

ALIMENTOS TRANSGÉNICOS: QUESTÕES DE BIOSEGURANÇA

Carla G. Moutinho
Professora Auxiliar
Faculdade de Ciências da Saúde – UFP
carlamo@ufp.pt

Victor M. Balcão
Professor Associado
Faculdade de Ciências da Saúde – UFP
vbalcao@ufp.pt

Carla M. Matos
Professora Auxiliar
Faculdade de Ciências da Saúde – UFP
cmatos@ufp.pt

Cristina V. Almeida
Professora Auxiliar
Faculdade de Ciências da Saúde – UFP
calmeida@ufp.pt

As técnicas de modificação genética (MG), suportadas pela tecnologia de DNA recombinante, encerram um tremendo potencial para oferecer melhorias muito significativas na quantidade, qualidade e aceitabilidade dos alimentos a nível mundial. Investigadores e técnicos e engenheiros alimentares podem apoiar a introdução responsável de técnicas de MG desde que sejam satisfatoriamente considerados problemas de segurança (alimentar) do produto, preocupações ambientais, informação ao consumidor e ética. Apenas desta forma se poderão traduzir os benefícios que a tecnologia de DNA recombinante pode trazer, quanto mais não seja para ajudar a alimentar a sempre em crescimento população mundial nas próximas décadas.

1. INTRODUÇÃO

A biotecnologia alimentar pode ser definida, em sentido lato, como sendo a utilização de técnicas biológicas nas colheitas alimentares, animais e microorganismos, com o objectivo de melhorar os atributos, a quantidade, a biosegurança, a facilidade de processamento e os custos de produção dos alimentos. Nesse sentido, a biotecnologia inclui os tradicionais processos de fabrico de alimentos utilizados para o pão, queijo e cerveja, e todas as colheitas e animais para alimentação ou pastoreio desde tempos ancestrais em que a agricultura começou a ser praticada. A mais recente aplicação da biotecnologia à área alimentar traduz-se nas técnicas de modificação genética (também conhecida como engenharia genética, manipulação genética, tecnologia de genes ou tecnologia de DNA recombinante), encontrando-se em franca expansão um pouco por todo o mundo.

O termo colectivo “Organismos Geneticamente Modificados” (OGMs) tem sido usado na literatura científica para descrever animais, plantas e microorganismos nos quais se introduziu DNA alienígena (do ponto de vista do organismo hospedeiro) por tecnologias diferentes das que incluem a comum combinação de um ovo e esperma ou a conjugação bacteriana natural. Em todos os seres vivos a variação genética ocorre naturalmente e de forma aleatória, constituindo a base da evolução de novas espécies ao longo da selecção natural. Mesmo antes de compreender a base científica associada à variação genética natural, o homem tirou partido desta variação natural ao criar e cultivar selectivamente animais selvagens e plantas, para produzir variantes domesticadas melhor adequadas às suas necessidades.

2. A MODIFICAÇÃO GENÉTICA ATRAVESSA A BARREIRA ENTRE ESPÉCIES

Os métodos tradicionais de criação selectiva baseiam-se na transferência de material genético entre indivíduos da mesma espécie. Muitas das alterações aos processos alimentares introduzidas pela engenharia genética são, na sua essência, similares àqueles que ocorrem na natureza, com a excepção de que os primeiros são acelerados e encaminhados pelo “técnico de genes” por forma a reduzir drasticamente a sua natureza aleatória.

Assim, a modificação genética intra-espécies envolve fundamentalmente poucas questões novas. No entanto, a engenharia genética também torna possível mover genes através da barreira inter-espécies, o que torna a tecnologia revolucionária em termos dos benefícios potenciais que daí podem advir mas que também levanta algumas questões preocupantes em termos de biosegurança, ética, escolha informada do consumidor e impacto ambiental.

3. A TECNOLOGIA DE DNA RECOMBINANTE (DNAR)

Posto de forma muito simplista, o engenheiro genético usa uma abordagem do tipo “corte e costura” para transferir genes de um organismo para outro. Para o conseguir necessita de enzimas bacterianas específicas que actuam como “tesoura-e-adesivo” molecular e que reconhecem, cortam (endonucleases de restrição) e ligam (ligases) a molécula de DNA em locais específicos, produzindo DNAR. Durante o processo de modificação genética o gene seleccionado é copiado biliões de vezes, tornando imensuravelmente pequena no organismo modificado a quantidade de material genético original.

Adicionalmente, e porque o DNA nem sempre se move facilmente de um organismo para outro, são normalmente utilizados “veículos genéticos” tais como plasmídeos bacterianos (pequenos aros de DNA bacteriano) ou, alternativamente, algumas células vegetais podem ser transformadas disparando pequenas partículas esféricas de ouro (com diâmetro de 4 µm) revestidas com o novo DNAR em direcção à célula-alvo, utilizando-se para o efeito a chamada “pistola de genes”; a célula modificada pode depois ser utilizada para regenerar um novo organismo. No entanto, a utilização da tecnologia actualmente disponível permite que apenas um pequeno número de células sujeitas a procedimentos de modificação genética sejam modificadas com sucesso, sendo que a regeneração de plantas completas ou animais completos a partir de culturas celulares possa demorar meses ou até anos, inclusivamente. Consequentemente, torna-se indispensável identificar, numa cultura, as células modificadas, usando-se para o efeito os chamados “genes marcadores” (genes intimamente relacionados com o material genético a ser transferido) (Hare e Chua, 2002).

A resistência a antibióticos tem sido geralmente a característica utilizada para marcar os genes, dado ser uma característica rapidamente detectada laboratorialmente, de forma simples, a nível celular, sendo por isso muito útil como base para a selecção. No entanto, a utilização de genes marcadores para antibióticos tem sido alvo de grandes preocupações por parte de organizações contra a utilização de OGMs, sendo que estão actualmente em desenvolvimento outros métodos que permitam efectuar a selecção das células modificadas. Estudos relativamente recentes realizados na Universidade do Hawaii (Science, Maio de 1999) demonstraram a utilização de esperma como “veículo” de transporte de DNA exógeno para um óvulo, uma técnica que foi descrita como sendo de fácil execução técnica, com potencial para transferir grandes porções de DNA, aplicável a animais e com uma taxa de sucesso relativamente alta.

4. PESQUISA DE ALIMENTOS GENETICAMENTE MODIFICADOS

Até meados da década de 90 não era possível determinar se um alimento ou ingrediente alimentar tinha sido modificado geneticamente, dada a escassez de métodos analíticos robustos e fiáveis. Mais recentemente, no entanto, foram desenvolvidos novos métodos analíticos baseados na reacção em cadeia da polimerase (*polymerase chain reaction* ou PCR, um método de amplificação de DNA). Ainda que nenhuma destas novas técnicas tenha sido validada internacionalmente, muitos laboratórios usam-nas já rotineiramente para dar resposta à crescente necessidade de detecção e etiquetagem de alimentos contendo ingredientes ou componentes modificados geneticamente. Espera-se uma validação e harmonização destas metodologias analíticas no futuro próximo.

5. VANTAGENS E BENEFÍCIOS POTENCIAIS DA MODIFICAÇÃO GENÉTICA

A MG possui as seguintes vantagens sobre os métodos tradicionais, para o desenvolvimento de alimentos melhorados: [i] permite uma mais vasta selecção de características para possíveis melhorias: resistência às pestes, doenças e herbicidas, resistência à seca, conteúdo nutricional e propriedades sensoriais melhorados; [ii] é mais rápida e de mais baixo custo; [iii] a alteração desejada pode ser atingida em apenas algumas gerações; e [iv] permite uma maior precisão na selecção de características. Estas vantagens poderão, por sua vez, conduzir a variados benefícios para o consumidor, indústria, agricultura e meio ambiente, especialmente a longo prazo:

- [i] rendimentos agrícolas melhorados com utilização reduzida de pesticidas;
- [ii] possibilidade de cultivo de colheitas em ambientes que antes eram inóspitos (por exemplo através da capacidade acrescida das plantas crescerem em condições de seca, salinidade e extremos de temperatura, consequências do aquecimento global do planeta) conduzindo a uma melhoria da capacidade para alimentar uma população mundial em crescimento exponencial com custos ambientais reduzidos;
- [iii] melhoria dos atributos sensoriais dos alimentos (por exemplo: aroma, sabor, textura, etc.);
- [iv] melhoria dos atributos nutricionais (por exemplo: combate a factores anti-nutritivos e alergénicos, aumento dos teores em vitamina A no arroz (ajudando a prevenir a cegueira nos países Asiáticos), substituição de açúcares por monelina (uma proteína com poder adoçante 100000 vezes superior à sacarose) com grandes benefícios a nível da saúde);
- [v] características processuais melhoradas conduzindo a uma redução dos níveis de

resíduos e custos mais baixos dos alimentos para o consumidor. A MG encerra um potencial tremendo para a humanidade, na medicina, agricultura e indústria alimentar. Nesta última, os benefícios reais não são aqueles que têm sido divulgados até agora, mas sim os benefícios a longo-prazo para o mundo (e especialmente para os países do terceiro mundo): o seu potencial em contribuir para eliminar a fome e a malnutrição enquanto ajuda a prevenir a inevitável pressão sobre os recursos naturais. Ainda hoje, existem centenas de milhões de pessoas nos países do terceiro mundo que não recebem alimentos suficientes numa base regular para aliviar a fome, e ainda menos para assegurar uma nutrição adequada; e isto será muitíssimo agravado em resultado da escalada da população mundial nas próximas décadas. Alguns argumentam frequentemente que existem alimentos mais do que suficientes para alimentar a população mundial, e que tudo o que é preciso é uma "distribuição mais justa" (o que, até hoje, a humanidade falhou redondamente em conseguir).

O que quer que possa ser feito em termos de rendimentos melhorados através de métodos convencionais, tentativas de controle populacional e distribuição mais justa seria, todavia, inadequado para o futuro. A questão importante reside não apenas em como alimentar a população mundial hoje mas em tentar resolver o problema de como o homem conseguirá alimentar o mundo nas próximas décadas, quando a população mundial tiver duplicado, com o maior aumento a verificar-se nos locais mais pobres do planeta. A ciência alimentar não pode por si só resolver o problema, que possui dimensões políticas e económicas gigantescas. Mas, e em absoluto, o problema não será resolvido sem o recurso à ciência alimentar e, em particular, sem o recurso às possibilidades abertas pela MG.

6. ALGUNS ALIMENTOS E INGREDIENTES ALIMENTARES MODIFICADOS GENETICAMENTE, EXISTENTES ACTUALMENTE

A "primeira geração" de materiais alimentares MG incluiu aqueles que eram relativamente fáceis de produzir, escolhidos pela sua probabilidade de rápido sucesso comercial, oferecendo características que por si só os recomendariam aos agricultores. As primeiras plantas edíveis a serem cultivadas à escala comercial e colocadas no mercado, foram o milho MG resistente à broca-do-milho Europeia, uma peste agrícola muito grave, e o feijão de soja (Roundup Ready™, da Monsanto) MG para ser tolerante ao herbicida glifosato. Este último envolve uma ou duas aplicações de um herbicida menos tóxico e mais facilmente degradado do que o regime de pulverização tradicional (várias aplicações de diferentes herbicidas). No entanto, estes produtos MG não ofereceram aos consumidores benefícios facilmente perceptíveis; e devido às campanhas e amplificação pelos meios de comunicação social na primeira

parte do ano de 1999, dando ênfase a problemas e incertezas (algumas reais, algumas pura especulação e algumas até mitos urbanos), a maior parte dos retalhistas e produtores decidiram excluir alimentos e ingredientes MG. Uma das vítimas foi o puré de tomate enlatado, proeminentemente etiquetado de "Produzido a partir de tomates modificados geneticamente". O puré de tomate MG tinha melhor sabor e consistência, era mais barato, ultrapassando consistentemente o puré de tomate tradicional (não MG), mas já não está disponível comercialmente. A manipulação genética do processo de amadurecimento possui o potencial para facilitar a expedição, estender a vida de prateleira e melhorar a qualidade nutricional do produto. Suspeitava-se que as poliaminas desempenhavam um determinado papel no controle do amadurecimento, uma vez que se sabe que diminuem ao longo do processo. Modificando, através de técnicas de DNAr, a acumulação das poliaminas específicas do amadurecimento, espermina e espermidina no tomate, por superexpressão da enzima de levedura *S*-adenosilmetionina descarboxilase, Mattoo *et al.* (2002) criaram tomates que se mantinham na planta durante mais tempo. Inesperadamente, o fruto possuía acréscimos significativos nos níveis de licopeno (um carotenóide hoje associado à prevenção do cancro da próstata). O aumento da ingestão diária de carotenóides tem sido associado a uma redução da aterosclerose e à redução da incidência de alguns tipos de cancro. A quimosina, produzida por microorganismos MG, foi desenvolvida para substituir o coalho animal, enzima coagulante do leite utilizada extensamente na indústria queijeira, devido à escassez da tradicional fonte da enzima: o estômago de vitelo. A enzima MG, definida como "ajuda processual", mais do que um aditivo alimentar em termos regulatórios, tem estado em utilização nos E.U.A. e em alguns países Europeus desde finais da década de 80.

7. BIOSSEGURANÇA E REGULAÇÃO DE ALIMENTOS MODIFICADOS GENETICAMENTE

Quando se introduz uma qualquer tecnologia nova (incluindo a tecnologia de genes) na cadeia alimentar, existe a necessidade de adopção de procedimentos seguros apropriados com vista à protecção da saúde humana. A maior parte dos países do hemisfério ocidental começaram a desenvolver procedimentos de controle regulatórios muito antes de qualquer alimento MG ser lançado no mercado. Estes procedimentos de controle foram postos em prática não porque se tinham identificado problemas de segurança, mas sim devido a uma falta de familiaridade com os OGMs.

Ainda que muitas das preocupações iniciais relacionadas com a segurança dos alimentos MG não se tenham materializado a abordagem cautelosa continuou, pois permanece importante assegurar que não se criam novos perigos para a humanidade. Quando se considera a segurança no que diz respeito à modificação genética, não se podem fazer generalizações

válidas; as circunstâncias têm de ser consideradas e estudadas numa abordagem caso-a-caso, e cada caso deverá ser analisado em relação ao alimento envolvido, se pronto para consumo, quer humano quer animal. Na maior parte dos países, a regulamentação inclui o conceito da *equivalência substancial*: este conceito baseia-se na ideia de que os organismos existentes usados como alimento ou fontes de alimento podem servir como base de comparação quando se avalia a segurança para o ser humano de alimentos ou ingredientes MG. Se um novo alimento ou componente alimentar é considerado ser equivalente substancialmente a um alimento ou componente alimentar existente, a teoria diz que ele *pode ser tratado da mesma forma no que respeita à avaliação da sua segurança e nutrição*. A aceitabilidade ou não-aceitabilidade é estabelecida determinando se um novo alimento é ou não substancialmente equivalente a um alimento convencional análogo em termos de composição, propriedades nutricionais, conteúdo em toxinas e compostos alergénicos, quantidade consumida, tipo de processamento (doméstico ou industrial) de que o alimento poderá ser alvo e consumo por grupos de pessoas vulneráveis (por exemplo, crianças, idosos e pessoas imunodeprimidas).

Os alimentos são distribuídos por três categorias:

- [i] produtos que se demonstrou serem substancialmente equivalentes a alimentos ou componentes alimentares já existentes;
- [ii] produtos que são substancialmente equivalentes a alimentos ou componentes alimentares existentes excepto no que diz respeito a diferenças bem definidas;
- [iii] produtos que não são substancialmente equivalentes a alimentos ou componentes alimentares existentes. Quando se identificam diferenças, são necessários extensos testes de alimentação animal e toxicológicos.

O estabelecimento da *equivalência substancial* é um exercício analítico que tem de ser abordado cautelosamente. A comparação pode ser uma tarefa simples, ou muito demorada e complicada, dependendo da experiência e natureza dos alimentos ou componentes alimentares alvo de comparação. Deve também conter um elemento dinâmico para ter em consideração que a modificação continuada de um alimento irá requerer que o mais recente novo alimento seja comparado com um novo alimento mais antigo apropriado e não necessariamente com a forma original e tradicional do alimento. Nesta definição de *equivalência substancial*, ainda em uso em muitos países incluindo os E.U.A. e o Canadá, a presença de proteína ou ADN novo degradados não exclui *a priori* um alimento MG de poder ser considerado substancialmente equivalente a um alimento convencional.

8. ALGUMAS PREOCUPAÇÕES ESPECÍFICAS RELACIONADAS COM A BIOSSEGURANÇA DE ALIMENTOS MODIFICADOS GENETICAMENTE

Têm sido levantadas inúmeras preocupações relacionadas com a biossegurança de alimentos modificados geneticamente, muitas das quais meramente especulativas e desprovidas de qualquer evidência científica, mas aquelas preocupações substanciais mais vastamente discutidas serão referidas mais abaixo.

8.1. RESISTÊNCIA A ANTIBIÓTICOS

Já fizemos, anteriormente, referência à razão para a necessidade do uso de genes marcadores. Ainda que a transferência da resistência a antibióticos de um gene marcador contido numa planta MG para um microorganismo normalmente presente no tracto gastrointestinal humano não tenha sido demonstrado experimentalmente, tem sido sugerido que o risco potencial (por mais pequeno que seja) de alastrar a resistência a antibióticos terapêuticos poderá ter sérias consequências para a saúde humana devendo, por isso, ser evitado. Na ausência de resultados científicos fiáveis, tem sido recomendado que os genes marcadores para a resistência a antibióticos sejam eliminados de microorganismos em alimentos MG que não tenham sido (como acontece nos iogurtes "vivos", por exemplo, do tipo BioDanone™) inactivados por processamento ou cozedura. De facto, o Reino Unido rejeitou, recentemente, sementes de algodão MG, crúas, para alimentação de animais, devido à presença de um marcador para a resistência a antibióticos na planta MG.

8.2. ALERGENICIDADE

Com a actual percepção dos alergénes alimentares como questão de segurança alimentar, a possibilidade de introdução ou amplificação de alergenidade é uma preocupação. Tal preocupação deveria normalmente ser tomada em linha de conta durante a avaliação em termos de segurança de um alimento produzido a partir de MG. As recomendações da Comissão Europeia sobre a informação científica necessária para suportar uma candidatura a aprovação para um novo alimento ou ingrediente alimentar possuem uma secção cobrindo a avaliação da alergenidade, e afirma que se deve tomar em consideração o potencial alergénico tanto do organismo dador como do organismo receptor. Ocorreu já uma situação deste género onde, numa tentativa a nível de investigação para produzir feijões de soja com conteúdo acrescido em metionina, por transferência de genes da noz Brasileira, se verificou transferir também a alergenidade da noz Brasileira. Se tal projecto tivesse continuado, os

feijões de soja resultantes poderiam ter afectado não apenas as pessoas alérgicas à soja mas também aquelas alérgicas às nozes Brasileiras (Nordlee, 1995). Este caso em particular constituiu um exemplo directo de impedimento da introdução de um alérgeno conhecido. Não existem bases sólidas para assumir que os alimentos produzidos por MG são mais (ou menos) alergénicos do que os alimentos tradicionais.

No entanto, aquando do desenvolvimento de quaisquer novos alimentos, incluindo alimentos GM, devem ser tomadas precauções para assegurar que não se introduz alergenidade inadvertidamente na dieta. Tal requer a avaliação da alergenidade de uma nova proteína por métodos predictivos, testes experimentais e vigilância após-venda baseada na detectabilidade. Os testes para alérgenos suspeitos em produtos GM podem ser efectuados via teste de IgE com soro de indivíduos sensíveis (Herian *et al.* 1990). No entanto, existe ainda a necessidade de testar aqueles produtos nos quais foram inseridos genes provenientes de fontes cuja alergenidade se desconhece. Astwood *et al.* (1996) desenvolveram um desses métodos. A estabilidade de uma proteína ou fragmentos proteicos à digestão em fluidos gástricos simulados pode ser utilizada para avaliar o potencial alergénico de uma proteína.

8.3. TOXICIDADE

A possível produção de substâncias tóxicas em alimentos GM ou metabolitos tóxicos por organismos fermentativos GM é uma preocupação que tem recebido considerável atenção por parte dos meios de comunicação social. Duas situações em particular receberam considerável atenção por parte de algumas organizações, tendo sido amplificadas pelos meios de comunicação social:

8.3.1. O SÍNDROMA EMS

A primeira dessas situações foi a ocorrência de 37 mortes e mais de 1000 doenças nos E.U.A. entre 1988 e 1989, de um estado conhecido como *Eosinophilia-Myalgia Syndrome* (EMS). Investigações efectuadas rastrearam a causa, devida a suplementos dietéticos contendo L-triptofano e a impurezas tóxicas em bateladas específicas de L-triptofano produzido por um processo fermentativo no Japão. As investigações mostraram que a fermentação tinha sido realizada utilizando uma estirpe geneticamente modificada de *Bacillus* mas também que o problema resultou não do organismo geneticamente modificado mas sim de impurezas no meio de crescimento usado.

Demonstrou-se que tinham sido feitas várias alterações ao processo, as quais reduziram a eficácia do sistema de filtração, permitindo que as impurezas fossem transmitidas até ao

produto final. Considerou-se que a causa do problema foram as alterações das condições processuais, particularmente a filtração reduzida, mais do que o próprio L-triptofano ou quaisquer efeitos produzidos pela introdução do OGM. Não obstante, continua-se a acusar o uso do OGM.

8.3.2.A “HISTÓRIA DA BATATA”

A segunda situação, que foi largamente publicitada, relata o suposto efeito adverso, em ratos, de batatas geneticamente modificadas nas quais se tinham introduzido lectinas. As lectinas, complexas proteínas vegetais, parecem deter as pestes nas plantas, pelo que a inserção do gene que codifica para a produção de lectinas numa colheita vegetal tinha sido investigada como uma forma de aumentar a resistência às pestes. O estudo que causou a controvérsia foi, desde então, revisto, havendo concordância no que respeita à necessidade de desenvolvimento de testes adequados *in vivo* antes que uma nova colheita geneticamente modificada com uma inserção de lectina seja libertada para consumo humano ou animal.

9. QUESTÕES AMBIENTAIS

A Directiva 90/220/EEC da União Europeia está relacionada com a libertação deliberada para o ambiente de OGMs. Uma libertação experimental, tal como uma experiência de campo de uma colheita alimentar, requer consentimento por parte do Governo. As candidaturas a consentimento têm de incluir um volume considerável de dados e uma avaliação detalhada do risco de perigo para a saúde humana e para o ambiente. Se for identificado um risco ou existir alguma incerteza à cerca do nível de risco, o candidato pode propor medidas para gerir ou eliminar o risco.

Em 1998, a Comissão Europeia anunciou uma revisão da Directiva 90/220/EEC que tratará, entre outras coisas, da monitorização ambiental de colheitas geneticamente modificadas. Desde 1987, mais de 25,000 experiências de campo com plantas GM foram levadas a cabo em 45 países sem consequências ambientais adversas, representando uma evidência acumulada considerável no suporte da segurança e registos ambientais favoráveis para a nova tecnologia de genes. No entanto, tem sido questionada a relevância dos dados ambientais obtidos a partir de pequenas experiências de campo para cultivos em grande escala em vários milhões de hectares de terra. Perto dos finais da década de 1990, mais de 80 variantes geneticamente modificadas de várias colheitas alimentares incluindo o milho e a soja, tinham recebido aprovação regulatória para cultivo em grande escala e utilização no alimentos nos Estados Unidos e no Canadá. Estima-se que, em 1998, 100 milhões de hectares de terra tinham sido plantados em todo o mundo com colheitas transgênicas.

De longe, a maior percentagem desta terra plantada com colheitas transgênicas encontra-se nos Estados Unidos e no Canadá, juntamente com algumas plantações significativas na China e na Argentina. Ainda que ocorrendo principalmente fora da Europa, estes desenvolvimentos a grande escala não podem ser ignorados no contexto de uma economia global. Adicionalmente, os primeiros ensaios de campo com formas de vida transgênica que não plantas, tais como artrópodes e nemátodos, foram aprovados em 1998. A experiência passada com introduções de novas espécies em ambientes onde não existiam naturalmente mostrou que os potenciais problemas podem levar várias gerações a manifestarem-se. Presentemente, a adopção global da tecnologia de modificação genética está travada por incertezas relacionadas com consequências ambientais resultantes da fertilização cruzada e transferência de pólen entre colheitas transgênicas e plantas sexualmente compatíveis (Daniell, 2002). O problema da possível polinização cruzada de colheitas transgênicas para colheitas não-transgênicas é uma preocupação para os agricultores “orgânicos”, que temem que, se ela ocorrer, os seus produtos não possam continuar a designar-se “orgânicos”, e para aqueles que querem ter o direito de escolher produtos alimentares não-transgênicos. De facto, a polinização acidental de colheitas cultivadas intencionalmente para a produção de produtos orgânicos ocorreu já no Canadá, onde a presença de material geneticamente modificado em colza desqualificou os agricultores para a obtenção do certificado de “produto orgânico”. Existe também a preocupação de que características tais como a resistência a herbicidas possa espalhar-se às ervas-daninhas, criando “super ervas-daninhas” e de que o problema da resistência a insectos possa ser agravado. Tem sido sugerido que a adopção, a nível planetário, pelos agricultores, de colheitas resistentes aos insectos, pode levar à extinção de determinadas espécies de insectos (p.ex. Lepidoptera), reduzindo assim a biodiversidade do planeta. Alguns dos potenciais riscos ambientais são virtualmente impossíveis de prever (ver Tabela 1).

Finalmente, a regulamentação ambiental é de muito difícil aplicação quando não existem padrões claros contra os quais se pode medir a performance de um produto (por exemplo, quantos pássaros, borboletas e flores selvagens deveriam existir numa quinta e em que extensão podem os seus números ser afectados antes que o meio ambiente seja danificado?). As preocupações ambientais acerca das colheitas transgênicas podem ser sumariadas num conjunto de questões cobrindo aspectos tais como:

- [i] os organismos transgênicos são prejudiciais ao meio ambiente?;
- [ii] quem faz investigação científica nesta área e quanto tempo durará?;
- [iii] será que as colheitas transgênicas não reduzirão a quantidade de pesticidas utilizados beneficiando assim a vida selvagem?;
- [iv] será que os genes das colheitas transgênicas não se espalharão às plantas selvagens?;
- [v] será que a regulamentação dos OGMs é adequada?

Tabela 1. Potenciais (detrimentais ou benéficos) impactos das colheitas transgênicas no meio ambiente.

Classe	Exemplo
Impacto directo de características novas sobre o meio ambiente	
Interação química com seres vivos	Efeitos não-alvo da resistência a insectos; Destino e consequência de toxinas insecticidas no solo;
Alteração na persistência ou invasão da colheita	Persistência no habitat agrícola (erva daninha); Invasão em habitats naturais;
Fluxo de genes por polinização para ervas daninhas e plantas re-introduzidas no meio ambiente	Transferência de tolerância a herbicidas para ervas daninhas; Transferência de tolerância a stress biótico e abiótico para ervas daninhas ou espécies re-introduzidas no meio ambiente; Acumulação de genes de tolerância a herbicidas;
Impacto indirecto da alteração de práticas agrícolas sobre o meio ambiente	
Eficiência reduzida do controle de pestes, doenças e ervas daninhas	Desenvolvimento de ervas daninhas tolerantes a herbicidas por evolução e selecção de entre a pool de genes das ervas daninhas; Desenvolvimento de resistência às toxinas Bt nas pestes;
Efeito na biodiversidade da vida selvagem	Efeitos dos herbicidas de espectro alargado;
Efeitos no solo e na água	Alteração no uso de herbicidas; Alteração dos padrões de cultivo do solo;

[Adaptado de Dale *et al.*, 2002]

10. PREOCUPAÇÕES SÓCIO-ECONÓMICAS

Um exemplo de preocupação sócio-económica está relacionada com o potencial para a má utilização dos chamados *genes terminadores* que impedem as sementes de germinarem. Ainda que existam patentes para a tecnologia de genes terminadores, esta ainda não se encontra disponível comercialmente. Existem receios de que as grandes multinacionais poderiam usar tais genes em todas as suas colheitas transgênicas para impedir os agri-

cultores de armazenarem sementes e que as plantas que produzem sementes "barradas" poderiam tornar a vida mais difícil para os agricultores pobres nos países em desenvolvimento. No entanto, os agricultores só comprariam essas sementes se elas apresentassem uma vantagem global clara para eles; de outra forma continuariam a cultivar cultivares convencionais e a guardar as sementes da forma tradicional. Mais, se ocorrer polinização cruzada, as plantas transgênicas contendo genes terminadores poderiam transferir a sua esterilidade a outras plantas cultivadas por perto. Todavia, pelo lado positivo, a tecnologia de genes terminadores poderia assegurar que as colheitas transgênicas não se tornassem elas próprias ervas-daninhas.

11. BENEFÍCIOS VS. RISCOS E O FUTURO

O exercício de uma escolha informada por parte dos consumidores requer que estes tenham informação precisa e não tendenciosa. Actualmente, acontece exactamente o contrário. O fornecimento de tal informação será um factor chave na aceitação de aplicações alimentares da tecnologia de genes. Cientistas académicos e industriais, organizações profissionais, sociedades informadas, retalhistas de produtos alimentares, governos e organizações de consumidores, todos devem desempenhar um papel activo na comunicação ao grande público dos benefícios e das preocupações acerca dos alimentos produzidos por modificação genética. A percepção dos benefícios potenciais da tecnologia de genes dependerá tanto do trabalho dos investigadores na procura e resolução dos problemas potenciais já mencionados, como de uma comunicação eficaz entre investigadores e público. Engenheiros e técnicos alimentares encontram-se numa excelente posição para apoiar a introdução responsável das técnicas de modificação genética, desde que sejam devidamente endereçadas questões de biosegurança do produto, preocupações ambientais, informação e ética. Apenas desta forma poderão ficar disponíveis os benefícios que esta tecnologia pode conferir, quanto mais não seja para ajudar a alimentar uma população com crescimento exponencial nas décadas que se avizinham.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astwood, J.D. *et al.* (1996). Stability of food allergens to digestion in vitro. *In: Nature biotechnology* 14, pp. 1269-1273.
- Dale, P.J., Clarke, B., Fontes, E.M.G. (2002). Potential for the environmental impact of transgenic crops. *In: Nature biotechnology* 20, pp. 567-574.
- Daniell, H. (2002). Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *In: Nature biotechnology* 20, pp. 581-586.
- Hare, P.D., Chua, N.-H. (2002). Excision of selectable marker genes from transgenic plants. *In: Nature biotechnology* 20, pp. 575-580.
- Herian, A.M. *et al.* (1990). Identification of soybean allergens by immunoblotting in sera from soy-allergic adults. *In: International Archives of Allergy Applications and Immunology* 92, pp. 193-198.
- Institute of Food Science and Technology (IFST). (1996). *Guide to Food Biotechnology*. Available from IFST, 5 Cambridge Court, 210 Shepherd's Bush Road, London W6 7NJ.
- Mattoo *et al.* (2002). Ripening on the vine. *In: Nature biotechnology* 20, p. 613.
- Nordlee, J.A. *et al.* (1995). Identification of Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *In: New England Journal of Medicine* 334, pp. 688-692.
- Nuffield Foundation on Bioethics (1999). *Report "Genetically modified crops: the ethical and social issues"*.