativas e leis, que já não atendem as atuais necessidades de análise e fiscalização e; a própria falta de fiscalização. Além do receio da população ter diminuído ao longo dos anos, à medida que a informação científica é divulgada, mesmo assim, a confiança neles ainda é preponderante.

Nesse contexto a bioética faz-se essencial como alicerce moral para os conceitos de biossegurança, pois através desses preceitos éticos poderá se permitir o exercício constante da reflexão diante das tecnologias GMs e de outras inovações que possam modificar a vida de indivíduos e do planeta como um todo. Através de princípios clássicos como o da precaução, e de modernos como o da responsabilidade, será possível construir-se normativas e leis que fomentem uma sociedade comprometida não só com o bem-estar imediato, mas com a construção de um futuro mais humano e sustentável.

As contribuições da agricultura moderna e suas tecnologias para a agricultura sustentável, sem dúvida, são de fundamental importância para a produção de alimentos. No Brasil, nos últimos 40 anos, as principais commodities tiveram aumento de cerca de três vezes em sua produtividade por área. Esse fato se deve principalmente ao uso de OGMs, o que significa uma maior produção com menos área e, conseqüentemente, menor aplicação de adubação química, entre outros.

Por outro lado, é preciso encarar a ciência e a tecnologia, dentro ou fora do setor do agronegócio, somente como uma das partes que se alvitra a propor um maior bem-estar à sociedade. Não se deve mais seguir com pensamentos de que esse setor da sociedade detém a verdade absoluta sobre a longevidade da vida como um todo, já que é sabido que ele todo perpassa por inúmeras questões para

além do domínio científico acerca da felicidade humana e da sobrevivência planetária.

Referências Bibliográficas

AMÂNCIO, M. C.; CALDAS, R. A. Biotecnologia no contexto da Convenção de Diversidade. *Biológica: análise da implementação do Art. 19 deste Acordo. Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Ed. UFPR, n. 22, p. 125-140, 2010.

ANDRADE, P. P.; PARROTT, W.; ROCA, M. M. Guia para a Avaliação do Risco Ambiental de Organismos Geneticamente Modificados Paulo Paes de Andrade, Wayne Parrott. -- 1.ed. -- São Paulo: **Internacional Life Sciences Institute do Brasil**, 2012.

ARAGÃO, F. J. L. **Organismos transgênicos: explicando e discutindo a tecnologia**. Barueri-SP: Manole, 2003.

ARANTES, O. M. N.; SILVIERA, J. M. F. J.; BORGES, I. de C.; CAPALBO, D. M. F.; SCHNEIDER, D. R. S.; GATTAZ, N. C.; LIMA, E. de S. Desenvolvimento de comunicação estratégica sobre biossegurança de plantas geneticamente modificadas – o caso do projeto LAC - Biosafety no Brasil. 33 p. **Boletim técnico - Documentos/Embrapa Meio Ambiente/85**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2011.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 22ª edição, Viçosa: Editora UFV, 1998, 453p.

BORÉM, A. MILACH, S. C. K. O melhoramento de plantas na virada do milênio. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento** - Encarte Especial. n. 07, p. 68-72, 1999.

- BORÉM, A. O impacto da biotecnologia na biodiversidade. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n.34, p.10-12, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção sobre diversidade biológica**. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/doc/cdbport.pdf>. Acesso em 19 de jan. 2013.
- CAMARA, M. C. C.; MARINHO, C. L. C.; GUILAM, M. C. R.; NODARI, R. O. Transgênicos: avaliação da possível (in)segurança alimentar através da produção científica. **História, Ciência, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.16, n.3, jul.-set. 2009, p.669-681.
- CAPALBO, D. M. F.; DUSI, A. N.; PIRES, C. S.; PAULA, D. P.; ARANTES, O. M. N.; MELO, I. S. OGM e Biossegurança Ambiental. In: COSTA, M. A. F. & COSTA, M. F. B. **Biossegurança de OGM (uma visão integrada)**. Rio de Janeiro: Publit, 2009.
- CEZAR, F. G.; ABRANTES, P. C. C. Princípio da precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 225-262, maio/ago. 2003.
- FERREIRA, L. T. Biossegurança no Brasil segue padrões científicos internacionais. Entrevista concedida por Leila Macedo Oda. **Biotecnologia & desenvolvimento**, ano III, nº18, janeiro/fevereiro de 2001.
- GRANGE, L.; ARANTES, Olívia M. N. Ética, ciência e sociedade: um resgate histórico. In: SIQUEIRA, J. E. (Org.). **Ética, ciência e responsabilidade**. São Paulo: Loyola, 2005. p. 13-64.
- HAGLER, L. C. M.; COBALPO, D. M. F.; ARANTES, O. M. N.; FONTES, E. M. G. Parte 1 - Biossegurança e bioética. Capítulo

- 1 - Panorama brasileiro de biossegurança e bioética. In.: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. de R. S.; STAMFORD, N. P. **Biotecnologia aplicada à agricultura : textos de apoio e protocolos experimentais**, Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica ; Recife, PE : Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), 2010. 761 p.
- JAMES, Clive. 2011. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. **ISAAA Brief**, n.43. ISAAA: Ithaca, NY.
- JONAS, Hans. **O Princípio Responsabilidade: Ensaio de uma ética para a civilização tecnológica**. Trad. bras.: Marijane Lisboa e Luiz Barros Montez. Rio de Janeiro, RJ. Ed.: PUC-Rio e Contraponto, 2006.
- LIMA, R. C. A., 2010. Biodiversidade e Biotecnologia. Portal do meio ambiente, Rede brasileira de informação ambiental. <http://www.portaldomeioambiente.org.br/editorias-editorias/meio-ambiente-natural/biodiversidade/4737-biodiversidade-e-biotecnologia>. Acesso em 09 de jan. 2013.
- MAPA, 2010. Boletim técnico: Biotecnologia na Agropecuária. Disponível em: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo**. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Qualidade e%20dos%20alimentos/biotecnologia_F.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Qualidade%20dos%20alimentos/biotecnologia_F.pdf). Acesso em 17 de jan. 2013.
- MAPA, 2012. Listagem de OGM autorizados no Brasil. Disponível em: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação de Biossegurança de Organismos Geneticamente Modificados**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/portal/pls/portal/!PORTAL.wwpob_page.show?_docname=1324452.PDF. Acesso em 17 de jan. 2013.

- MARSICANO, J. A.; RAMOS JUNIOR, E. S.; ASSUMPCÃO, T. S. SALES PERES, S. H. C.; SALES PERES, A. Pesquisa em seres humanos: aspectos médicos, jurídicos, psicológicos e religiosos. *Revista Gaúcha de Odontologia*, **RGO**, Porto Alegre, v. 56, n.3, p. 327-332, jul./set. 2008.
- MONQUERO, P. A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.517-531, 2005.
- NICOLELLIS, Paulo Cássio. **Alimentos transgênicos: questões atuais**. Rio de Janeiro: Forense, 2006.
- ODA, L. M.; SOARES, B. E. C.. Biotecnologia no Brasil: aceitabilidade pública e desenvolvimento econômico. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 10, p.162-173, mar. 2001.
- PESSOA, F. M. G. Bioética e direito penal: A questão dos Transgênicos. In: COSTA, M. A. F. & COSTA, M. F. B. **Biossegurança de OGM (uma visão integrada)**. Rio de Janeiro: Publit, 2009.
- RECH, E. Biotecnologia: aliada da ciência no combate à fome e na prevenção e erradicação de doenças. **Revista USP**, São Paulo, n.64, p. 122-131, dezembro/fevereiro 2004-2005.
- SCHOLZE, S. H. C.; Por que a pesquisa com transgênicos é importante para o Brasil? Aspectos científicos, econômicos e jurídicos. **Caderno de ciência & tecnologia**, Brasília, Abril. 2001.
- SGRECCIA, Elio. Manual de Bioética – fundamentos de ética e biomédica. São Paulo: Loyola, 1996. p. 686.
- SILVEIRA, J, M, S; Biotecnologia e Agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 2, p. 101-114, abr./jun. 2005.

SIQUEIRA, J. E. Ética e tecnociência: uma abordagem segundo o princípio da responsabilidade de Hans Jonas. In: SIQUEIRA, J. E. (Org.). **Ética, ciência e responsabilidade**. São Paulo: Loyola, 2005. p. 13-64.

SUZUKI, J. B. OGM: Aspectos polêmicos e a nova lei de biossegurança. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 10, n. 997, 25 mar. 2006. Disponível em: <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=8148>. Acesso em 17 de jan. 2013.

ROYAL SOCIETY, 2000. **Genetically modified plants for food use and human health-an update**. Policy document 4/02, February, 2002. Inland. (<http://www.oecd.org/oecd/pages/home/displaygeneral/o,3380,EN-document-52814-no-27-9461-528,ff.html>)

Perspectivas Sobre as Variedades Transgênicas

Wellington Silva Gomes¹ e Aluizio Borém²

Introdução

Desde os tempos mais remotos, o homem tem selecionado, naturalmente, alimentos que lhe são úteis ou interessantes para a sobrevivência, de modo a reproduzi-los em diferentes ambientes. Com essa prática, muitas características, oriundas dessas alterações, têm sido preservadas ao longo dos anos em muitos alimentos que hoje compõem a dieta alimentícia do homem. Foi a partir do início do século 20, no entanto, que o ser humano passou a utilizar seu conhecimento científico e tecnológico para explorar a variabilidade natural e a induzida artificialmente.

¹ *Biólogo, M.S. e D.S. e Pesquisador da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: wellington.gomes@ufv.br*

² *Engenheiro-Agrônomo, M.S., Ph.D. e Professor da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: borem@ufv.br*

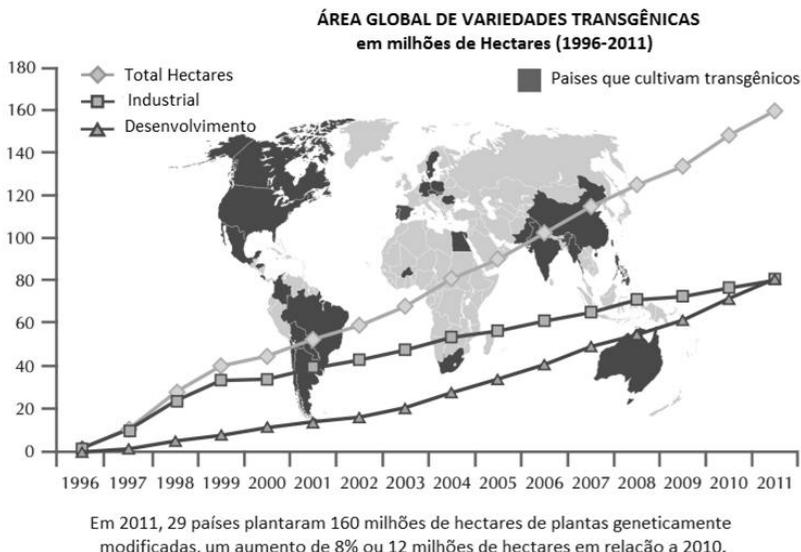
Atualmente, com os avanços da biotecnologia, o melhoramento de plantas conta com importantes ferramentas, como a engenharia genética aliada à cultura de tecidos. Com o advento dessas técnicas, os cientistas passaram a incorporar, nas espécies de interesse, genes oriundos de diferentes espécies vegetais, animais ou microrganismos, de forma controlada e independente dos cruzamentos, eliminando dessa forma, as barreiras filogenéticas entre organismos.

Com a adoção dessa tecnologia foi possível a obtenção de plantas com característica até então não identificadas em variedades convencionais, tais como: tomate com amadurecimento tardio; plantas de batata resistentes a viroses e a insetos; plantas de soja, algodão e milho resistentes a insetos e a herbicidas; flores ornamentais com novos padrões de expressão; e plantas de arroz com elevado teor de betacaroteno, precursor de vitamina A.

Apesar das polêmicas que norteiam a comercialização dos transgênicos, o Brasil é o país em que a área cultivada com transgênicos mais cresce no mundo. Por ser o Brasil um país com boa parte da economia relacionada à agropecuária, a produção de produtos biotecnológicos tem sido um fator que tem proporcionado crescimento ao PIB.

Comercialização de Variedades Transgênicas no Mundo

A comercialização de plantas transgênicas foi um dos maiores marcos da biotecnologia nos últimos anos. As primeiras plantas transgênicas foram geradas no início da década de 1980 e sua comercialização iniciou-se a partir de 1994. Em praticamente 20 anos, a área global de cultivos de GMs alcançou 160 milhões de hectares em 2011. Atualmente, 29 países adotam o plantio de lavouras GM, incluindo 19 países em desenvolvimento e 10 países industrializados (JAMES, 2011) (Figura 1).



Fonte: Clive James, 2011.

Figura 1. Área Global dos países produtores de variedades de plantas geneticamente modificadas em 2011.

Os Estados Unidos são, atualmente, o país com a maior área de transgênicos no mundo. Em 2011, foram plantados mais de 69 milhões de variedades transgênicas no país. O Brasil e a Argentina, segundo e terceiro países com maior área de transgênicos, plantaram respectivamente 30,3 e 23,7 milhões de hectares. Esses três países contribuíram com 77% da área plantada com cultivares GM no mundo (JAMES, 2011). Mais da metade da população mundial, cerca de 60% ou 4 bilhões de pessoas, vivem em um dos 29 países que cultivam culturas biotecnológicas (Tabela 1).

Tabela 1. Área Global de Culturas Transgênicas em 2011: por País (Milhões de Hectares).

Ordem	País	Área	Espécies
1	USA*	69,0	Milho, soja, algodão, canola, beterraba, alfafa, mamão e abóbora
2	Brasil*	30,3	Milho, soja e algodão
3	Argentina*	23,7	Milho, soja e algodão
4	Índia*	10,6	Algodão
5	Canadá*	10,4	Milho, soja, canola e beterraba
6	China*	3,9	Algodão, mamão, álamo, tomate e pimentão
7	Paraguai*	2,8	Soja
8	Paquistão*	2,6	Algodão
9	África do Sul*	2,3	Milho, soja e algodão
10	Uruguai*	1,3	Milho e soja
11	Bolívia*	0,9	Soja
12	Austrália*	0,7	Algodão e canola
13	Filipinas*	0,6	Milho
14	Mianmar *	0,3	Algodão
15	Burquina Faso*	0,3	Algodão
16	México*	0,2	Soja e Algodão
17	Espanha*	0,1	Milho
18	Colômbia	<0,1	Algodão
19	Chile	<0,1	Milho, soja e canola
20	Honduras	<0,1	Milho
21	Portugal	<0,1	Milho
22	República Tcheca	<0,1	Milho
23	Polônia	<0,1	Milho
24	Egito	<0,1	Milho
25	Eslováquia	<0,1	Milho
26	Romênia	<0,1	Milho

27	Suécia	<0,1	Batata
28	Costa Rica	<0,1	Soja e Algodão
29	Alemanha	<0,1	Batata
Total		160	

*17 Mega-países cultivam transgênicos em uma área maior ou igual a 50.000 hectares. Fonte: Clive James, 2011.

A soja é a variedade transgênica mais cultivada no mundo, ocupando cerca de 75,4 milhões de hectares, o que representa 47% da área global de cultivos transgênicos. Em segundo lugar, encontra-se o milho (51 milhões de hectares, 32%), seguido pelo algodão (24,2 milhões de hectares, 15%) e a canola (8,2 milhões de hectares, 5%). As características agrônômicas mais introduzidas em variedades transgênicas são a tolerância a herbicidas, resistência a insetos ou as duas características combinadas, que representam 59%, 15% e 26%, respectivamente, da área plantada mundialmente (JAMES, 2011).

O Brasil está emergindo como um líder global em culturas biotecnológicas. Pelo terceiro ano consecutivo, o país foi o motor do crescimento global em 2011, aumentando sua área plantada mais do que qualquer outro país no mundo, com um aumento recorde de 4,9 milhões hectares, em relação a 2010, o que equivale ao incremento de 20% e representando 19% da área global de cultivo de transgênicos. Um sistema de aprovação rápida adotado pelo governo (CTNBio) permitiu que o Brasil aprovasse oito eventos de transgenia em 2010 e, em 15 de outubro de 2011, um adicional de 6 eventos foram aprovados em 2011. O Brasil aprovou, também, a soja com resistência a insetos e tolerância a herbicidas para comercialização em 2012.

Apesar de o Brasil importar praticamente todos os eventos transgênicos inseridos nas variedades locais, uma variedade GM

genuinamente brasileira foi desenvolvida por Aragão e Faria (2009). Trata-se do feijão (*Phaseolus vulgaris*) resistente ao vírus do mosaico-dourado do feijoeiro (*Bean golden mosaic virus* – gênero *Begomovirus*) o qual, pode acarretar a perdas de 40 a 85% da produção de grãos, quando a doença se instala. Para desenvolvê-lo, a transformação genética foi realizada por meio da utilização de um fragmento não-traduzível do gene viral que codifica a proteína iniciadora da replicação (rep ou AC1) (estratégia de RNA interferente – RNAi). Os resultados mostraram que as linhagens transgênicas expressando o RNA derivado do transgene (que não é traduzível e, portanto, não leva à produção de proteína) apresentaram atraso e atenuação nos sintomas de mosaico-dourado como consequência da ativação dos mecanismos do silenciamento gênico pós-transcricional (Figura 2).

O pedido de liberação para a comercialização da cultivar desenvolvida pela Embrapa, foi concedida em 2011. De acordo com o Parecer Técnico n. 3024/2011 da CTNBIO, a nova cultivar foi considerada, substancialmente, equivalente ao feijão convencional, sendo seu consumo seguro para a saúde humana e animal, bem como, não foi considerado potencialmente causador de degradação do meio ambiente, apresentando padrão idêntico ao feijão convencional. Tal liberação consistiu-se, também, do primeiro caso de cultivar GM liberado comercialmente no Brasil com uma característica distinta da tolerância a herbicidas ou resistência a insetos. Embora já existam outros casos de cultivares GMs resistentes a vírus em outros países, trata-se do primeiro caso de resistência a vírus do gênero *Begomovirus*, um dos mais importantes economicamente. A liberação comercial do feijoeiro GM Embrapa 5.1 constituiu um marco na biotecnologia brasileira.

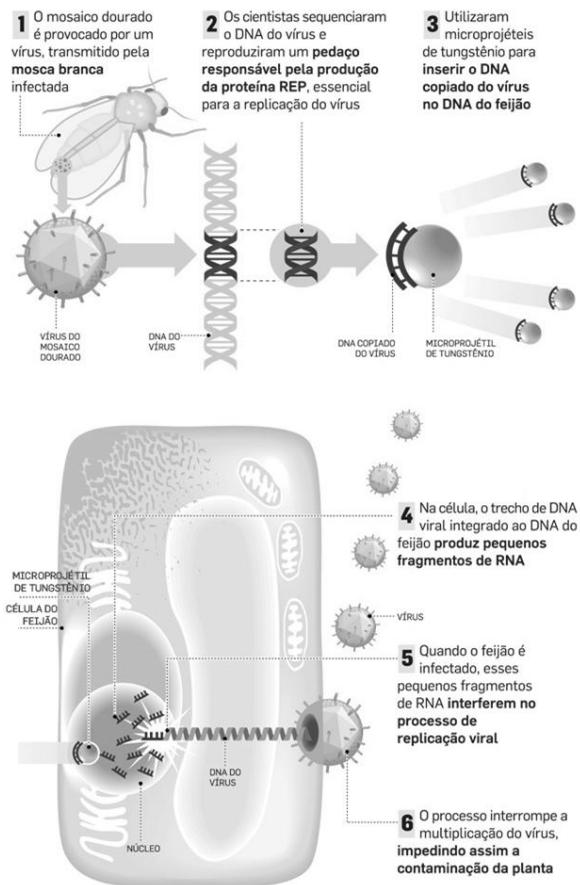


Figura 2. Processo simplificado do procedimento utilizado para o desenvolvimento do feijão transgênico pela Embrapa.
 Fonte: Embrapa, 2012

Contribuição das Variedades Transgênicas

Após quase duas décadas do cultivo de plantas transgênicas no mundo, os resultados indicam que os benefícios ambientais são mais evidentes que os improváveis riscos. O impacto positivo envolve desde o aprimoramento das práticas de cultivo, a redução da quantidade e melhoria na qualidade dos produtos agrícolas, o aumento da renda dos produtores e conseqüente economia dos países que adotaram a biotecnologia.

Segundo o relatório do Serviço Internacional para a Aquisição de Aplicações em Agrobiotecnologia (ISAAA), sobre a situação global das culturas GM comercializadas em 2011, os transgênicos têm contribuído para a sustentabilidade mundial de cinco formas básicas:

- 1. Contribuindo para a segurança alimentar pela produção de alimentos mais acessíveis, devido ao aumento da produtividade e maiores benefícios econômicos para o agricultor.**

A nível mundial, US\$78 bilhões foram gerados pelo plantio de culturas transgênicas durante o período de quinze anos de 1996-2010, dos quais 40% foram devido à redução dos custos de produção (menor preparo do solo, menor utilização de pesticidas e menor gasto com mão-de-obra) e 60% a ganhos substanciais de rendimento (276 milhões de toneladas). Em apenas 2010, os ganhos foram de 76% devido ao maior rendimento (equivalente a 44,1 milhões de toneladas), e 24%, ao menor custo de produção (BROOKES E BARFOOT, 2012).

2. Conservação da biodiversidade, uma vez que, as culturas biotecnológicas são uma tecnologia de poupança de terra.

As variedades transgênicas têm o mesmo potencial produtivo em relação às suas correspondentes não geneticamente modificadas, mas representam uma nova opção tecnológica para os agricultores, com possibilidade de redução dos custos de produção, menor utilização de insumos e maior proteção ao meio ambiente. Uma vez que nas lavouras transgênicas há menos perda, a produtividade de uma variedade geneticamente modificada pode ser maior e, portanto, é necessário uma área de cultivo menor para obter a mesma produtividade, comparada às variedades convencionais. Aproximadamente 13 milhões de hectares de biodiversidade, como florestas tropicais, são perdidos, anualmente, nos países em desenvolvimento para a abertura de novas fronteiras agrícolas. Se os 276 milhões de toneladas adicionais de alimentos, rações e fibras produzidas durante o período de 1996 a 2010 não tivessem sido desenvolvidas por variedades transgênicas, um adicional de 91 milhões de hectares de culturas convencionais teriam sido necessários para produzir a mesma quantidade de alimentos (BROOKES E BARFOOT, 2012). Alguns dos 91 milhões de hectares adicionais provavelmente teriam exigido solos marginais, como a floresta tropical o que ocasionaria sua derrubada a fim de abrir caminho para a agricultura com a destruição da biodiversidade.

3. Contribuição para a redução da pobreza e da fome.

Até a data presente, o algodão biotecnológico nos países em desenvolvimento, como China, Índia, Paquistão, Mianmar, Bolívia, Burkina Faso e África do Sul já tiveram uma contribuição significativa para a renda de aproximadamente 15 milhões de pequenos agricultores em 2011, o que pode ser melhorado, significativamente, nos últimos 4 anos da segunda década de

comercialização (2012-2015), principalmente com o algodão transgênico, o milho e o arroz.

4. Redução do *Footprint* ambiental da agricultura.

O termo *Footprint* é originário do conceito *Ecological Footprint* (ou Pegada Ecológica). Sua finalidade é medir as necessidades da humanidade por recursos naturais, incluindo uso da terra, a biodiversidade, a água e o ar. Quando aplicado a empresas, refere-se aos recursos naturais empregados por uma organização para viabilizar suas operações, incluindo insumos, água, terra, florestas, energia, geração de resíduos, etc.

A agricultura convencional tem tido impacto significativo sobre o meio ambiente e a biotecnologia pode ser usada para reduzir o *Footprint* ambiental da agricultura. O cultivo de organismos geneticamente modificados têm provocado uma redução significativa da utilização de pesticidas, dos combustíveis fósseis e, na emissão de CO₂ através da não e/ou menor aração e conservação do solo e umidade, otimizando a prática do plantio direto através da tolerância a herbicidas. A redução acumulada de pesticidas no período de 1996 a 2010 foi estimada em 443 milhões quilogramas (kg) de ingrediente ativo (ia), uma economia de 9,1%, o que equivale a uma redução de 17,9% no impacto ambiental associado ao uso do pesticida, conforme medido pelo Quociente de Impacto ambiental (EIQ) - uma medida composta baseada em diversos fatores que contribuem para o impacto ambiental líquido de um ingrediente ativo. Os dados indicam que, em apenas 2010, houve uma redução de 43,2 milhões de kg de ia (equivalente a uma economia de 11,1% em pesticidas) e uma redução de 26,1% no EIQ (BROOKES E BARFOOT, 2012).

Aumento da eficiência do uso da água, importante meio para a conservação e disponibilidade de água no mundo.

Setenta por cento de toda água potável utilizada no mundo é atualmente empregada na agricultura e isso, obviamente, não será sustentável no futuro próximo, com a população de aproximadamente 9 bilhões em 2050. Os primeiros híbridos de milho transgênico, com tolerância à seca, serão comercializados em 2013 nos EUA, e na América Latina os primeiros híbridos de milho e soja são esperados para 2015. Tolerância à seca deverá ter um grande impacto sobre os sistemas de cultivo mais sustentáveis em todo o mundo, particularmente nos países em desenvolvimento, onde a seca é mais prevalente e severa do que nos países industrializados.

5. Redução de gases de efeito estufa, atendendo aos desafios das mudanças climáticas

As preocupações mais importantes e urgentes com relação ao meio ambiente têm implicações no contexto das culturas biotecnológicas, que contribuem para a redução de gases de efeito estufa e na ajuda a mitigar os efeitos da mudança climática, de duas maneiras principais. Primeiro, na economia permanente de dióxido de carbono (CO₂), através do uso reduzido de combustíveis fósseis, associados à menor utilização de pulverizadores de inseticidas e herbicidas, que em 2010, foi estimada em 1,7 bilhões de quilos de CO₂, equivalente à retirada de 800 mil carros da estrada. Em segundo lugar, a maior conservação dos solos (necessidade de menor aração), provocou a redução de 17,6 bilhões kg de CO₂, o equivalente à remoção de 7,9 milhões de carros fora da estrada. Assim, em 2010, a economia de gás carbônico com a utilização de plantas geneticamente modificadas foi de 19 bilhões de kg de CO₂,

equivalente a remoção de 9 milhões de carros da estrada (BROOKES E BARFOOT, 2012).

Plantas Geneticamente Modificadas no Brasil: progresso, desafios e potencial

Apesar de o Brasil ser o segundo maior produtor mundial de plantas geneticamente modificadas, as discussões em torno dos transgênicos ainda é grande, e foi considerado um dos últimos grandes debates do século XX. A polêmica em torno dos transgênicos instaurou-se no Brasil em 1998, quando foi registrado um pedido de liberação para plantio comercial da soja Roundup Ready, desenvolvida pela Monsanto por meio de transgenia.

Em fevereiro de 1999, o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente) ingressa na ação movida pelo Idec e Greenpeace pela necessidade da apresentação dos Estudos de Impacto Ambiental EIA- RIMA. Em junho de 1999, o juiz Antônio Prudente concede liminar impedindo a comercialização das cultivares RR até que o governo federal definisse as regras de segurança, rotulagem e comercialização e que fosse apresentado um estudo de impacto ambiental.

Entretanto, em fevereiro de 2002, apesar da liminar que determinava a interrupção do plantio da soja transgênica, a juíza Selene de Almeida, relatora do processo que corria na 5ª Turma do Tribunal Regional Federal, concedeu voto favorável à suspensão da liminar concedida em 1999, alegando que a liberação pela CTNBio foi baseada em estudos técnicos e que a comissão provou que não haveriam riscos à saúde e ao meio ambiente. A CTNBio emitiu parecer favorável ao pedido da Monsanto, alegando que a população, do ponto de vista da biossegurança, não tinha o que temer e que outros aspectos de licenciamento ficariam, a partir de então, a critério do Ministério da Agricultura, que aprovou, por sua vez, em junho de

1999, o cultivo comercial de cinco variedades transgênicas de soja, desenvolvidas, na época, pela empresa Monsoy Ltda., ligada à Monsanto.

A batalha jurídica apenas encerrou-se no dia 24 de março de 2005, data em que foi sancionada a Lei de Biossegurança, que estabelecia normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados. A Lei buscava contemplar o estímulo ao avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal, vegetal e, a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente. Além de criar regras gerais sobre as pesquisas em biotecnologia no Brasil, a lei criou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), que passou a ser responsável por toda regulação do setor de biotecnologia.

Após a aprovação da Lei de Biossegurança, a plantação de transgênicos no Brasil cresceu. Em abril de 2005, um mês após a lei ter sido sancionada, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) passou a oferecer aos produtores de soja 11 variedades de sementes geneticamente modificadas adaptadas às várias áreas de plantio do país. As novas variedades foram desenvolvidas em cooperação técnica com a Monsanto, que teve seu plantio e comercialização autorizados pela CTNBio.

Dois anos após a definitiva liberação do cultivo de transgênicos (2007), o Brasil já cultivava 3,5 milhões de hectares na área plantada apenas com soja geneticamente modificada. Tratava-se, assim, segundo dados do Serviço Internacional para a Aquisição de Aplicações em Agrobiotecnologia, do maior aumento nominal registrado em culturas de transgênicos no mundo (JAMES, 2007).

O Brasil liderou pelo terceiro ano consecutivo a expansão do plantio de transgênicos. Em 2011, a área de soja que utilizava sementes transgênicas no país chegou a 20,6 milhões de hectares (82,7% do total da produção nacional da cultura), devendo atingir 243,6 milhões de hectares na temporada 2012/13, ou quase 90% da área total semeada com a oleaginosa; a de milho 9,1 milhões de hectares (64,9% do total da produção nacional da cultura) e a de algodão 0,6 milhões de hectares (39% do total da produção nacional de cultura).

O começo da história dos transgênicos no país, no entanto, foi tumultuado. No final dos anos 1990, produtores da região Sul iniciaram o cultivo de soja transgênica contrabandeada da Argentina, porém, a questão ainda não era regulamentada na época. A comercialização dessa soja só foi autorizada por medida provisória em 2003.

A Lei de Biossegurança (11.105/05), aprovada pelo Congresso em 2005, representou o fim da polêmica em torno do assunto. Além de criar regras gerais sobre as pesquisas em biotecnologia no Brasil, a lei criou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), que passou a ser responsável por toda regulação do setor de biotecnologia.

Desde a criação da CTNBio, cerca de 60 organismos geneticamente modificados, dos quais 40 são plantas, foram liberados para a comercialização. Segundo membros da CTNBio, as regras de liberação desses organismos no país estão entre as mais rigorosas do mundo. As alterações genéticas realizadas nas plantas disponíveis no mercado, atualmente, quase sempre têm como objetivo torná-las mais resistentes, seja a agrotóxicos, a pragas ou às intempéries climáticas (Tabela 2).

Tabela 2. Cultivares de Organismos Geneticamente Modificados de Plantas analisados pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e liberados para uso comercial no Brasil.

A. Milho

Requerente	Parecer Técnico/ano	Designação do OGM	Gene	Característica inserida
Bayer S.A.	0987/2007	Liberty Link	<i>Pat</i>	Tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	1100/2007	Guardian	<i>cry1Ab</i>	Resistência a insetos
Syngenta Seeds Ltda.	1255/2008	Bt11	<i>Btk</i> e <i>Pat</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Syngenta Seeds Ltda.	1597/2008	GA21	<i>mepsps</i>	Tolerância ao glifosato
Dow Agrosiences Ltda. e Du Pont do Brasil S.A.	1679/2008	Herculex	<i>cry1F</i> e <i>Pat</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	1596/2008	Roundup Ready 2	<i>cp4 epsps</i>	Tolerância ao glifosato
Syngenta Seeds Ltda.	2040/2009	Bt11 x GA21	<i>Btki</i> , <i>Pat</i> e <i>mepsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	2041/2009	MON810 x NK603	<i>cry1Ab</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Syngenta Seeds Ltda.	2042/2009	MIR162	<i>vip3Aa20</i>	Resistência a insetos
Monsanto do Brasil Ltda.	2052/2009	MON89034	<i>cry1A.10 5</i> e <i>cry2Ab2</i>	Resistência a insetos

Du Pont do Brasil S.A.	2053/2009	TC1507 x NK603	<i>cry1F</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Syngenta Seeds Ltda.	2722/2010	Bt11xMIR162XGA21	<i>Btk</i> , <i>Pat</i> , <i>vip3a20</i> e <i>mepsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	2725/2010	MON89034 x NK603	<i>cry1A.105</i> , <i>cry2Ab2</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	2764/2010	MON 88017	<i>cry3Bb1</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	2753/2010	TC1507 x MON810 x NK603	<i>cry1F</i> , <i>Pat</i> , <i>cry1Ab</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Du Pont do Brasil S.A.	3021/2011	TC1507 x MON810	<i>cry1F</i> , <i>Pat</i> e <i>cry1Ab</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	3045/2011	MON89034 x MON88017	<i>cry1A.105</i> , <i>cry2Ab2</i> , <i>cry3Bb1</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Du Pont do Brasil S.A.	2955/2011	TC1507 x MON810 x NK603	<i>cry1F</i> , <i>Pat</i> , <i>cry1Ab</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
Du Pont do Brasil S.A.	3021/2011	TC1507 x MON810	<i>cry1F</i> e <i>pat</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato

Monsanto do Brasil Ltda.	3045/2011	MON 89034 × MON 88017	<i>Cry1Ab</i> , <i>Cry1Ac</i> e <i>Cry1F</i>) e <i>Cry2Ab2</i>	Resistência a insetos e tolerância ao glifosato
--------------------------	-----------	-----------------------	-----------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------

B. Algodão

Requerente	Parecer Técnico/ano	Designação do OGM	Gene	Característica inserida
Monsanto do Brasil Ltda.	513/2005	Bollgard	<i>cry1Ac</i>	Resistência a insetos-alvo
Bayer S.A.	1521/2008	Liberty Link	<i>Pat</i>	Tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	1598/2008	Roundup Ready	<i>cp4 epsps</i>	Tolerância ao glifosato
Dow AgroSciences Ltda.	1757/2009	WideStrike	<i>cry1Ac</i> , <i>cry1F</i> e <i>Pat</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	1832/2009	Bollgard	<i>cry1Ac</i> e <i>cry2Ab2</i>	Resistência a insetos-alvo
Monsanto do Brasil Ltda.	2051/2009	MON531 x MON1445	<i>cry1Ac</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
Bayer S.A.	2754/2010	GlyTol	<i>2mepsps</i>	Tolerância ao glifosato
Bayer S.A.	2795/2011	TwinLink	<i>cry1Ab</i> e <i>cry2Ae</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda	2956/2011	MON	<i>cp4 epsps</i>	Tolerância ao glifosato
Bayer S.A.	3286/2012	GlyTol x TwinLink	<i>2mepsps</i> , <i>bar</i> , <i>cry1Ab</i> e <i>cry2Ae</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
Bayer S.A.	3290/2012	GlyTol x LibertyLink (GTxLL)	<i>2mepsps</i> e <i>bar</i>	Tolerância ao glifosato

Monsanto do Brasil Ltda.	3365/2012	MON 15985 x MON 88913	<i>cry1Ac</i> e <i>cry2Ab2</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato
--------------------------	-----------	-----------------------	--------------------------------	------------------------------------------------------

C. Soja

Requerente	Parecer Técnico/ano	Designação do OGM	Gene	Característica inserida
Monsanto do Brasil Ltda.	54/1998	Roundup Ready	<i>p4 epsps</i>	Tolerância ao glifosato
BASF S.A. e Embrapa Soja	2236/2009	CV127	<i>csr1-2</i>	Tolerância a herbicidas do grupo das imidazolinonas
Bayer S.A.	2273/2010	Liberty Link	<i>Pat</i>	Tolerância ao glifosato
Bayer S.A.	2286/2010	Liberty Link	<i>Pat</i>	Tolerância ao glifosato
Monsanto do Brasil Ltda.	2542/2010	MON87701 x MON89788	<i>cry1Ac</i> e <i>cp4 epsps</i>	Resistência a insetos-alvo e tolerância ao glifosato

D. Feijão

Requerente	Parecer Técnico/ano	Designação do OGM	Gene	Característica inserida
Embrapa	3024/2011	Embrapa 5.1	<i>Rep (AC1)</i>	Resistência ao vírus do mosaico-dourado do feijoeiro (<i>Bean golden mosaic virus</i> - BGMV)

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a maior desenvolvedora de pesquisas agropecuárias no país, começou a investir em pesquisas biotecnológicas na década de 80. A primeira equipe de pesquisadores que iniciou as pesquisas com clonagem de genes e desenvolvimento de tecnologias para obtenção de plantas transgênicas pertencia à Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, localizada em Brasília.

No presente momento, vários laboratórios no Brasil estão trabalhando com plantas geneticamente modificadas, incluindo diferentes centros de pesquisa da Embrapa e universidades federais e estaduais, além de empresas privadas. E, conforme a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), há 114 instituições públicas credenciadas para trabalhos com organismos geneticamente modificados (OGMs) no Brasil. Do setor privado, são 75 empresas, além de duas cooperativas.

O Brasil desenvolve dezenas de pesquisas com plantas transgênicas. Instituições públicas e privadas estão empenhadas em promover transformações em diferentes espécies de importância socioeconômica para o país, como: soja, alface, algodão, feijão, batata, tomate, mamão, milho e eucalipto. Nessas culturas estão sendo introduzidos genes que irão conferir características como resistência a pragas e doenças, tolerância a herbicidas, amadurecimento tardio de frutos, aumento do teor nutricional, entre outras.

A seguir, alguns exemplos de variedades transgênicas em fase de desenvolvimento no país.

Alface

A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia está investindo na produção de alface transgênica, com quantidade de

ácido fólico 15 vezes maior que a variedade comercial, garantindo o consumo diário de maneira fácil e econômica e a prevenção de doenças relacionadas à carência do nutriente (NUNES, 2009).

A unidade também está desenvolvendo, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), uma planta-vacina transgênica para combater a leishmaniose, uma doença infecciosa causada pelo protozoário do gênero *Leishmania*. Essa tecnologia consiste na introdução do gene que codifica a proteína Lack (antígeno da leishmaniose) em plantas de alface e tem como objetivo fazer com que as pessoas se tornem imunes à enfermidade com a simples ingestão da hortaliça (SOUZA, 2012).

Em parceria entre a Universidade de Brasília, a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e a Fiocruz, uma pesquisa pretende utilizar plantas transgênicas de alface para diagnosticar o vírus da dengue. A ideia é produzir um kit de diagnóstico mais econômico e eficiente para agilizar a detecção da doença pela rede pública de saúde no Brasil (EMBRAPA, 2011).

Por último, uma alface transgênica, contendo um gene para resistência ao fungo *Sclerotinia*, responsável por uma doença conhecida como mofo branco, que ataca de forma bastante nociva o feijão, a soja, entre outras 60 culturas agrícolas, foi desenvolvida pela Embrapa (DIAS, 2006).

Batata

A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em parceria com a Embrapa Hortaliças, Universidade Federal de Pelotas, o Instituto de Ingeniería Genética Y Biotecnologia (Ingeb, da Argentina), e o Centro Brasileiro-Argentino de Biotecnologia, desenvolveram variedades transgênicas resistentes aos vírus de PLRV (*Potato leafroll virus*) e PVY (*Potato vírus Y*), ou vírus do

enrolamento das folhas, como é mais conhecido. Ambos provocam a redução do porte da planta e do tamanho das folhas e, quando estão juntos, são capazes de causar 100% de perdas na produção (TORRES, 1999).

Mamão

A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em parceria com a Embrapa Mandioca e Fruticultura, desenvolveu plantas transgênicas de mamão resistentes ao vírus da mancha anelar (*Papaya ringspot virus* - PRSV). O vírus é considerado o pior inimigo da cultura de mamão a nível mundial. Além de reduzir o tamanho das folhas, diminui também a capacidade de fotossíntese das plantas, levando à redução de seu crescimento e, conseqüentemente, a perdas significativas na produção.

A primeira planta de mamão resistente ao vírus da mancha anelar surgiu no início da década de 90, no Havaí. A diferença entre o mamão transgênico havaiano e o da Embrapa, é que o primeiro só é resistente ao vírus encontrado no Havaí. Assim, estratégia utilizada foi transformar os mamoeiros com um gene da própria estirpe encontrada no Brasil (SOUZA JÚNIOR et al., 2005).

Tomate

Empresas brasileiras estão iniciando pesquisas de transformação genética para tornar o tomate resistente ao grupo dos geminivírus, uma das piores pragas dessa cultura que tem inviabilizado o seu cultivo em várias regiões brasileiras. O gene já foi isolado e a pesquisa encontra-se na fase de construção de vetores.

Soja

Além das variedades de soja transgênica para resistência a herbicidas, atualmente comercializadas sob parceria com a iniciativa privada, a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em parceria com a Embrapa Soja, vem desenvolvendo outras pesquisas para o desenvolvimento de variedades para várias características importantes.

Tolerância a insetos

A Embrapa Soja construiu novos espaços que permitem pesquisas com até três tipos de transgênicos não-desregulamentados (ainda em fase de pesquisa), simultaneamente. Uma dessas pesquisas da Embrapa envolve trabalhos com os genes RR2 e *Bt*, pertencentes à Monsanto, e que conferem à soja resistência a herbicida (Glifosato) e também a insetos.

Tolerância à seca

O desenvolvimento de soja transgênica tolerante à seca é outro foco das pesquisas que a Embrapa conduz com o *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* (Jircas), empresa de pesquisa vinculada ao governo japonês. O gene BREB, patentado pelo Jircas, foi transferido para a Embrapa que o introduziu em uma cultivar de soja brasileira sensível à seca, a qual obteve 10% de aumento na tolerância à seca (GLOBO RURAL, 2010). O objetivo é produzir plantas que resistam ao período de duração da chamada “seca verde”, entre três e quatro meses. O gene já foi testado em tabaco (que é uma planta-teste nas pesquisas de transformação genética) e mostrou excelentes resultados, fazendo com que a planta se desenvolvesse normalmente durante quatro meses sem água.

A Embrapa está firmando uma parceria com a Universidade Federal do Ceará para introdução desse gene no feijão de corda, espécie de extrema importância socioeconômica para a região nordeste. A parceria prevê a presença de um pesquisador da universidade na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia para estudar as técnicas de transformação de plantas. Se for viável, a tecnologia será estendida a outras culturas agrícolas que sofrem com o fenômeno da seca e com os “veranicos”, que atingem várias regiões do Brasil.

Soja sem fitato

Outra novidade nas pesquisas realizadas no Brasil, em termos de soja transgênica, é a retirada de um fator antinutricional denominado fitato, que também é encontrado no feijão. O fitato é um composto orgânico que, entre outros fatores, imobiliza o fósforo, fazendo com que não seja aproveitado na alimentação.

A retirada do fitato, de acordo com os pesquisadores, vai beneficiar também o meio ambiente, através da redução do teor de fósforo encontrado nas fezes de frangos e suínos, que é um dos fatores de contaminação. As plantas transgênicas de soja sem o fitato já estão sendo geradas e a idéia é estender essa tecnologia para as plantas de feijão (NUNES, 2006).

Produtos farmacêuticos na soja

Além do desenvolvimento de variedades alimentícias transgênicas, instituições brasileiras estão trabalhando na segunda geração de transgênicos. Procuram aumentar a qualidade nutricional de plantas ou transformá-las em fábricas produtoras de substâncias de interesse farmacêutico. O desenvolvimento de plantas transgênicas de soja com o hormônio do crescimento, bem como de

insulina, poderá baratear os custos de isolamento e purificação de substâncias úteis para a saúde humana. Além disso, os pesquisadores estão introduzindo em plantas de soja um gene de um anticorpo, que pode ser eficaz na prevenção de vários tipos de câncer. Os genes já foram inseridos e a equipe já tem sementes transformadas, que estão sendo testadas (D'AMBROSIO, 2010).

Cana-de-açúcar

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), busca desenvolver variedades geneticamente modificadas de cana-de-açúcar, com maior tolerância a seca. A descoberta é importante para o setor, já que as perdas nos canaviais podem variar entre 10% e 50% em decorrência da seca, dependendo da região e da época de plantio. A Embrapa Agroenergia (Brasília/DF) obteve as primeiras plantas transgênicas confirmadas de cana-de-açúcar tolerante à seca com o gene DREB2A. O objetivo é desenvolver cultivares comerciais com maior tolerância à seca, o que poderá potencializar o setor sucroalcooleiro nas áreas tradicionais e de expansão da cultura. Em geral, as áreas de expansão têm como características solos com baixa fertilidade, altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica (MAPA, 2011).

Algodão

Pesquisadores brasileiros estão desenvolvendo plantas transgênicas de algodão com resistência a herbicidas, insetos (com o gene Bt - *Bacillus thuringiensis* e outros), doenças fúngicas e bacterianas. As unidades já dominam a técnica de transformação de plantas de algodão e têm genes isolados para resistência ao bicudo do

algodoeiro e a lagartas que atacam essa cultura (OLIVEIRA NETO, 2003).

Estão sendo desenvolvidas, também, pesquisas para determinar a resistência às doenças dos patógenos *Fusarium*, *Verticillium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* e vírus da folha do algodão (*Cotton leaf curl virus* - CLCV) - o último é extremamente importante no Paquistão e em algumas áreas do Punjab, na Índia (JAMES, 2011).

Eucalipto

Em parceria com a Companhia Suzano de Papel e Celulose e com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pesquisadores da ESALQ/USP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) estão estudando uma variedade geneticamente modificada de eucalipto, que teve um gene de ervilha inserido em seu código genético e, como consequência, poderá produzir mais biomassa, levando a uma maior produção de celulose. Os cientistas acreditam que, no futuro, o eucalipto geneticamente modificado poderá reduzir o desmatamento, a partir do momento em que as plantações poderão gerar mais celulose para a indústria de papel (TUNES, 2001).

Proteínas da teia de aranha

Mais fina que o cabelo humano e forte como aço, a seda da teia de aranha poderia ter diversas aplicações na indústria de vestuário, permitindo a fabricação de novos tipos de tecidos e coletes, além da área médica, que vai poder contar com fios mais finos e resistentes, muito úteis para a sutura. Entretanto, para fins

comerciais, o cultivo direto dos artrópodes não pode ser sustentável. Cientistas da Coréia do Sul e dos EUA anunciam terem obtido a proteína que compõe o fio da teia de aranha a partir de bactérias geneticamente modificadas. O estudo dessas proteínas permitiu aos cientistas conhecerem as folhas alfa e beta, responsáveis pela rigidez e elasticidade dos fios.

Pesquisadores da Embrapa, da Universidade de São Paulo (USP), do Instituto Butantã e da Unicamp estão conduzindo pesquisas na busca de genes que são expressos nas glândulas das aranhas brasileiras, com o objetivo de formar um banco genético na unidade.

Considerações Finais

O paradigma fome e aumento da produção de alimentos será um grande desafio para todas as nações neste século. Segundo a *Royal Society* da Inglaterra, até 2030, estima-se que 8 bilhões de pessoas estarão povoando o mundo, um aumento de 2 bilhões, se comparado à população atual. Para superar esses desafios, novos conhecimentos, tecnologias e ações públicas deverão ser desenvolvidos e estar focados na tentativa de amenizar/erradicar problemas de produção e distribuição dos alimentos.

Mesmo reconhecendo que o problema da segurança alimentar poderá ser minorado, em parte, com uma melhor distribuição dos alimentos, é importante salientar que para atender as necessidades futuras e permitir um crescimento sustentável, a pesquisa agrícola deverá utilizar todas as tecnologias, incluindo-se as modernas biotecnologias, que vêm apresentando um desenvolvimento vertiginoso para a produção de alimentos. Nesse sentido, a engenharia genética, que envolve a produção de plantas transgênicas, deverá ser incentivada.

Era antiga a expectativa de que o Brasil, um dia, tornar-se-ia o “celeiro de alimentos do mundo”. Esse lema serviu de *slogan* para governos e tornou-se profecia de muitos, em especial, de Norman Borlaug, engenheiro agrônomo americano considerado o pai da “Revolução Verde”, modelo que deu à agricultura a escala industrial desejada com o uso de fertilizantes e defensivos químicos a partir da década de 1960. Em um relatório da FAO, sobre Perspectivas Agrícolas 2010-2019, feito em conjunto com a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) identificou-se que os produtores de soja brasileiros tendem a se tornar os maiores exportadores do grão em 2018, superando os Estados Unidos. E na avaliação de pesquisadores e agricultores, atingir a meta esperada para o Brasil só será possível por meio dos transgênicos.

Em 2012, o Brasil aprovou seu primeiro produto transgênico totalmente produzido por tecnologia brasileira, o feijão resistente ao mosaico dourado, doença que pode provocar perdas de 40%. Novos produtos vêm sendo desenvolvidos para a liberação, ainda esse ano, principalmente para espécies de grande importância no país, buscando, assim, o fortalecimento de economias regionais.

A maior vantagem da produção de variedades geneticamente melhoradas nacionais, produzidos por Universidades ou pela Embrapa, concerne no fato de que, o agricultor brasileiro poderá não precisar pagar *royalty* para plantar as sementes das variedades transgênicas. A Embrapa está definindo um sistema que permite o acesso do produtor brasileiro à tecnologia sem elevação de custos, e também que preserve os direitos da instituição quando outras empresas lucrarem com a alternativa, e quando associada a um feijão de propriedade de uma empresa privada, por exemplo.

Enfim, é preciso bom senso e ampliação no volume de pesquisas relativas ao tema para que a população possa aproveitar os benefícios do uso da tecnologia genética. É imprescindível que a ética e a responsabilidade social continuem permeando as discussões

sobre a política de segurança alimentar brasileira em geral e sobre a questão dos alimentos transgênicos, em particular. Se a tecnologia dos alimentos transgênicos for usada em proveito de todos, por pesquisadores e empresários, poderá trazer, cada vez mais, benefícios ambientais, econômicos e sociais para a saúde humana, para toda a sociedade brasileira.

Referências Bibliográficas

ARAGÃO, F.J.; FARIA, J.C. First transgenic geminivirus-resistant plant in the field. **Nature Biotechnology**. 27:1086-1088. 2009.

BORÉM, A.; ALMEIDA, G. D. de. **Plantas geneticamente modificadas: desafios e oportunidades para regiões tropicais**. Visconde do Rio Branco: Suprema Editora e Gráfica, 390p. 2011.

BORÉM, A.; FRITSCHÉ-NETO, R. (Eds.). **Biociologia Aplicada ao Melhoramento de Plantas**. 1. ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica e Editora, 336p. 2013.

BORÉM, A.; SANTOS, F. R. **Entendendo a Biociologia** - 3a. Edição. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Editora e Gráfica, 342 p. 2008.

BRASIL. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). **Instrução normativa 20 de 11 de dezembro de 2001**. Diário Oficial da União, Brasília. 17 jan. 2002.

BRASIL. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **Lei 11.105 de 24 de março de 2005**. Dispõe sobre as normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados - OGM e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. 28 mar. 2005.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei 8.974 de 05 de janeiro de 1995.**

Estabelece normas para o uso das técnicas de engenharia genética e liberação no meio ambiente de organismos geneticamente modificados. Diário Oficial da União, Brasília. 6 jan. 1995.

BRASIL. **Decreto 1.752 de 20 de dezembro de 1995.** Dispõe sobre a vinculação, competência e composição da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. 21 dez. 1995.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Medida provisória 2.191-9.** Acresce e altera dispositivos da lei 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. 24 ago. 2001.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. Forthcoming. GM Crops: Global socio-economic and environmental impacts 1996-2010, **PG Economics Ltd**, Dorchester, UK. 2012.

CARNEIRO, A.A.; GUIMARÃES, C.T.; Valicente, F.H.; Waquil, J.M.; Vasconcelos, M.J.V.; Carneiro, N.P.; Mendes, S.M. **Milho Bt: teoria e prática da produção de plantas transgênicas resistentes a insetos-praga.** [S.l.]: Embrapa. 26 p. (Circular Técnica-EMBRAPA, 135). 2009.

CTNBIO. **Aprovações Comerciais.** Disponível em: <http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/12786.html>. Acesso em: 19 dez. 2011.

D'AMBROSIO, O. Admirável mundo Transgênico. **Jornal da Unesp.** Disponível em: <http://www.unesp.br/aci/jornal/151/biotecno.htm>. Acesso em: 17/01/2013.

DIAS, B. B.; CUNHA, W. G.; MORAIS, L. S.; VIANNA, G. R.; RECH, E. L.; CAPDEVILLE, G.; ARAGÃO, F. J. L. Expression of an oxalate decarboxylase gene from *Flammulina* sp. in transgenic lettuce (*Lactuca sativa*) plants and resistance to

Sclerotinia sclerotiorum. **Plant Pathology**, Oxford, v. 55, n. 2, p. 187–193, Apr. 2006.

EMBRAPA. **Alface transgênico pode ajudar no diagnóstico de dengue.** Disponível em <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2011/outubro/2a-semana/alface-transgenico-pode-ajudar-no-diagnostico-de-dengue>. Acesso em: 22/12/2012. 2011.

FLORIANI, A. Conheça as principais pesquisas com OGMs no Brasil. **Repórter Terra.** Disponível em: http://www.terra.com.br/reporterterra/transgenicos/pesquisas_brasil.htm. Acesso em: 02/01/2012. 2005.

GATES, B. **Innovation with Impact: Financing 21st Century Development.** <http://www.thegatesnotes.com/Topics/Development/G20-Report-Innovation-with-Impact> News by Sharma, Y. 2011. Gates tell G20 innovation is the key to development. 4 November 2011. <http://www.scidev.net/en/science-and-innovation-policy/innovation-policy/news/gates-tells-g20-innovation-is-the-key-to-development.html>. 2011.

GLOBO RURAL. **Grãos com menos sede.** Edição 293 - Mar/10. Disponível em: http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/1,3916,1709230-2454-1,00.html. Acesso em: 12/01/2013.

GRECO, A. **Transgênicos, o Avanço da Biotecnologia.** São Paulo: Oirã, 2009.

JAMES, C. 2007. **Global status of commercialized biotech/GM Crops: 2007.** Disponível em: <http://www.isaaa.org>. Acesso em: 09/12/2012.

- JAMES, C. 2011. **Global status of commercialized biotech/GM Crops: 2011**. Disponível em: <http://www.isaaa.org>. Acesso em: 03/12/2012.
- MARINHO, C.L.C; MINAYO-GOMEZ, C. **Decisões conflitivas na liberação dos transgênicos no Brasil**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.18, n.3, p.96-102. 2004.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (MAPA). **Embrapa desenvolve cana-de-açúcar tolerante à seca**. Portal Brasil, 2011. Disponível em <http://www.brasil.gov.br>. Acesso em 03/01/2013.
- NUNES AC, VIANNA GR, CUNEO F, AMAYA-FARFÁN J, DE CAPDEVILLE G, RECH EL AND ARAGÃO FJ. RNAi-mediated silencing of the myo-inositol-1-phosphate synthase gene (GmMIPS1) in transgenic soybean inhibited seed development and reduced phytate content. **Planta** 224:125-32. 2006.
- NUNES, A. C. S.; KALKMANN, D. C. ; ARAGÃO, F. J. L. 2009. Folate biofortification of lettuce by expression of a codon optimized chicken GTP cyclohydrolase I gene. **Transgenic Research**, Vol. 18, Issue 5, pp 661-667. 2009.
- OLIVEIRA NETO, O. B. ; et. al. ; SANTOS, R. C. ; GROSSI, M. F. S. . Molecular cloning of α -amylases from cotton boll weevil, *Anthonomus grandis* and structural relations to plant inhibitors: an approach to insect resistance. **Journal of Protein Chemistry in press**, v. 22, n.1, p. 77-87, 2003.
- SOUZA JUNIOR, M. T.; NICKEL, O.; GONSALVES, D. Development of virus resistant transgenic papayas expressing the coat protein gene from a Brazilian isolate of Papaya ringspot virus. **Fitopatologia brasileira**. v. 30, n. 4, p.357-365, 2005.
- SOUZA, E. **Alface contra dengue**. Globo Rural, Editora Globo, Edição 317 de março de 2012.

- TABASHNIK, B.E.; RENSBURG, V.J.B.J.; CARRIERE, Y. Field-evolved insect resistance to Bt crops: Definition, theory and data. *Journal of Economic Entomology* 102:2011-2025. 2009.
- TAIT, J; G. BARKER. Global food security and the governance of modern biotechnologies. **EMBO reports**. 12, 763 – 768. 2011.
- TORRES, A. C.; FERREIRA, A. T.; MELO, P. E.; ROMANO, E.; CAMPOS, M. A.; PETERS, J. A.; BUSO, J. A.; MONTE, D. C. Plantas transgênicas de batata achat resistentes ao vírus do mosaico PVY. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento** - Encarte Especial, n. 7, p. 67-77, 1999. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio07/encarte7.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2012.
- TUNES, S. Eucalipto com gene de ervilha. **Pesquisa online Fapesp**. Edição Impressa 66. Julho 2001. Disponível em: <http://revistapesquisa2.fapesp.br>. Acesso em: 18/01/2013.
- ZERBINI, F.M; SILVA, F.N; URQUIZA, G.P.C; BASSO, M.F. 2012. **Plantas Transgênicas**. In: Aluízio Borém, Roberto Fritsche-Neto (org.) *Biotecnologia Aplicada ao Melhoramento de Plantas*. Viçosa. Editora UFV, p. 229-267.