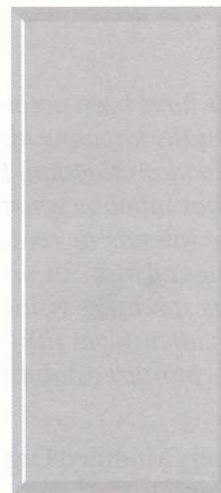




Yoko Hoshima Franco (Uniso)

*Alimentos transgênicos e meio ambiente:  
uma avaliação da relação risco/benefício*



## RESUMO

A população brasileira tem acompanhado as discussões sobre os alimentos transgênicos sem, contudo, compreender totalmente os riscos e benefícios que estão implicados nessa nova tecnologia de produção de alimentos. Trata-se de um tema bastante complexo pela falta de familiaridade com os conceitos que envolvem a genética, a biologia molecular e a biologia celular moderna. Este artigo avaliou a relação risco/benefício sobre alimentos transgênicos e meio ambiente, a partir de dados disponíveis na literatura, com a finalidade de informar e esclarecer a população. Conclui-se que, na visão dos especialistas, as vantagens da biotecnologia de alimentos são superiores às desvantagens (impacto sobre o ambiente e saúde humana), porém preceitos rigorosamente éticos devem ser postos em prática desde a produção até o consumo dos alimentos transgênicos.

**Palavras-chave:** Organismos geneticamente modificados (OGMs); biologia celular e molecular; genética; transgênicos.

## ABSTRACT

*Brazilian people have been accompanying the discussion on transgenic food without, however, totally knowing about the risks and benefits implicated in this new technology of food production. It is a complex subject by lack of familiarity with the concepts that involves genetics, molecular biology and modern cellular biology. This article intends to evaluate the risk/benefit relation on transgenic food and environmental risk, in order to inform and to clear people. We can conclude that by the specialist vision, the advantages of food biotechnology are greater than the disadvantages (impact on environmental and human health), however ethics precept must establish since the production up the consumption of food transgenic.*

**Keywords:** Genetically Modified Organisms (GMOs; cellular and molecular biology; genetic; transgenic.

---

## 1. Introdução

Algumas projeções indicam que a população mundial cresce a um ritmo de 90 milhões de pessoas/ano e que, em 2020, a população atingirá nove bilhões de habitantes, dos quais sete bilhões estarão nos países em desenvolvimento. A produção de alimentos terá que se viabilizar, considerando a escassez de fatores de produção (solo e água), o crescimento de áreas urbanas em terras destinadas às lavouras e os possíveis efeitos negativos para o meio ambiente (Zylbersztajn et al., 2003).

Para atender à crescente demanda de alimentos, o homem vem lançando mão de seus conhecimentos científicos derivados da genética, da biologia molecular e da biologia celular, visando a aumentar a eficiência do desempenho dos seres vivos e melhorar as espécies de plantas essenciais para a alimentação humana e animal. O desenvolvimento de técnicas como DNA recombinante, cruzamento ou fusão de protoplastos e cultura de tecidos "*in vitro*" (Azevedo, 1997; Kerbauy, 1997) (Tabela 1) permite um melhor aproveitamento dos recursos naturais, através da manipulação de processos biológicos. A finalidade dessa intervenção é maximizar a capacidade estrutural e funcional dos seres vivos, tornando-os mais resistentes a pragas, doenças, ambientes hostis (solo seco, encharcado, ácido; etc) e objetivando o aumento da produção, maior porcentagem de algum componente específico, maior facilidade de colheita e armazenagem entre outros (Gander et al., 1997; Burnquist, 1997; Falk et al., 2002; Lonnerdal, 2003).

Até pouco tempo atrás, a única maneira de se atingir estes objetivos era através da clássica genética mendeliana (cruzamento entre espécies), num processo demorado (5 a 15 anos) e desvantajoso, pela transferência de características indesejáveis e pela impossibilidade do cruzamento entre espécies sexualmente incompatíveis. Atualmente, os métodos da biotecnologia permitem não somente reduzir o tempo de obtenção de variedades com novas características mas também transmitir propriedades de diferentes espécies.

A planta transgênica, além dos genes naturais, contém um gene adicional proveniente de um outro organismo, que pode ser uma planta, uma bactéria ou até um animal. Desse modo, para se obter uma planta transgênica, é necessário um gene de interesse, uma técnica de introdução desse gene na célula vegetal e uma técnica para regenerar, a partir de uma célula vegetal transformada, uma planta inteira (Gander et al., 1997).



**Tabela 1. Técnicas para se produzir alimento transgênico****Recombinação genética ou técnica de DNA recombinante:**

## Técnica I:

1. Romper a ligação do DNA utilizando enzimas\_endonucleases
2. Unir as pontas utilizando uma outra enzima denominada DNA ligase
3. Inserção do DNA obtido em plasmídeo bacteriano
4. Transferência do material genético do plasmídeo para uma célula em perfeito funcionamento
5. Isolar clones das células receptoras do DNA híbrido
6. Obtenção de um "enxerto" em escala molecular

## Técnica II:

1. Inserção de um gene por eletroporação de protoplastos
2. Protoplastos são incubados em soluções contendo o gene a ser transferido
3. Em um curto espaço de tempo, aplica-se uma descarga elétrica:
4. A descarga elétrica provoca alterações na parede celular, permite a penetração e a eventual integração do gene no genoma

## Técnica III:

1. Baseada no princípio de uma arma de fogo
2. Microprojéteis de ouro ou tungstênio são carregados com o gene de interesse
3. Pólvora ou gás dispara os microprojéteis em direção ao tecido vegetal:
4. Os genes carregados pelos microprojéteis são inseridos no genoma vegetal

**Cruzamento de Protoplastos ou fusão de Protoplastos:** permite fundir protoplastos (células vegetais desprovidos de parede celular)

1. Podem-se cruzar células vegetais, animais, fungos ou bactérias (entre estes grupos ou entre células pertencentes a grupos bem diferentes)
2. Na hibridação de células vegetais permite-se obter plantas híbridas quando barreiras anatômicas ou fisiológicas impedem o cruzamento por via sexuada

## Etapas:

1. Isolamento de protoplastos de espécies previamente escolhidas para serem fundidas
2. Indução química para aglutinação e fusão dos protoplastos
3. Identificação de protoplastos fundidos
4. Uma técnica utilizada é o uso de linhagens de protoplastos marcadas para a resistência a uma substância tóxica. A última etapa implica o crescimento, em meio apropriado para a obtenção de uma nova espécie híbrida (Scriban, 1984):

**Cultura de tecidos vegetais "in vitro":**

1. Cultivo de partes de uma planta, uma única célula ou um órgão
2. Baseia-se no princípio de que toda a complexidade e tudo o que ocorre com um organismo adulto tiveram origem em uma única célula que, após sucessivas divisões do zigoto, sofre a diferenciação celular

## Etapas:

1. Seleção de uma célula modificada ou tecido
2. Transferência para um meio de cultura apropriado
3. Submete-se o tecido explantado a hormônios vegetais e reguladores de crescimento
4. Proliferação de uma massa celular não diferenciada (calo)
5. Transferência do calo para um meio de crescimento onde formará um embrião
6. Diferenciação do embrião em planta

A palavra biotecnologia foi definida em 1981 pela European Federation of Biotechnology, integrando a microbiologia, bioquímica e a engenharia genética (adição de novos genes a diferentes organismos), para a aplicação industrial das habilidades potenciais de microorganismos e culturas de células. Como o código genético é universal, genes originários de microorganismos ou de animais podem também funcionar em plantas e vice-versa, e os organismos que são transformados são denominados 'organismos geneticamente modificados' (OGMs) (Giovannetti, 2003b).

Entre as espécies geneticamente manipuladas encontram-se, evidentemente, as de maior impacto na alimentação humana e animal e indústria de tecidos como o milho, batata, tomate, soja, feijão e algodão e, como planta modelo em experiências de pesquisa básica, o fumo. Além dessas, foram transformadas melancia, couve, cenoura, alfafa, arroz, trigo, girassol, alface, maçã, amendoim, entre outras. De uma maneira geral, mais da metade das espécies produzidas pela engenharia genética confere resistência a herbicidas, vírus e insetos. Em outros 30% dos casos, a manipulação genética visa ao aumento da qualidade do produto, e o restante objetiva a resistência a alguns fungos (Jank & Gaugitsch, 2001; Gander et al., 1997).

Nas duas últimas décadas consideráveis avanços foram atingidos, relativos às alterações promovidas pela biotecnologia em plantas. Inicialmente, entre 1986 e 1997, buscavam-se alterações que promovessem resistência a insetos e tolerância a herbicidas. Atualmente, os esforços são também dirigidos para a melhoria da qualidade nutricional dos vegetais. Além disso, apontam para o fato de que as plantas geneticamente modificadas não são promissoras somente para a agroindústria, mas também para a produção de vacinas contra doenças animais e humanas (Lanfranco, 2003).

As plantas transgênicas entraram no mercado norte-americano no ano de 1996, sendo que o primeiro produto foi o tomate FLAVR-SAVR, que foi modificado para retardar seu amadurecimento pós-colheita. Atualmente, esse produto faz parte do cotidiano dos consumidores americanos (Avidos & Ferreira, 1997). Em 2001, estimava-se que 65% da soja e mais de 20% do milho plantados nos Estados Unidos eram espécies transgênicas (Lusk & Sullivan, 2002). Na Europa, alimentos obtidos por essas "novas" tecnologias encontram resistência por parte dos consumidores. O fato é bem compreensível, pois não há subsídios disponíveis no mundo sobre os impactos que os organismos geneticamente modificados podem provocar na saúde e no meio ambiente (Braun, 2002). No Brasil, é preciso promover um estudo de im-



pacto ambiental que considere as particularidades do solo e clima do país. Paralelamente, é fundamental a realização de experimentos visando a identificação de substâncias com potencial alergênico (Alves Filho, 2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os riscos e benefícios apontados pelos especialistas da área, com a finalidade de informar e, portanto, esclarecer, a população sobre tão complexo assunto.

## 2. METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico sobre artigos científicos relacionados ao tema foi realizado, empregando-se a base de dados MedLine, no período de novembro a dezembro/2003, através dos seguintes unitermos pesquisados concomitantemente — “transgenic food, environmental risks”.

O critério adotado para a inclusão dos artigos foi a rigorosa obediência à relação risco/benefício. Outros artigos científicos foram incluídos no trabalho com a finalidade de suporte, sem uma configuração de busca sistemática com palavra-chave específica na base de dados MedLine.

## 3. RESULTADOS

### *A visão dos especialistas*

De modo geral, os temas abordados recaem na consideração entre necessidade de aumento de produção com relação aos impactos no meio ambiente. Como todo processo de transição, manifesta-se uma mistura de apreensão ao desconforto de adaptações, nem sempre neutras e de fácil assimilação, e as novas perspectivas e oportunidades a serem exploradas (Burnquist, 1997). Os pontos considerados na avaliação dos riscos potenciais de impacto ambiental são abordados, avaliando-se a probabilidade dos OGMs persistirem no ambiente de cultivo ou invadirem ambientes naturais, os possíveis efeitos na saúde humana em resultado da ação direta ou indireta dos OGMs; os efeitos imediatos ou a longo prazo no meio ambiente sobre a fauna, flora, fertilidade do solo; decomposição de material orgânico no solo; a avaliação dos impactos positivos e negativos trazidos para o setor agrícola, como o aumento de resistência de espécies vegetais em relação a algumas pragas, entre outros (Jank & Gaugitsch, 2001; Aerni, 2002).

Dentre os aspectos a serem considerados, tem-se a preocupação como Uma das maiores preocupações é com o fluxo de genes através da difusão do pólen transgênico. Como exemplo tem-se o desenvolvimento da planta geneticamente modificada para ser herbicida resistente *Brassica napus*, que se hibridizou com plantas não-transgênicas numa distância de 3 km (Rieger et al., 2002), além de possibilidades de fluxo intrae-específica, com espécies de *Brassica* (Halfill et al., 2002) e interespecífica, com a mostarda (Wolfenbarger & Phifer, 2000). Como a difusão é inevitável e imprevisível, pode ocorrer uma poluição genética de “pools” de genes naturais, com a criação de super-ervas daninhas e mesmo de variedades híbridas bi- ou tri-resistentes (Gray & Raybould, 1998; MacArthur, 2000).

Como pode ocorrer, também, transferência horizontal de genes e, como exemplo, tem-se uma planta geneticamente modificada, para conferir resistência a antibiótico que transferiu genes a uma bactéria pertencente ao gênero *Acinetobacter* (Gebhard and Smalla, 1998), em estudos *in vitro*. Embora a transferência não tenha ocorrido em condições naturais, os resultados experimentais mostraram que a transferência é possível. A transferência horizontal de genes é o modo natural pelo qual a bactéria troca material genético (WHO, 1993). Bactérias, em condições adequadas de alimento e espaço, reproduzem-se rapidamente, podendo atingir o número de um bilhão (entre bilhões) em cerca de 30 horas e cerca de um bilhão de bactérias vivem em um grama (1 g) de solo fértil.

Pode haver impacto sobre organismos não-alvo. Muitas plantas têm sido geneticamente modificadas para produzir proteínas inseticidas, como a toxina (letal a certos insetos) produzida pela bactéria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), naturalmente ocorrente no solo. Pólen do milho geneticamente modificado para produzir toxina *Bt* foi eficiente não apenas para o seu alvo (the European corn borer, ECB, *Ostrinia nubilalis*), mas também para organismos que não eram alvos, como a borboleta (Losey et al., 1999). Estudos posteriores demonstraram que toxinas *Bt* provenientes de plantas geneticamente modificadas foram liberadas ao solo, permanecendo ativas por longo tempo, ligadas a superfícies ativas de partículas do solo (Saxena et al., 1999; Saxena et al., 2002; Tapp & Stotzky, 1998). O acúmulo e persistência da toxina sugerem possíveis efeitos crônicos sobre organismos não-alvo e sobre o enriquecimento de insetos alvo toxina-resistentes.

Além disso, o uso e domínio dessas tecnologias podem favorecer os países ricos em detrimento dos países em desenvolvimento. Uma situação que



indica esse caminho é a tecnologia das sementes estéreis. Recente desenvolvimento na tecnologia de engenharia genética produziu um sistema denominado “Terminator”, com genes introduzidos em plantas transgênicas e protegidos por patentes (Ex.: US Patent Number 5.723765 — Control of Plant Gene Expression — obtido em março/1998 pela companhia de sementes Delta and Pine Land, junto ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos). Plantas modificadas através dessa tecnologia contêm genes que causarão a morte da segunda geração de sementes, impedindo a sua reutilização. Dessa forma, agricultores terão que comprar sementes a cada ano e isso causará um tremendo impacto na sobrevivência das pessoas que vivem em países pobres, uma vez que a FAO estima que cerca de um bilhão de pessoas sobrevive do plantio da segunda geração de sementes (Crouch, 1998; Giovannetti, 2003a).

O maior risco associado às sementes “Terminator” é o escape de genes através do pólen transgênico e polinização cruzada, que, como discutido acima, não pode ser evitada. Companhias agroquímicas e biotecnológicas têm argumentado que a tecnologia “Terminator” preveniria a dispersão de transgenes no ambiente. Entretanto, a eficiência do tratamento com tetraciclina em cada semente (entre milhões de quilogramas) não pode ser garantida, e a enzima recombinase pode permanecer inativa em algumas sementes. Além disso, como evitar que pássaros e abelhas espalhem sementes e pólen “Terminator”, e bactérias do solo de transfiram horizontalmente o gene? (Giovannetti, 2003 b).

Deve-se considerar, também, que é imprevisível prever quais eventos ocorrerão com a transformação de técnicas, baseada em inserção randomizada de novos construtos ao genoma, tais como a locação de transgenes nos cromossomos, possíveis rearranjos de genes, potencial de ligar genes silenciosos, aumento ou diminuição não-planejada de conteúdo de compostos do metabolismo secundário e alterações na química do produto agrícola (Firn & Jones, 1999; Tweedie & Bird, 2000; Buiatti, 2003).

Estudos sobre os impactos diretos de plantas geneticamente modificadas sobre o ambiente e os indiretos, pela mudança na prática agrícola, de acordo com Dale e colaboradores (Dale et al., 2002), estão sumarizados na Tabela 2.

Além do impacto ambiental, alguns pesquisadores avaliam os possíveis efeitos sobre seres humanos das plantas geneticamente modificadas. Geralmente, a análise consiste de quatro etapas (Hodgson & Levi, 1997; NRC,



**Tabela 2.** Impactos potenciais\* de plantas geneticamente modificadas sobre o ambiente

Classe	Exemplos
<b>Impacto direto do novo traço sobre o ambiente</b>	
Interação química com coisas vivas	Efeitos indesejáveis de resistência a insetos sobre organismos não-alvo Destino e consequência de toxinas inseticidas no solo
Alteração na persistência e invasibilidade da planta	Persistência no habitat agrícola (erva daninha) Invasibilidade em habitat natural
Fluxo de gene por polinização de plantas (erva daninha e "feral")	Transferência de tolerância a ervas daninhas Transferência de tolerância de estresse biótico e abiótico (erva daninha e "feral" espécies) Empilhamento ("stacking") de genes tolerantes a herbicidas
<b>Impacto indireto de mudanças na prática agrícola sobre o ambiente</b>	
Reduzida eficiência no controle de pragas, doenças e erva daninha	Desenvolvimento de erva daninha tolerante a herbicidas pela evolução e seleção oriundos do "pool" de genes Desenvolvimento de resistência à toxina <i>Bt</i> em pragas
Efeito sobre a biodiversidade da fauna selvagem	Efeitos herbicidas de amplo espectro
Efeito no solo e água	Mudança no uso herbicida Mudança no padrão de cultivo do solo

\* Impactos podem ser prejudiciais ou benéficos. A avaliação de riscos enfoca primeiramente a análise dos potenciais efeitos negativos sobre o ambiente.

1983): avaliação do risco, avaliação dose-resposta, avaliação da exposição e caracterização do risco. Um dos possíveis efeitos sobre os seres humanos é a possibilidade de desenvolvimento de alergias (Hodgson, 2001), lembrando, entretanto, que reações alérgicas podem ser desencadeadas, também, por plantas não-modificadas. Testes de alergenicidade a plantas transgênicas por analogia a outros alérgenos de alimentos, tais como proteínas homólogas, comparação de estabilidade com conhecidos alérgenos e imunoenaios para certas classes de anticorpos (Bernstein et al., 1999), são inadequados, e testes envolvendo a interação da proteína transgênica com o sistema imune precisam ser desenvolvidos.

Para os autores, as experiências laboratoriais servem para estabelecer princípios que podem influenciar os efeitos sobre organismos não-alvo, mas

as interpretações devem ser extrapoladas com cuidado. Campos experimentais para essa proposta não são comuns e requerem vários anos, em diferentes locais, para gerar dados significantes. Outra questão importante é como determinar a significância de um impacto ambiental. O mais difícil, ainda, é decidir se um impacto em particular é ou não aceitável. E se a prática agrícola convencional tiver o mesmo impacto que uma planta geneticamente modificada, em particular, ela também será restringida? Os impactos ambientais que têm sido discutidos não se restringem a plantas geneticamente modificadas, mas um dos maiores desafios para o futuro é gerenciar a introdução e ampla comercialização de plantas geneticamente modificadas de um modo que favoreça o ambiente.

Alguns autores, no entanto, retomam o conceito de risco, como um produto, exposição e risco, e posicionam-se claramente favoráveis à biotecnologia, argumentando que a maioria dos estudos que mostram riscos ambientais, é laboratorial (Sharples, 1991; Hilbeck et al., 1998a,b; Losey et al., 1999; Don Wauchope et al., 2001) e não produzido no campo, que, por sua vez, revelou nenhum efeito ecológico adverso (Orr & Landis, 1997; Pilcher et al., 1997; Lozzia et al., 1998; Lozzia, 1999) ou menores efeitos sobre não-alvo (Wraight et al., 2000; Oberhauser et al., 2001, Pleasants et al., 2001; Sears et al., 2001; Stanley-Horn et al., 2001). Defendem a pesquisa de biossegurança e a monitorização, como elementos que podem tornar-se a força diretriz nos estudos para a compreensão dos sistemas de agricultura tradicional e moderno (Bartsch & Schuphan, 2002).

Um dos impactos positivos no uso de OGMs é a efetiva diminuição do uso de defensivos agrícolas. Segundo Wheeler (Wheeler, 2002), as substâncias químicas convencionais continuarão como importante componente no gerenciamento de pragas, mas novas opções deverão ser empregadas. Os biopraguicidas (principalmente os praguicidas microbianos e os transgênicos) serão os mais importantes instrumentos no gerenciamento de pragas da agricultura. Entretanto, não se pode deixar de considerar a possibilidade de fuga de um gene dos genes sintéticos para um novo "pool" gênico, propiciando a resistência de pragas (Gaugitsch, 2002).

A avaliação do ciclo de vida de OGMs poderia ser uma ferramenta útil na minuciosa avaliação garantida dos efeitos ambientais dos produtos de plantas geneticamente modificadas, levando em consideração todo o processo de produção (do início ao fim), a prática agrícola e outros fatores ambientais relevantes. Conseqüentemente, as decisões, caso a caso e de



bases regionais e a escolha entre alternativas, terão maior respaldo científico. O principal desafio será desenvolver mais o método, a fim de possibilitar a fusão entre a clássica avaliação de ciclo de vida dos parâmetros quantificáveis (como entrada de energia, fertilizantes, pesticidas) e a parte qualitativa ou semiquantitativa dos riscos específicos dos organismos (GM ou não) — como transferência de genes e penetrabilidade (Gaugitsch, 2002).

#### 4. Conclusão

Os avanços obtidos pela biotecnologia proporcionam um grande impacto na área agrícola, pela possibilidade de maior oferta de alimentos, em decorrência da maior produtividade agrícola. Além disso, permitem menor uso de defensivos agrícolas, com menor agressão ao meio ambiente e à saúde humana, ainda que riscos de transferência de genes tenham sido apontados em pesquisas experimentais, com poucos estudos, ainda, em condições naturais.

Os especialistas são unânimes em apontar que é fundamental direcionar esforços para assegurar que os impactos dessas tecnologias sejam administrados eticamente, avaliando-se os efeitos positivos e negativos, não apenas do ponto de vista ambiental e da saúde humana, mas também do ponto de vista econômico. Neste sentido, países que dominam as técnicas da biotecnologia devem ser coerentes com o discurso utilizado de que a modificação genética é o caminho para se garantir alimento para a população mundial. Por essa razão devemos estar atentos às leis das patentes, sob risco de pagamento de royalties tão elevados, que inviabilizarão a produção de alimentos e consumarão, por mais uma via, a dominação dos países ricos sobre os países pobres.

O sucesso da biotecnologia dependerá não somente do progresso tecnológico, mas também da força da comunidade científica em garantir segurança do meio ambiente e da saúde humana.

O desenvolvimento tecnológico não deve ser impedido, mas que os valores éticos devem permear a biotecnologia de alimentos, para a manutenção da dignidade e dos direitos humanos.

## REFERÊNCIAS

- AERNI, P. Stakeholder attitudes toward the risks and benefits of agricultural biotechnology in developing countries: a comparison between México and Philippines. *Risk Analysis*, 22 (6):1123-1137, 2002.
- AERNI, P.; RIDER, P. Public policy responses to biotechnology. In: *Encyclopaedia of life support systems*. Paris: UNESCO, 2001.
- ALVES FILHO, M. Soja está no centro da guerra dos transgênicos. *Jornal da Unicamp*, Campinas 27 out.a 2 nov. 2003, p. 3.
- AVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L. T. Panorama da biotecnologia nos EUA. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, 1:38-41, 1997.
- AZEVEDO, J. L. Fungos: genética e melhoramento de fungos na biotecnologia. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento* 1:12-15, 1997.
- BARTSCH, D.; SCHUPHAN, I. Lessons we can learn from ecological biosafety research. *J. Biotechnol.*, 98:71-77, 2002.
- BERNSTEIN, I. L.; BERNSTEIN, J. A.; MILLER, M.; TIERZIEVA, S.; BERNSTEIN, D. I.; LUMMUS, Z.; SELGRADE, M.K.; DOERFLER, D.L.; SELIGY, V. L. Immune responses in farm workers after exposure to *Bacillus thuringiensis* pesticides. *Environ Health Perspect.*, 107:575-582, 1999.
- BRAUN, R. People's concerns about biotechnology: some problems and some solutions. *J. Biotechnol.*, 98(1): 3-8, 2002.
- BUIATTI, M. Biologia Moderna, Biologia Contemporanea, Biotecnologie. *Il Ponte*, LIX: 26-41 2003.
- BURNQUIST, H. Biotecnologia agrícola e os impactos socioeconômicos na economia brasileira. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, 1: 18-21, 1997.
- CROUCH, M. L. *How the terminator terminates: an explanation for non-scientists of a remarkable patent for killing second generation seeds of crop plants*. Washington: The Edmonds Institute, 1998.
- DALE, P. J.; CLARKE, B.; FONTES, E. M. G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnol.*, 20:567-574, 2002.
- DON WAUCHOPE, R.; ESTES, T. L.; ALLEN, R.; BAKER J. L.; HORNSBY, A. G.; JONES, R. L.; PETER RICHARDS, R.; GUSTAFSON, D. I. Predicted impacto of transgenic, herbicide-tolerant corn on drinking water quality in vulnerable watersheds of the mid-western USA. *Pest. Manag. Sci.*, 58:146-160, 2001.
- FALK, M. C.; CHASSY, B. M.; HARLANDER, S. K.; HOBAN, T. J.; Mcgloughlin, M. N.; AKHLAGHI, A. R. Food biotechnology: benefits and concerns. *Journal Nutrition*, 132(6):1384-1390, 2002.



- FIRN, R. D.; JONES, C. G. Secondary metabolism and the risks of GMOs. *Nature*, 400:14-15, 1999.
- GANDER, E. S.; MARCELINO, L. Plantas Transgênicas. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, 1:34-37, 1997.
- GAUGITSC, H. Experience with environmental issues in GM crop production and the likely future scenarios. *Toxicol. Lett.*, 28, 127(1-3): 351-357, 2002.
- GEBHARD, E.; SMALLA, K. Transformation of *Acinetobacter sp.* Strain BD413 by transgenic Sugar Beet DNA. *Appl. Environm. Microbiol.*, 64:1550-1554, 1998.
- GIOVANNETTI, M. La rivoluzione biotecnologica in agricoltura: il potere dei monopoli sul cibo. *Il Ponte*, LIX: 42-50, 2003a.
- \_\_\_\_\_. The ecological risks of transgenic plants. *Rivista di Biologia. Biology Fórum*, 96:207-224, 2003b.
- GRAY, A. J.; RAYBOULD, A.F. Reducing transgene escape routes. *Nature*, 392:653, 1998.
- HALFHILL, M. D.; MILLWOOD, R. J.; RAYMER, P. L.; STEWART, C. N. Bt-Transgenic oilseed rape hybridisation with its weedy relative, *Brassica rapa*. *Environm. Biosafety Res.*, 1:19-28, 2002.
- HILBECK, A.; BAUMGARTNER, M.; FRIED, P. M.; BIGLER, F. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera, Chrysopidae). *Environm. Entomol.*, 27:480-487, 1998a.
- HILBECK, A.; MOAR, W. J.; PUSZTAI-CAREY, M.; FILIPPINI, A.; BIGLER, F. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* CryIAb to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera, Chrysopidae). *Environm. Entomol.*, 27:1-9, 1998b.
- HODGSON, E. Genetically modified plants and human health risks: can additional research reduce uncertainties and increase public confidence? *Toxicol. Sci.*, 63(2):153-156, 2001.
- HODGSON, E.; LEVI, P. E. *A textbook of Modern Toxicology*. 2. ed.. Stanford, CT: Appleton and Lange, 1997.
- JANK, B.; GAUGITSCH, H. Assessing the environment impacts of transgenic plants. *Trends Biotechnol.*, 19 (9): 371-372, 2001.
- KERBAUY, G. Clonagem de plantas "in vitro". *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, 1:30-33, 1997.
- LANFRANCO, L. Engineering crops, a deserving venture. *Riv. Biol.*, 96 (1): 31-54.
- LONNERDAL, B. Genetically modified plants for improved trace element nutrition. *J. Nutrition*, 133(5): 1490S- 1493S, 2003.

- LOSEY, J. E.; RAYOR, L.S.; CARTER, M. E. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399:214, 1999.
- LOZZIA, G. C. Biodiversity and structure of ground assemblages (Coleoptera, Carabidae). In: Bt corn and its effects on non target insects. *Bolletino Zoologia Agricoltura Bachicoltura*, 31:37-58, 1999.
- LOZZIA, G. C. FURANIS, C.; MANACHINI, B.; RIGAMONTI, I. E. Effects of Bt corn on *Rhopalosiphum padi* L. (Rhynchota Aphididae) and on its predator *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera Chrysopidae). *Bolletino Zoologia Agricoltura Bachicoltura*, 30:153-164, 1998.
- LUSK, J. L. SULLIVAN, P. Consumer acceptance of genetically modified foods. *Food Technol.* 56(10): 32-37, 2002.
- NRC. *Risk assessment in the Federal Government*. Washington: National Academy Press, 1983.
- OBERHAUSER, K. S.; PRYSBY, M. D.; MATILLA, H. R.; STANLEY-HORN, D. E.; SEARS, M. K.; DIVELY, G.; OLSON, E.; PLEASANTS, J. M.; LAM, W. K. F.; HELLMICH, R. L. Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 98:11913-11918, 2001.
- ORR, D.B.; LANDIS, D. A. Oviposition of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and impact of natural enemy populations in transgenic versus isogenic corn. *J. Economic Entomol.*, 90:905-909, 1997.
- PILCHER, C. D.; RICE, M. E.; OBRYCKI, J. J.; LEWIS, L. C. Field and laboratory evaluations of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn on secondary lepdopteran pests (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Economic Entomol.*, 90:669-678, 1997.
- PLEASANTS, J. M.; HELLMICH, R. L.; DIVELY, G. P.; SEARS, M. K.; STANLEY-HORN, D. E.; MATILLA, H. R.; FOSTER, J. E.; CLARK, T. L. JONES, G. D. Corn pollen distribution on milkweeds in and near cornfields. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 98:11919-11924, 2001.
- RIEGER, M. A.; LAMOND, M., PRESTON, C.; POWLES, S. B.; ROUSH, R.T. Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Science*, 296:2386-2388, 2002.
- SAXENA, D.; FLORES, S.; STOTZKY, G. Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 133-137, 2002
- SAXENA, D.; FLORES, S.; STOZKY, G. Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*, 402:480, 1999.
- SCRIBAN, R. *Biotechnologia*. São Paulo: Manole, 1984.
- SEARS, M. K.; HELLMICH, R.L.; STANLEY-HORN, D. E. OBERHAUSER, K.S.; PLEASANTS, J. M. MATILLA, H. R. SIEGFRIED, B. D.; DIVELY, G. P. Impact of Bt corn



- pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 98:11937-11942, 2001.
- SHARPLES, F. E. Ecological aspects of hazard identification for environmental uses of genetically engineered organisms. In: LEVIN, M. A; STRAUSS, H. S. (eds.). *Risks assessment in genetic engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991, pp.18-31.
- STANLEY-HORN, D. E.; DIVELY, G. P.; HELLMICH, R. L.; MATTILA, H. R.; SEARS, M. K.; ROSE, R.; JESSE, L. C. H.; LOSEY, J. E.; OBRYCKI, J. J.; LEWIS, L. Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 98:11931-11936, 2001.
- TAPP, H.; STOTZKY, G. Persistence of the insecticidal toxin from *Bacillus thuringensis* subsp. *Kurstaki* in Soil. *Soil Biol. Biochem.*, 30:471-476, 1998.
- TWEEDIE, S; BIRD, A. Mutant weed breaks silence. *Nature*, 405:137-138, 2000.
- ZYLBERSZTAJN, D.; LAZZARINI, S. G.; MACHADO FILHO, C. A. P. Rumos da biotecnologia: a introdução da soja round up ready a algumas questões polêmicas. Disponível em <<http://www.biotecnologia.com.br>> Acesso em 11 nov. 2003.
- WHEELER, W.B. Role of research and regulation in 50 years of pest management in agriculture. *J. Agric. Food Chem.*, 50:4151-4155, 2002.
- WHO. Healths aspects of marker genes in genetically modified plants. *Report of WHO Workshop*. Geneva: WHO/FNO/FOS 93:6, 1993.
- WOLFENBARGER, L.L; PHIFER, P. R. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290:2088-2093, 2000.
- WRAIGHT, C. L.; ZANGERL, A. R.; CAROLL, M. J.; BERENBAUM, M. R. Absence of toxicity of *Bacillus thuringiensis* pollen to black swallowtails under field conditions. *Proc. Natl. Acad. Scie., USA.*, 97:7700-7703, 2000.

Endereço da autora:

Rodovia Raposo Tavares, Km 92,5

Sorocaba, SP

CEP 18023-000

E-mail: [yoko.franco@uniso.br](mailto:yoko.franco@uniso.br)