

PLANTAS TRANSGÊNICAS E SUA IMPORTÂNCIA NA ALIMENTAÇÃO

VANIA MODA CIRINO – Doutora, Pesquisadora do Instituto Agrônomo do Paraná IAPAR, Área de Melhoramento e Genética, C.P 481, CEP86001-970 - Londrina - PR, E-mail: vamoci@pr.gov.br).

Introdução

O homem é extremamente dependente das plantas para sua alimentação, pois tudo o que ele utiliza como alimento é constituído de plantas ou é derivado direta ou indiretamente das mesmas. Por milhares de anos, durante o processo de domesticação, as plantas tem sido selecionadas para o desenvolvimento de variedades mais produtivas ou mais adequadas para o consumo humano. Até o início deste século, o melhoramento de plantas era realizado ao acaso como uma arte, e não como ciência, somente após o redescobrimto das leis de Mendel é que os princípios da genética foram reconhecidos e aplicados ao melhoramento de plantas. A maioria das variedades modernas, utilizadas para cultivo, originaram-se da transferência de genes dentro da mesma espécie ou entre espécies relacionadas, através da hibridação sexual e posterior seleção. Algumas vezes, a espécie a ser melhorada não contém variabilidade genética suficiente para permitir o melhoramento desejado e conseqüentemente tem levado o melhorista a buscar novas tecnologias. Um dos pontos críticos do melhoramento convencional é a dependência da compatibilidade sexual entre a espécie que se pretende melhorar e a espécie doadora do gene que controla o caráter de interesse. A nova metodologia de modificação genética, envolvendo a técnica do DNA recombinante e da transformação genética, diferem das metodologias utilizadas anteriormente na extensão e na velocidade das mudanças que podem ser produzidas, entretanto não diferem fundamentalmente nos objetivos.

Plantas transgênicas uma visão comparativa

Plantas transgênicas são aquelas que possuem inserido em seu genoma, DNA que tem sido manipulado em laboratório, através dos métodos de DNA recombinante. Esses métodos desenvolvidos nos últimos vinte anos, com a descoberta das enzimas de restrição que são capazes de cortar o DNA em sequências específicas de nucleotídeos e das enzimas ligase que são capazes de juntar fragmentos de DNA muito precisamente (Watson et al., 1983), tornou possível preparar novas combinações de genes no laboratório e adicionar sequências de DNA que regulam a expressão temporal e espacial dos mesmos nas plantas transgênicas. Com os avanços obtidos na técnica do DNA recombinante e nos métodos de transformação genética de plantas, tornou-se possível a transferência de genes de várias classes de organismos, ampliando o “gene-pool” da espécie a ser melhorada geneticamente, ultrapassando os limites impostos pela incompatibilidade sexual. No melhoramento de plantas convencional, novas combinações de genes são criadas através da hibridação sexual entre progenitores com características desejáveis. Muitas dessas hibridações são efetuadas entre genótipos pertencentes a própria espécie, mas ocasionalmente, quando a variabilidade não existe dentro da espécie, efetua-se a introgressão de genes de espécies ou gêneros relacionados. Neste processo, genes responsáveis pelas características desejáveis são herdados juntamente com os indesejáveis, sendo necessário efetuar vários retrocruzamentos do híbrido obtido com o a espécie cultivada, para inserir o caráter desejável no “back ground” genético agronomicamente desejável. Com a transformação genética é possível incorporar nas plantas genes que eram praticamente inacessíveis através dos métodos de hibridação convencional. Com o emprego desta técnica genes isolados de microorganismos, animais e espécies de plantas não relacionadas podem ser introduzidos na planta, de forma mais precisa e pontual, o que é impossível através do método convencional. O melhoramento de plantas, através da hibridação sexual tem sido praticado pôr centenas de

anos e a sociedade em geral está familiarizada com os seus produtos. Em um programa de melhoramento, milhares de novas combinações genéticas são produzidas a cada ano, através da hibridação sexual como também, inúmeras novas combinações são formadas através da alopolinização em populações naturais. É notório que no melhoramento convencional certas combinações genéticas podem algumas vezes levar a produção de altos níveis de produtos indesejáveis como por exemplo o glucosinolato em espécies de Brassica (Thompson & Hughes, 1986), glicocalcóides em batata (National Research Council, 1989) e altos teores de tanino em sementes de sorgo (Hahn et al., 1984). Em decorrência disso, procedimentos tem sido desenvolvidos para identificar e eliminar segregantes indesejáveis durante a fase de seleção.

Para as plantas transgênicas procedimentos similares são efetuados para prevenir que genótipos indesejáveis sejam liberados no ambiente ou liberados comercialmente. Não há evidências de que os princípios que governam a expressão dos transgenes e a sua integração nas plantas bem como a dispersão desses genes na população, diferem essencialmente daqueles que operam em genes nativos (Dale et al., 1993). Entretanto, o método do DNA recombinante permite introduzir em plantas genes responsáveis por características diferentes daquelas que os melhoristas estavam habituados, como por exemplo produção de fármacos ou de monômeros e polímeros para produção de plásticos biodegradáveis.

Genes que modificam a qualidade de um produto da planta, ou conferem resistência a insetos, doenças ou herbicidas, não tornam essas plantas mais invasoras, entretanto questões desse tipo devem ser colocadas, sendo necessária a comparação das mesmas com suas versões não transgênicas para determinar o efeito da modificação em diferentes ambientes e circunstâncias. Em virtude da pouca experiência sobre a transferência de genes de organismos não relacionados é necessário efetuar uma avaliação de risco antes que cada novo tipo de planta transgênica seja liberada para cultivo em pequena escala e antes das mesmas serem liberadas comercialmente. Há um consenso entre pesquisadores, melhoristas de plantas, ambientalistas e a sociedade em geral,

que é necessário regular de alguma forma os testes e a liberação comercial desses produtos. Em reconhecimento da necessidade de se avaliar os riscos referentes a liberação de plantas transgênicas no meio ambiente, é que essas liberações são supervisionadas pôr autoridades reguladoras que operam em diferentes países. Pôr exemplo, todos os países membros da Comunidade Econômica Européia (EEC) operam sobre as diretivas 90/219 que trata das normas para trabalho em contenção, 90/220 , que trata da liberação no meio ambiente de organismos geneticamente modificados (OGM) e 98/221 que trata da rotulagem dos alimentos geneticamente modificados. Nos EUA três agencias governamentais no âmbito da agricultura (USDA), meio ambiente (EPA) e saúde (FDA) são responsáveis pela regulamentação da liberação de OGM no ambiente.

No Brasil, a lei 8.974 de 5 de janeiro de 1995 e o Decreto 1752 de 20 de dezembro de 1995 estabelecem normas para o uso das técnicas de engenharia genética na construção, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, liberação, e descarte de OGM, visando proteger a vida e a saúde do homem, dos animais e das plantas bem como o meio ambiente e conferem a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio a competência de propor normas e regulamentos relativos as atividades que envolvem OGMs.

Desde a sua designação em junho de 1996, a CTNBio já publicou dezoito Instruções Normativas, que estabelecem as diretrizes técnicas para garantir a segurança dos produtos geneticamente modificados. Desta forma além do controle habitual que sofrem os produtos obtidos pela tecnologia tradicional, os produtos geneticamente modificados estão sujeitos a um controle adicional, feito pela CTNBio, sob os aspectos de biossegurança. Isto garante, que os produtos transgênicos a serem comercializados tenham as mesmas características de segurança, inocuidade e eficácia exigidas também para os produtos convencionais.

Principais características inseridas

Apesar das frequentes afirmações de que os cientistas estão criando novas formas de vida e brincando de Deus, a ciência de plantas geneticamente modificadas está ainda em um estágio recente, possibilitando a transferência de poucos genes em um “background” genético contendo milhares de genes. A tecnologia para desenvolver uma modificação de um gene particular esta em estado recente, como também os métodos para avaliar os prováveis e atuais resultados dessas modificações.

As características que mais prontamente são manipuladas usando a tecnologia do DNA recombinante são aquelas controladas por um único e bem caracterizado gene.

A primeira planta transgênica foi obtida em 1983 e a partir dessa data um aumento substancial de pesquisas e esforços ao redor do mundo estão sendo direcionados para esta área, tanto em setores públicos como privados. Na agricultura, a biotecnologia moderna têm sido utilizada como uma ferramenta para complementar os métodos de melhoramento convencionais, visando a obtenção de novas variedades de plantas com características agronômicas desejáveis.

A cada ano agrícola, a área global cultivada com variedades transgênicas tem aumentado consideravelmente. Em 1998, a área global cultivada com plantas transgênicas sofreu um acréscimo de 16.8 milhões de hectares, passando de 11 milhões de hectares em 1997 para 27.8 milhões de hectares em 1998. Variedades transgênicas de cinco principais espécies economicamente importantes foram cultivadas em oito países em 1998, sendo que três deles, Espanha, França e África do Sul, cultivaram comercialmente plantas transgênicas pela primeira vez. Os EUA continuam sendo o principal produtor de variedades transgênicas, contribuindo com cerca de 74% da área global cultivada. (James, 1998). As cinco principais culturas transgênicas cultivadas em 1998 foram em ordem decrescente de área, soja, milho, algodão, canola e batata. Soja e milho transgênico , contribuíram respectivamente com 52% e 30% da área global cultivada (James, 1998). Em termos de características tolerância a herbicidas contribuiu com 77% da área

global cultivada, resistência a insetos com 22% e a resistência combinada a insetos e herbicidas representou 1% da área global, com perspectivas para um aumento no futuro.

No Brasil até a presente data, foi autorizada a liberação planejada no meio ambiente de 781 experimentos, envolvendo nove culturas (milho, soja, algodão, cana de açúcar, fumo, eucalipto, batata, mamão e arroz) e cinco características. As culturas liberadas com maior frequência foram milho (88,6%), soja (6,27%), algodão (3,07%) e cana de açúcar (1,41%), predominando as características de tolerância a herbicidas (56%), resistência a insetos (41,4%), resistência conjunta a insetos e herbicidas (2,0%) e resistência a vírus (0,7%). Também houve a autorização para a liberação comercial da soja geneticamente modificada, tolerante ao herbicida Roundup Ready, onde cinco cultivares de soja RR foram registradas para cultivo no Ministério da Agricultura, mas por razões de natureza jurídica o plantio comercial permanece suspenso.

Durante esta fase inicial, os benefícios da transformação genética de plantas tem sido grandemente direcionada para os agricultores. Os melhoristas de plantas tem concentrado esforços principalmente nas modificações que possibilitam ao agricultor efetuar um controle mais eficiente de pragas, doenças e plantas invasoras. Outras modificações as quais incluem aumento na absorção de nutrientes, tolerância a estresse abiótico como seca, calor, salinidade, toxicidade de alumínio, etc., poderão ser importantes para países em desenvolvimento, onde o principal objetivo é aumentar rendimentos com uma redução externa de inputs. A fixação simbiótica de nitrogênio em cereais também está sendo explorada.

Em uma próxima fase será dada maior ênfase para a obtenção de plantas com características desejáveis que irão beneficiar o consumidor final, através da produção de alimentos mais saudáveis. Futuramente modificações incluindo melhoria da qualidade nutricional do produto, ou das características de processamento trarão benefícios para todos os componentes da cadeia produtiva.

Atualmente, muitas das pesquisas com transgênicos estão direcionadas para a adição de genes que conferem características com pouco valor comercial, mas com um grande valor social. Um elevado número de pessoas em países em desenvolvimento sobrevivem com uma dieta alimentar constituída basicamente por um desses produtos, mandioca, milho, arroz e trigo, que são fontes alimentícias deficientes em alguns macro-nutrientes (carboidratos, lipídeos e proteínas) e muitos micronutrientes essenciais (incluem 17 minerais e 13 vitaminas). Conseqüentemente a dieta de 800 milhões de pessoas não contém macronutrientes suficientes e são deficientes em micronutrientes. Exemplos da magnitude da deficiência de micronutriente, podem ser citados. Estima-se que 250 milhões de crianças sofrem de deficiência de vitamina A, destas 180 milhões habitam no continente Asiático, sendo que esta deficiência pode causar anualmente, cegueira irreversível em aproximadamente 500 mil. Aproximadamente dois bilhões de pessoas, crianças e mulheres em idade reprodutiva, sofrem de deficiência de ferro e conseqüentemente de anemia e 1,5 bilhões de pessoas sofrem de deficiência de iodo (Delia Penna, 1999). Os alimentos básicos, citados anteriormente contém quantidades insuficientes de muitas vitaminas e minerais essenciais, portanto a suplementação nutricional desses alimentos é uma prática necessária. Com a finalidade de adequar o nível de vitaminas e minerais essenciais nos alimentos é que pesquisas voltadas para o estudo e manipulação do metabolismo secundário em plantas tem sido retomados.

O arroz (*Oryza sativa* L), constitui a principal fonte de alimento para mais de dois bilhões de pessoas e não contém beta caroteno no endosperma das sementes, que é um precursor da vitamina A,. Para melhorar o valor nutricional do arroz, a engenharia genética foi utilizada como uma ferramenta para possibilitar a síntese de beta caroteno no endosperma das sementes. A cultivar de arroz japônica, Taipei 309, foi transformada através do método de disparo de micropartículas com um gene proveniente de narciso silvestre (*Narcissus pseudonarcissus*) que codifica uma enzima envolvida na biosíntese de carotenoides (Burkhardt, et al., 1997). A modificação genética do arroz para produzir beta-caroteno no grão que posteriormente é

convertido em vitamina A no organismo humano, resultou no arroz transgênico denominado de "golden rice". Este arroz geneticamente modificado apresenta uma coloração amarelo dourada e contém beta caroteno suficiente para suprir as necessidades de vitamina A na dieta de pessoas, como os Asiáticos por exemplo, que tem o arroz como a principal fonte de alimento. Com a mesma finalidade de melhorar a qualidade nutricional do arroz é que genes que aumentam consideravelmente a disponibilidade de ferro também foram incorporados. Melhorias na composição de aminoácidos também foram obtidos, através da incorporação de um gene de ervilha (*Pisum sativum*) que codifica a síntese de legumina (Leg A), tendo como promotor o gene da glutelina do arroz (Gt1). Análise da segregação da legumina em plantas transgênicas sugeriu herança mendeliana monogênica, sendo que a proteína de reserva de sementes de grãos de leguminosas foram expressadas no endosperma de sementes de arroz transgênicos (Sindhu, et al., 1997).

Recentemente muitos trabalhos sobre proteínas de reserva nas sementes foram efetuados, com a finalidade de melhorar as propriedades nutricionais e de processamento das culturas. Sementes de muitas culturas não possuem um teor adequado de aminoácidos necessários para o crescimento de animais e seres humanos. Os seres humanos e os animais monogástricos não podem sintetizar dez dos 20 aminoácidos essenciais e portanto necessitam obtê-los de suas dietas. Pesquisas vem sendo efetuadas visando alterar a síntese de aminoácidos e a composição das proteínas armazenadas em sementes de um grande número de espécies cultivadas. As estratégias que tem sido adotadas para alcançar esses objetivos envolvem alterações na regulação de enzimas envolvidas na biosíntese de aminoácidos e alterações de proteínas de reserva, visando aumentar o teor de aminoácidos essenciais.

Entre os aminoácidos essenciais, lisina e treonina são considerados os aminoácidos essenciais limitantes em grãos de cereais, que representam a fonte de alimentos de um grande número da população mundial. Em decorrência da importância nutricional da lisina e treonina, a regulação do metabolismo dos mesmos tem sido extensivamente estudados a nível bioquímico, genético, e mais

recentemente molecular (Galili, 1995). O desenvolvimento de milho com alto teor de lisina, para ser utilizado na alimentação animal ilustra as mudanças que continuamente estão sendo efetuadas no metabolismo das plantas através da engenharia genética. Genes que codificam duas das enzimas chaves na síntese de lisina foram isolados de *Escherichia coli* e *Corynebacterium*, engenheirados e transferidos para o milho (Mazur et al., 1999)

Metionina é um aminoácido essencial limitante em grão de espécies leguminosas e progressos para aumentar seu teor, através do melhoramento convencional não tem sido obtidos. Utilizando-se da engenharia genética, três estratégias tem sido empregadas, aumento do teor de metionina livre, aumento do teor de proteína armazenada com aumento de resíduo de metionina e transferência de genes 2S albumina (BNA) que codificam proteínas ricas em metioninas como o da castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*) ou o gene homólogo de girassol. Plantas transgênicas de diversas espécies de leguminosas apresentaram uma elevação no teor de metionina ao redor de 5 a 10% do total de proteína na semente. Algumas espécies apresentaram 80 % do padrão do teor de proteínas estabelecidos pela FAO (Muntz et al., 1998).

O desenvolvimento de sementes de soja com aumento na concentração de ácido oléico também ilustram exemplos de modificação nas características das sementes. Modificações no genoma da soja tem levado a produção de ácidos graxos desejáveis e conseqüentemente a produção de alimentos mais saudáveis. Ácidos graxos insaturados são mais saudáveis que ácidos saturados, e a forma monoinsaturado, ácido oléico, é também mais estável em frituras e cocção do que as formas poli-insaturadas linoléico e linolênico. Os genes que afetam a composição de ácidos graxos em soja foram clonados, sendo que através da transformação genética alguns genes foram silenciados, o que proporcionou a elevação do teor de ácido oléico nas sementes de 25% nas sementes das linhagens convencionais para 85% nas linhas transgênicas (Mazur et al., 1999).. Outro enfoque é a utilização de plantas de soja para a produção de ácido vernólico e ácido

ricinólico, derivados do ácido oléico que são utilizados na fabricação de tintas e plásticos. Os genes necessários foram derivados de mamona e vernonia e foram transferidos para a soja

A produção de altos níveis de ácidos graxos em canola transgênica foi obtida, através da super expressão do gene Ch FatB2, proveniente de *Cuphea hookeriana*, uma planta oleaginosa originária do México (Dehesh et al., 1996).

Degradação de micotoxinas em plantas como uma estratégia para melhorar a qualidade de grãos está sendo empregada. Fumosinas são micotoxinas produzidas por *Fusarium moniliforme* e algumas espécies relacionadas que causam doenças em espigas de milho. Essas toxinas causam grande impacto na cadeia alimentar, afetando a saúde humana animal e vegetal. Genes que codificam enzimas responsáveis pela degradação da fumosina foram isolados de fungos e bactérias, e através da super expressão dos mesmos em plantas, alimentos mais seguros para o consumo humano e animal poderão ser obtidos (Duvick, et al., 1997)

Melhoria na qualidade de um produto, visando o processamento industrial, já é uma realidade. Melhoria da qualidade da farinha de trigo para panificação tem sido obtida através da alteração da expressão de genes que codificam sub unidades de glutenina de alto peso molecular (HMW-GS) (Blechl, et al., 1998). Progressos também tem sido obtidos no sentido de controlar os danos causados pela germinação dos grãos nas espigas na pré-colheita. Trigo transgênico expressando proteínas capazes de inibir a ação de enzimas hidrolíticas, ou que codificam inibidores de alfa amilase tem sido obtidos (Henry et al., 1994).

Estudos tem possibilitado a identificação e manipulação de genes que codificam enzimas envolvidas com o amadurecimento de frutos, sendo que os mesmos tem permitido a obtenção de plantas transgênicas de várias espécies apresentando frutos com coloração, textura, tempo de armazenamento e características de processamento melhorados (Grierson & Schuch, 1994).

Estudos visando reduzir o acúmulo de limarina, um glicosídeo cianogênico presente em raízes e folhas de mandioca vem sendo realizados. Recentemente o ciclo de síntese e o sitio celular de

armazenamento de limarina foram detectados, Em adição as enzimas cianogênicas linamarase e hidroxinitrileliase, e os respectivos genes que as codificam foram clonados. Muitas questões referentes a síntese, transporte e acúmulo de glicosídeos cianogênicos estão sendo estudados e posteriormente irão contribuir para o desenvolvimento de plantas transgênicas com reduzidos teores de cianogênio (McMahon et al., 1995).

As plantas transgênicas são economicamente atrativas e eficientes como uma alternativa para o sistema que envolve microorganismos na produção de biomoléculas. Avanços na biotecnologia tornaram possível a exploração de plantas como bioreatores para a produção de proteínas, carboidratos e lipídeos. Plantas transgênicas que expressam proteínas para uso farmacêutico ou industrial, representam uma alternativa econômica para os sistemas tradicionais de produção através da fermentação. Vacinas tem sido produzidas em plantas como resultado da expressão de transgenes. Também tem sido demonstrado que genes que codificam antígenos de bactérias e vírus patogênicos podem ser expressos em plantas . Tubérculos de batata transgênicos expressando um antígeno bacteriano, estimulou respostas imunológicas humoral e mucosal quando foram consumidos como alimentos. Plantas transgênicas expressando antígenos para hepatite B, diarréia bacteriana (*Escherichia coli*) e diarréia virótica (Norwalk vírus) foram relatadas. Estes resultados evidenciam o uso de plantas como um veículo para a produção de vacinas (Mason & Arntzen, 1995). Fragmentos do gene que codifica a beta caseína, uma proteína do leite humano, foram introduzidos em batata (*Solanum tuberosum*) sobre o controle do promotor bidirecional manopinasintetase que é induzido por auxina. , sendo utilizado *Agrobacterium tumefaciens* como vetor. A presença do DNA humano que codifica a beta caseína foi detectada através de PCR e southern blot. A beta caseína foi identificada nas folhas e nos tubérculos. Esses resultados abrem um caminho para a produção de leite humano em plantas, para a substituição de leite bovino, utilizado na alimentação infantil, melhorando a nutrição infantil e prevenindo doenças gástricas e intestinais em crianças. (Chong et al., 1997). Plantas de batata transgênicas que

sintetizam insulina humana também foram obtidas, sendo que futuramente poderá ser utilizada por pacientes diabéticos (Arakawa, et al., 1998).

Futuramente, com o avanço nas pesquisas genômicas, a extensão de genes com potencial para desenvolver novas cadeias bioquímicas em plantas irão aumentar.

Brevemente teremos o desenvolvimento dos alimentos curados, onde fatores que causam alergias serão removidos.

Pode-se observar que a aplicabilidade das plantas transgênicas são imensas, porém uma das grandes polêmicas é como maximizar o seu potencial de uso e ao mesmo tempo minimizar os riscos.

Conclusão

O fator determinante do desenvolvimento futuro da técnica da engenharia genética na produção de alimentos será a aceitação do consumidor.

A aceitação e a adoção de novas tecnologias por parte da sociedade depende de inúmeros fatores, entre eles os valores sócio-culturais, econômicos, religiosos e educacionais. Outros fatores também podem ser citados tais como a confiabilidade nas instituições de controle e regulação, credibilidade no fabricante, custo e fatores relacionados ao entendimento desta sociedade quanto ao benefício real dessa tecnologia em resposta às suas necessidades diárias.

Ao contrário do que ocorreu na área farmacêutica, a biotecnologia aplicada às plantas, tem gerado grande polêmica, surgindo campanhas contra os alimentos transgênicos na Europa, Austrália, Brasil e iniciando-se também na América do Norte, onde organizações ambientalistas e alguns grupos religiosos têm pressionado o FDA, para rotular os alimentos geneticamente modificados. A crescente oposição aos alimentos geneticamente modificados disseminados por toda a parte e as restrições impostas aos produtos alimentícios provenientes dessa tecnologia poderá adiar o uso da biotecnologia moderna na agricultura.

Os questionamentos por parte da sociedade com relação aos riscos à saúde humana e ambiental advindas da utilização desta tecnologia e a falta de credibilidade nas instituições de controle e regulação tem contribuído para a rejeição dos produtos transgênicos. A falta de credibilidade é decorrente dos escândalos ocorridos no continente Europeu, como a carne contaminada com a doença da vaca louca, a crise da dioxina na Bélgica, e a contaminação das latas de Coca-Cola. Todos esses acontecimentos aterrorizaram os consumidores, fazendo com que a campanha anti alimentos transgênicos ganhe mais adeptos.

Outro aspecto relevante é que toda campanha educativa das companhias detentora dessa tecnologia tem sido voltada especificamente para os produtores, os consumidores foram totalmente ignorados. A falta de esclarecimento da sociedade sobre as novas tecnologias têm levado as pessoas de uma forma globalizada a questionarem seus benefícios e recusarem os seu produtos. Por outro lado as informações disponíveis ao público são reforçadas por ideologias, muitas vezes sem nenhum embasamento científico e repletas de emoção. É comum encontrar na mídia expressões como "Cashing in on Hunger", "Demon Seeds", "Terminator Technology" e "Frankenstein Foods". No Japão grande parte da inquietação pública com os alimentos transgênicos é atribuída a uma ausência efetiva de esclarecimentos sobre a tecnologia e seus possíveis riscos (Butler et al., 1999). Uma controvérsia particularmente acirrada sobre a tecnologia dos transgênicos tem sido conhecida como "Terminator Technology" (Service, 1998). Ela tem interferido substancialmente nos conceitos éticos, no qual ela prove um meio de impedir que as sementes das culturas possam ser utilizadas na semeadura da safra seguinte. Esta tecnologia poderá colocar os agricultores sobre extrema dependência das companhias. Esta tecnologia coloca a ética comercial e a ética humanitária em conflito direto. A elaboração por parte das empresas, de um plano efetivo de comunicação, para discutir com a sociedade o papel da biotecnologia moderna e suas relações com a segurança alimentar, preservação do meio ambiente e o agronegócio é fundamental para eliminar as barreiras impostas na utilização de plantas

geneticamente modificadas. Deve-se criar oportunidades para que as informações possam ser transmitidas com clareza e transparência, pois somente uma sociedade devidamente informada sobre os riscos e benefícios dessa tecnologia, poderá decidir se deseja ou não consumir alimentos geneticamente modificados.

Como historicamente comprovado os avanços da ciência geram reações iniciais contrárias, mas a biotecnologia moderna poderá ajudar na erradicação da fome da miséria e da desnutrição, embora a solução desses problemas depende em grande parte de decisões políticas. A biotecnologia poderá ser uma parceira nessa luta, através do desenvolvimento de plantas resistentes às doenças, a fatores abióticos adversos como a seca, salinidade, toxicidade de alumínio, mais eficiente no uso de nitrogênio e outros nutrientes e produtos com maior teor de proteínas, vitaminas e aminoácidos essenciais. A tecnologia do DNA recombinante poderá providenciar alguma solução para erradicação da miséria e da fome, mas decisões políticas também poderá afetar o uso da tecnologia e as pessoas que irão beneficiar-se delas.

Literatura citada

Arakawa, T.; Jie, Y.; Chong, D.K.X.; Hough, J., Engen, P. C.; Langridge, W. H. R. A plant based cholera toxin B subunit insulin fusion protein protects against the development of autoimmune diabetes. *Nature Biotechnology* (16): 934 – 938, 1998.

Blechl, A. E.; Le, H. Q.; Anderson, O. D.; Muntz, K. Engineering changes in Wheat flour by genetic transformation. *Journal of Plant Physiology* (152): 703 – 707, 1998.

Burkhardt, P. K.; Beyer, P.; Wunn, J.; Kloti, A.; Armstrong, G.; A.; Schledz, M.; Lintig, J. Von; Potrykus, I.. Transgenic rice (*Oryza sativa* L.) endosperm expressing daffodil (*narcissus pseudonarcissus*) phytoene synthase accumulates phytoene, a key intermediate of provitamin A

biosynthesis. *Plant Journal* (11): 1071 -1078, 1997.

i

Butler, D. , Reichhardt, T.; Abbott, A .; Dickson, D.; Saegusa, A . Long term effect of GM crops serves up food for thought. *Nature* (398): 651 – 656, 1999.

Chong, D. K. X.; Roberts, W.; Arakawa, T.; illes, K.; Bagi, G.; Slattery, C. W; Langridge, W. H. R Expression of the human milk protein beta casein in transgenic potato plants. *Transgenic Research* (6): 289-296, 1997.

Dale, P. J. ; Irwin, A.; Scheffler, J. A. The experimental and commercial release of transgenic crop plants. *Plant Breeding*, 111: 1-22, 1993.

Dehesh, K.; Jones, A .; Knutzon, D. S.; Voelker, T. A . Production of high levels of 8:0 and 10:0 fatty acids in transgenic canola by overexpression of ch FatB2, a thioesterase CDNA from *Cuphea hookeriana*. *Plant Journal* (9): 167 – 172, 1996.

Della Penna, D. Nutritional genomics: manipulating plant micronutrientes to improve human haealth . *Science* (285): 375 – 379, 1999.

Duvick, J.; Rood, T.; Maddox, J.; Gilliam, J. Molecular genetics of host especific toxins in plant disease. *Proceedings of the 3 rd tottori Intenational Symposium Daisen, tottori, Japan, 24 – 29 August. 1997. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. P. 369- 381, 1998.*

Galili, G. Regulation of lysine and threonine syntehesis. *Plant Cell* (7): 899 - 906, 1995.

Grierson, D.; & Schuch, W. Control of ripening. In: The production and uses of genetically transformed plants, Bevan, M. W and Harrison, B. D (editors). Chapman & hall Ltd. , London, UK P. 53-62, 1994.

Hahn, D. H.; Rooney, L. W.; Earp, C. F. Taninins and phenols of Sorghum. *Cereal Foods World* (29): 776-779, 1984.

Henry, R. J.; McKinnon, G.; Haak, I. A Brennan, P. S.. Improvement of cereal quality by genetic engineering. Proceedings of the Royal Australian Chemistry Institute, Cereal Chemistry Division Symposium on Improvement of Cereal Quality by Genetic Engineering, Sydney, Australia, 12 – 16 September 1993. Plenum publishing Corporation, New York, USA, p. 129 – 132, 1994

James, C. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs N° 8 ISAAA: Itahaca, NY, 1998.

McMahon, J. M.; White, W. L. B.; Sayre, R. T.; Cyanogenesis in cassava (*manihot esculenta*) *Journal of Experimental Botany* (46): 731 – 741, 1995.

Mason, H. S.; & Arntzen, C. J. Transgenic plants as vaccine production systems. *Trends in Biotechnology* (13): 399 – 392, 1995.

Mazur, B.; Krebbers, E.; Tingey, S. Gene discovery and product development for grain quality traits. *Science* (285): 372 – 375, 1999.

Muntz, K.; Christov, V. Saalbach , G. Saalbach, I.; Waddel, D.; Pickardt, T.; Schieder, O Wustnhagen, T.; Genetic engineering for high methionine grain legumes. *Nahrung* (420); 125 – 127, 1998.

Natioanl Research Council, USA, Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decisions Natioanl Academy Press, Washington DC, 1989

Service, R F. Seed-sterilizing "Terminator-Technology" sows discord. *Science* (282): 850-851, 1998.

Sindhu, A .S.; Zheng, A . W.; Murai, N ; Zheng, Z. W. The pea seed storage protein legumin was synthesized, processed, and accumulated stably in transgenic rice endosperm. *Plant Science Limerick* (130): 189- 196, 1997.

Thompson, K. F. & Hughes, W. G. Breeding and varieties In: D. H. Scarisbrick & Daniels R. W. (eds) *Oilseed Rape*. William Collins Sons Ltda. p. 32 - 82, 1986

Watson, J. D. Tooze, J.; Kurtz, D. T. *Recombinant DNA: A Short Course*, NY, Scientific American Books, 1983.