

## O Princípio de Precaução e os Transgênicos: uma abordagem científica do risco

Organismos geneticamente modificados (OGMs ou transgênicos) são produzidos através da transferência de genes de um organismo (geralmente uma espécie não relacionada) para outro. O transgênico pode, por exemplo, ser uma planta alimentícia, um animal que fornece carne ou um microorganismo que degrada resíduos tóxicos. Esse organismo geneticamente modificado pode ser liberado no meio ambiente, onde pode crescer e se multiplicar. Os seus genes exógenos podem ser transferidos para uma espécie selvagem relacionada ou este organismo transgênico pode ter um comportamento imprevisível, ficando fora de controle e causando estragos ao ecossistema. Esses efeitos podem ser irreversíveis. Nosso conhecimento de como e quando o dano pode surgir é limitado e surpresas desagradáveis podem acontecer.

Quando e como usar ou não um transgênico? Quando produzir ou não um transgênico? Como as decisões devem ser avaliadas quando nos deparamos com tais questões? Uma abordagem óbvia é aplicar o Princípio de Precaução. Este Princípio é o resultado de anos de experiência com produtos químicos e outras formas de poluição e foi desenvolvido com a intenção de evitar que danos desconhecidos hoje surjam no futuro.

O Princípio de Precaução pretende ser uma regra geral em situações onde existam ameaças sérias e irreversíveis à saúde e ao meio ambiente e requeiram uma ação para evitar tais ameaças, mesmo que ainda não exista prova definitiva de dano. Este Princípio não permite que a ausência de certeza científica seja usada para atrasar uma ação preventiva<sup>1,2,3</sup>. Desde asbesto e PCBs até buraco na camada de ozônio e doença da vaca louca, a

avaliação convencional de riscos falhou. As lições do “esperar muito tempo por provas antes de agir” têm demonstrado que uma rigorosa abordagem de precaução nestes casos foi atrasada por muito tempo<sup>4</sup>.

No entanto, o Princípio de Precaução é muitas vezes criticado como sendo não científico e por engessar o progresso. Este resumo explica porque a precaução é tão vital em relação aos transgênicos, uma vez que demanda

uma avaliação científica mais rigorosa e traz mais democracia às decisões sobre a aceitação ou não de riscos. Mostra

*O Princípio de Precaução não representa uma barreira ao progresso*

também porque o Princípio de Precaução não representa uma barreira ao progresso. A abordagem da precaução é muito melhor que considerar os benefícios para a indústria como prioritários. O Princípio dá uma voz para o meio ambiente por meio dos indivíduos e das comunidade que serão afetadas se algo errado acontecer.

### **Transgênicos: seu potencial de causar dano grave e irreversível**

Quando organismos são geneticamente modificados, um pacote de genes é introduzido, incluindo um gene (promotor) para ativar o “gene de interesse” (que faz uma planta produzir um inseticida ou ser tolerante a um herbicida, por exemplo) e o gene da seqüência terminal. Um gene marcador também é incluído porque o processo engenharia genética é muito ineficiente e somente uma pequena porção de células incorporam o DNA exógeno. Portanto, um gene que gera uma mudança identificável, como resistência a antibióticos ou fluorescência, também é incluído. Todos esses genes podem vir de qualquer espécie. Genes bacterianos e virais são comumente usados.

A soja RR transgênica resistente ao Roundup, herbicida à base de glifosato, contém material genético de pelo menos quatro diferentes organismos: promotor do vírus do mosaico da couve-flor (CaMV), peptídeo sinal da petúnia (CTP4), gene EPSPS da *Agrobacterium* CP4 e a sequência 3' (NOS) da *Agrobacterium tumefaciens*.<sup>5</sup>

Os defensores da engenharia genética alegam que o processo é mais preciso do que o melhoramento genético convencional porque se sabe exatamente quais genes são adicionados e, por esta razão, seus efeitos podem ser prognosticados. No entanto, o processo de engenharia genética não é controlável e novas pesquisas científicas mostram que a função dos genes é muito mais complexa do que se imaginava:

*Uma vez liberado no meio ambiente, não será mais possível recolher o organismo vivo.*

· **a posição onde genes são inseridos é feita ao acaso** – outros genes podem ser rompidos e suas funções alteradas;

· **muitas cópias dos genes podem ser integradas, fragmentos adicionais inseridos, seqüências de genes rearranjados ou suprimidos**<sup>6,7,8</sup> – o que pode resultar na inativação de genes, instabilidade ou interferência em outra função do gene;

· **um gene não codifica somente para uma função** – descobertas feitas por estudos como do genoma humano demonstraram que há muito menos genes em organismos superiores do que se previa anteriormente – 30-40.000 no homem em vez dos 120-140.000 imaginados<sup>9</sup>. Isto significa que genes ou partes de genes podem estar envolvidos em diferentes funções, dependendo de como são transcritos e quais outros genes estão envolvidos. Isto enfraquece a suposição de que se adicionando um gene com uma função conhecida significa que esta é a única forma que irá se comportar na prática<sup>10</sup>. De fato, as funções detalhadas do DNA não são bem conhecidas. Teorias científicas e o entendimento de como

os genes trabalham são constantemente desenvolvidos, dando novas visões sobre a complexidade das funções dos genes<sup>11</sup>.

· **um pacote de genes é introduzido onde não há precedentes evolucionários** – a introdução de genes vem de uma mistura de espécies que nunca foram reunidas antes. O comportamento e interação dos genes inseridos, ao longo do tempo, em um genoma complexo, é desconhecido.

A consequência de tal complexidade é a imprevisibilidade dos efeitos ao longo do tempo. Uma vez liberado no meio ambiente, não será mais possível recolher o organismo vivo. A provável irreversibilidade do im-

pacto do organismos transgênicos é atribuído à capacidade de reprodução dos seres vivo. Se os transgênicos cruzarem com espécies selvagens semelhantes, mudanças genéticas podem ser incorporadas no código genético natural e alterar o caminho da evolução.

Os tipos de impactos que podem ocorrer incluem:

· planta transgênica tornando-se erva daninha de difícil controle, como a canola resistentes aos herbicidas no Canadá;

· plantas selvagens adquirindo genes, alterando suas características e alterando ecossistemas. Por exemplo, se plantas selvagens recebem um gene para produzir uma proteína tóxica para uma gama de insetos ou outros organismos, podem sobreviver melhor que outras plantas;

· novas toxinas ou alergênicos produzidos como o resultado da interferência do gene inserido na função do gene natural ou interações inesperadas entre produtos bioquímicos produzido pelos genes inseridos e naturais;

Há evidências de que freqüentemente acontecem problemas com transgênicos:

- experimentos para fazer batatas resistentes aos insetos usando um gene para produzir lecitina causou a redução da taxa de glicoalcalóides, que confere à planta resistência química natural aos insetos. Demonstrou-se que foi um efeito não intencional do próprio processo de engenharia genética, assim como a introdução de outro gene de resistência a inseto gerou o mesmo problema<sup>12</sup>.

- levedura geneticamente modificada pela transgenia para aumentar a fermentação alcoólica aumentou, inesperadamente, 30 vezes mais a concentração de metilglioxal (um composto altamente tóxico) comparado como a linhagem de controle que não passou pelo processo de transgenia<sup>13</sup>.

- pesquisadores da Monsanto, que tentavam aumentar o conteúdo de carotenóides (substância química que é usada para formar vitamina A) em óleos da semente da colza (canola) perceberam que os níveis de vitamina E e de clorofila nas sementes foram dramaticamente e inexplicavelmente reduzidos<sup>14</sup>.

- outros pesquisadores tentando construir geneticamente um caminho para a síntese de carotenóide em tomates encontraram uma super-expressão de um gene que causou uma inesperada redução no tamanho natural da planta<sup>15</sup>.

- A soja transgênica Roundup Ready da Monsanto sofreu inesperadas perdas de produtividade em climas quentes e secos devido a rachadura do caule causada, provavelmente, por aumento de lignina<sup>16</sup>. Os níveis de fitoestrogeno da soja também são 12-14% menores do que na soja convencional, o que significa que produtos cuja matéria prima é derivada da soja Roundup Ready serão menos utilizados como fonte de fitoestrogênos, que são considerados benéficos na dieta de adultos<sup>17</sup>.

Não há nenhum monitoramento independente sobre os cultivos transgênicos no mundo, portanto não haverá um rápido aviso na ocorrência de efeitos inesperados.

Também está ficando claro o quão não administráveis são os riscos dos transgênicos. No Canadá, a colza (canola) resistente a três herbicidas (Liberty, Roundup e Clearfield) tornou-se uma erva daninha. Identificada pela primeira vez em 1998, apenas três anos depois das variedades de colza transgênica resistente a herbicidas serem cultivadas comercialmente<sup>18,19</sup>. Esta resistência a mais de um herbicida é devido ao acúmulo de genes de diferentes transgênicos em uma mesma planta e surge através da polinização cruzada de uma variedade transgênica resistente a um herbicida com outra variedade transgênica resistente a outro herbicida. O problema surgiu porque algumas sementes dessas plantas caem no solo durante a colheita. As sementes ali permanecem e germinam nos anos seguintes. Quando germinam em plantações subsequentes de uma espécie diferente (como o trigo, aveia ou cevada) são então chamadas plantas não desejadas, espontâneas ou erva daninha, que devem ser removidas pelo agricultor. A disseminação dessa super erva daninha no Canadá está levando ao uso de agrotóxicos mais perigosos. Os herbicidas 2,4-D e Paraquat estão sendo recomendados por agências governamentais canadenses para controlar a canola espontânea resistente aos herbicidas<sup>20</sup>.

As imprevisíveis mudanças que a transgenia pode causar, as dificuldades que vão ser enfrentadas com qualquer problema e o potencial de multiplicação e disseminação dos organismos transgênicos significam que esses organismos caem firmemente no escopo do Princípio de Precaução. A avaliação de risco convencional, com tendência ao interesse da indústria biotecnológica, provavelmente não forneceria o grau de proteção que se requer.

## Como a avaliação de risco falha em relação à saúde humana e ao impacto ambiental

Em uma avaliação convencional de risco para liberar transgênicos no meio ambiente, os riscos são descritos como uma equação simples:

$$\text{Perigo} \times \text{probabilidade} = \text{risco}$$

O perigo é o tipo de dano que pode surgir: o câncer ou a morte de um animal, por exemplo. A probabilidade é o quão provável isso pode acontecer, desde muito pouco – como um em um milhão, até muito – como um em dez. A probabilidade, assim como o perigo, é um tema complexo que depende de muitos fatores. Por exemplo, o risco de fluxo gênico, transferência de genes entre espécies diferentes, depende do quanto as duas espécies são relacionadas geneticamente, da época de florescimento de ambas, a distância entre as plantas, o agente polinizador (insetos ou vento) e o clima favorável. Isto é, muitas vezes, definido como “exposição” na avaliação de risco químico.

A avaliação de risco é muitas vezes apresentada como um processo relativamente direto – simplesmente identifica todos os possíveis perigos, calcula a probabilidade com que os problemas podem surgir, avalia quais são os riscos, decide se é aceitável e como administrá-los. Parece muito científico e imparcial, porém não é. Inicialmente concebido para lidar com falhas em máquinas, conflita com a complexidade do meio ambiente natural. Esse é o sistema que forma a base da regulação dos transgênicos no mundo. Podemos perceber que a proteção da saúde humana e do meio ambiente está comprometida.

A avaliação convencional de riscos é objeto de uma crítica bem fundamentada. Esse método de avaliação de riscos é um processo que sofre julgamentos científicos, sociais, políticos e econômicos que tendem a não ser explícitos<sup>21</sup>.

Esses julgamentos são:

· **quais perigos são considerados** – alguém deve escolher o que deve incluir ou excluir. No caso dos transgênicos, a avaliação de risco foca na mudança genética e geralmente exclui efeitos indiretos e impactos secundários em organismos da cadeia alimentar ou implicações para organismos não geneticamente modificados e plantações orgânicas. Esse quadro da avaliação de risco direciona o resultado e reflete o interesse daqueles que criaram o método de avaliação.

· **calculando sua probabilidade** – há sempre uma incerteza científica, e uma escolha precisa ser feita. Com transgênicos é difícil que a probabilidade de um evento acontecer possa ser calculado com alguma confiança, pois o risco desses organismos abrangem inúmeros fatores ambientais e ecológicos. Também depende das pessoas seguirem as leis, o que normalmente não acontece.

· **o que é um risco aceitável** – se o potencial de um impacto é significativo ou não é uma questão social ou de julgamento pessoal – depende de fatores sociais, econômicos e culturais. A avaliação convencional de risco oculta isso e apresenta o risco como algo a ser quantitativamente medido por cientistas e administrado por especialistas em níveis aceitáveis. O tema da contaminação genética de variedades indígenas de milho no México será visto de forma muito diferente por mexicanos, que sofrem com o risco, em relação aos americanos, cujas corporações lucram com o milho geneticamente modificado;

· **lidando com ignorância e surpresas** – quando a evidência é incompleta ou ausente, decidir se há um problema ou não depende do prognóstico da informação, usando dados disponíveis e observando lições do passado para chegar a uma decisão razoável e cuidadosa. A avaliação de risco subestima este problema, assumindo que o conhecimento e o entendimento são suficientes para calcular o risco.

co ou serão suficientes ao longo do tempo com a realização de pesquisas futuras.

O processo também é limitado porque somente perigos que podem ser medidos são comumente incluídos na avaliação de risco. Mudanças sutis de longo prazo no comportamento e na fertilidade não são facilmente incluídas. O que pode, em última instância, provar ser a mais importante mudança pode não fazer parte da avaliação inicial.

A avaliação de risco dos transgênicos é fundamentado com a suposição que eles são importantes para o desenvolvimento da agricultura<sup>22</sup>. Apesar de raramente ser reconhecido no processo de avaliação de riscos, isso influencia a forma como os transgênicos são avaliados. As probabilidades são favoráveis para a indústria e desfavoráveis para a saúde do ser humano e para o meio ambiente.

### **O que o Princípio da Precaução significa na prática?**

O Princípio da Precaução foi usado formalmente pela primeira vez nas leis da Alemanha na década de 1970. Desde então vem sendo adotado como uma abordagem de proteção da saúde do ser humano e do meio ambiente em muitas outras leis nacionais, regionais e internacionais. O Protocolo de Cartagena sobre o transporte entre países de organismos geneticamente modificados (OGMs) é baseado no Princípio de Precaução e o princípio vem sendo endossado pela Comissão Européia. Mas o que significa na prática? Muito freqüentemente, a precaução é traduzida como uma avaliação de risco convencional, como ocorre sob o “European Deliberate Release Directives”<sup>23</sup>, que leva em consideração a influência dos defensores das corporações de biotecnologia.

O Princípio da Precaução é fundamentado em uma série de idéias primárias corretas e bem estabelecidas que são<sup>24, 25</sup>:

- “é melhor prevenir do que remediar”;

- “o poluidor deve pagar”;
- nós devemos olhar por opções “sem remorso”;
- nós devemos reconhecer o valor inerente da vida não humana – assim como a humana;
- a complexidade e variabilidade do mundo real limita a habilidade do conhecimento científico fazer previsões;
- nós temos de reconhecer a vulnerabilidade do meio ambiente natural;
- os direitos daqueles que são afetados por uma atividade devem ser priorizados, em vez de priorizar aqueles que são beneficiados por tal atividade;
- deve haver um exame minucioso de todas as alternativas e uma análise das justificativas e benefícios, assim como os riscos e custos;
- perspectivas em longo prazo, holísticas e inclusivas são necessárias para proteção ambiental.

Novas técnicas estão sendo desenvolvidas, o que permite que essas idéias funcionem na prática. Técnicas deliberativas, a avaliação de critérios múltiplos e outras abordagens fornecem novas formas de conduzir a avaliação de tecnologias e devem ser usadas para a avaliação dos transgênicos. Este processo é muito importante, pois torna o processo de avaliação de risco mais completo. A abordagem do Princípio da Precaução avalia explicitamente as incertezas, as ignorâncias e busca por alternativas, atingindo um escopo muito maior. Analistas políticos concluíram que o Princípio de Precaução é mais científico do que a avaliação de risco convencional<sup>26, 24</sup>.

### **Precaução e OGMs: trazendo a ciência à atenção pública**

A engenharia genética pode mudar organismos de forma imprevisível e desconhecida. A avaliação de seus impactos e se estes

são aceitáveis deve levar em consideração a complexidade dos ecossistemas, a ignorância (o “desconhecimento do desconhecido”) e as incertezas científicas. A avaliação do risco convencional nega o potencial das surpresas e a extensão do dano é avaliado com um alcance limitado de fatores. Muitas vezes é empreendido por um grupo restrito de especialistas cujo conhecimento especializado age contra uma abordagem muito ampla. Enquanto a ciência for usada na avaliação de riscos com a exclusão de critérios mais amplos, como impactos indiretos na agricultura e biodiversidade, e houver a ausência de atenção para incertezas, esse tipo de avaliação não é cientificamente justificável.

Uma abordagem pela precaução não

engessa o progresso, mas pode encorajar a inovação mais amplamente estimulando a pesquisa por alternativas e valorizando a diversidade. Em contraste, a demanda por provas de dano antes que uma ação seja tomada leva à “paralisia por análise”<sup>4</sup>, assim como práticas antigas são defendidas até o seu o final penoso.

Portanto, uma abordagem pela precaução introduz uma análise científica mais rigorosa, com um maior escopo e um maior número de especialistas. A precaução está envolvida em todas as etapas de decisão em áreas onde ação pode levar a efeitos danosos sérios, da prática científica e da pesquisa planejada à regulação e a governação.

### **Como as ameaças da engenharia genética são tão amplas e os impactos danosos podem ser severos e irreversíveis, o Princípio de Precaução deve ser rigorosamente aplicado.**

#### NOTAS:

<sup>1</sup> Raffensberger, C., Tickner, J. (1999), *Protecting Public Health and the Environment: implementing the Precautionary Principle*. Washington: Island Press.

<sup>2</sup> Fisher, E., Harding, R. (1999) *Perspectives on the Precautionary Principle*, Sydney: Federation Press.

<sup>3</sup> O’Riordan, T., Cameron, J. (1994) *Interpreting the Precautionary Principle*, London: Earthscan.

<sup>4</sup> Harremões, P., Gee, D., MacGarvin, M., Stirling, A., Keys, J., Wynne, B., Guedes Vaz, S. (2002). *The Precautionary Principle in the 20<sup>th</sup> Century: late lessons from early warnings*. London: Earthscan.

<sup>5</sup> Guerra, P. M., Nodari, R. O. (2002) *Apostila de Biotecnologia – Parte 3 – Organismos geneticamente modificados*. Laboratório de Fisiologia do Desenvolvimento e Genética Vegetal, Depto. Fitotecnia, CCA-UFSC. <http://www.cca.ufsc.br/dfito/labs/lfdgv/OrganisgenetParte3.doc>

<sup>6</sup> Labra, M., Savini, C., Bracale, M., Pelucchi, N., Colombo, L., Bardini, M. & Sala, F. (2001) Genomic changes in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) plants produced by infecting calli with *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports*, **20**, 325-330.

<sup>7</sup> Shunhong Daí, Ping Zheng, Philippe Marmey, Shiping Zhang, Wenzhong Tian, Shouyi Chen, Roger N. Beachy & Claude Fauquet (2001). Comparative analysis of transgenic rice plants obtained by *Agrobacterium*-mediated transformation and particle bombardment. *Molecular Breeding* **7**: 25-33.

<sup>8</sup> Windels, P., Taverniers, I., Depicker, A., Van Bockstaele, E. & De Loose, M. (2001) Characterisation of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research Technology*, **213**, 107-112.

<sup>9</sup> International Human Genome Sequencing Consortium (2001) Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature* **409**: 860-921.

<sup>10</sup> Commoner, B. (2002) Unraveling the DNA myth. The spurious foundation of genetic engineering. *Harper's Magazine*, February. Available on [www.mindfully.org/GE/GE4/DNA-Myth-CommonerFeb02.htm](http://www.mindfully.org/GE/GE4/DNA-Myth-CommonerFeb02.htm).

<sup>11</sup> e.g. Dennis, C. (2002) The brave new world of RNA. *Nature*, 418, pg. 1222-1224 e artigos relacionados em *Nature Insight – RNA*, 11<sup>th</sup> July 2002.

<sup>12</sup> Birch, A.N.E., G.M.Oghegan, I.E., Griffiths, D.W. & McNicol, J.W. (2002) The effect of genetic transformations for pest resistance on foliar solanidine-based glycoalkaloids of potato (*Solanum tuberosum*) *Ann. Appl. Biol.* **140**:143-149.

<sup>13</sup> Inose, T. & Murata, K. (1995) Enhanced accumulations of toxic compound in yeast cells having high glycolytic activity: a case study on the safety of genetically engineered yeast. *International Journal of Food Science and Technology.* **30**: 141-146

<sup>14</sup> Shewmaker, C.K., Sheehy, J.A., Daley, M., Colburn, S. & Yang Ke, D. (1999) Seed-specific overexpression of phytoene synthase: increase in carotenoids and other metabolic effects. *The Plant Journal*, **20**: 401-412.

<sup>15</sup> Fray, R.G., Wallace, A., Fraser, P.D., Valero, D., Hedden, P., Bramley, P.M. & Grierson, D. (1995) Constitutive expression of a fruit phytoene synthase gene in transgenic tomatoes causes dwarfism by redirecting metabolites from the gibberellin pathway. *The Plant Journal*, **8**: 693-701.

<sup>16</sup> Coghlan, A. (1999) Splitting headache – Monsanto's modified soybeans are cracking up in the heat. *New Scientist*, 20<sup>th</sup> November, p.25.

<sup>17</sup> Lappé, M.A., Bailey, E.B., Childress, C.C. & Setchell, K.D.R. (1998/1999) Alterations in Clinically Important Phytoestrogens in Genetically Modified Herbicide Tolerant Soybeans. *Journal of Medicinal Food.* **1**: 241-245.

<sup>18</sup> Downey, R.K. (1999) Gene flow and rape – the Canadian experience. 1999 BCPC Symposium Proceedings No. 72: Gene flow and

agriculture: relevance for transgenic crops. British Crop Protection Council: Farnham.

<sup>19</sup> Hall, L., Topinka, K., Huffman, J., Davis, L. & Good, A. (2000) Pollen flow between herbicide-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science* **48**: 688,694.

<sup>20</sup> Alberta Agriculture, Food and Rural Development (2002) Outcrossing Between Canola Varieties – A Volunteer Canola Control Issue. <http://www.agric.gov.ca/crops/canola/outcrossing.html>.

<sup>21</sup> Stirling, A. (1998) Risk at a turning point? *Journal of Risk Research.* **1**: 97-110, 1998.

<sup>22</sup> Levidow, L. (1994) Biotechnology regulation as symbolic normalisation. *Technology Analysis and Strategic Management* **6**(3) : pp 273-288.

<sup>23</sup> Mayer, S. & Stirling, A. (2002) Finding a precautionary approach to technological developments – lessons for the evaluation of GM crops. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* **15**: 57-71.

<sup>24</sup> Stirling, A (1999) Science and precaution in the management of technological risk. Report for the European Commission – JRC Institute of Prospective Technological Studies, Seville. <http://www.jrc.es/pub/EURdoc/eur19056len.pdf>

<sup>25</sup> Stirling, A. (1999) Science and precaution in the management of technological risk. Volume II Case Studies. Report for the European Commission – JRC Institute of Prospective Technological Studies, Seville. <http://www.jrc.es/pub/EURdoc/eur19056llen.pdf>

<sup>26</sup> European Commission (2000), Communication on the Precautionary Principle, COM(2000)1, Brussels: European Commission.