

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MELHORAMENTO GENÉTICO EM VEGETAIS E A PRODUÇÃO DE TRANSGÊNICOS

Victor Cordeiro Moreira Brito¹
Neila Guimarães Alves²

Introdução

Este artigo é resultado de uma síntese feita a partir da monografia apresentada em 2006, como requisito para a conclusão do Curso Técnico em Biotecnologia da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio.

Este estudo tem como tema uma comparação entre diferentes métodos de *melhoramento genético*, em vegetais.

Estamos entendendo melhoramento genético como um conjunto de técnicas utilizadas em plantas e animais com o objetivo de obtenção de indivíduos ou populações com determinadas características desejadas.

Aqui serão estudados dois métodos: o *melhoramento por hibridação*, fundamentado nas leis de Mendel, com o cruzamento de indivíduos previamente selecionados; e o *melhoramento genético com base nas técnicas de engenharia genética*, na qual se transferem genes de um organismo para outro da mesma espécie ou de espécie diferente, modificando-se assim a estrutura de um organismo, com o intuito de se obter um terceiro com as características específicas desejadas.

A produção destes organismos, geneticamente modificados, principalmente vegetais comestíveis, tem criado uma certa desconfiança e incer-

¹ Aluno do Curso Técnico de Biotecnologia da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – EPSJV/FIOCRUZ.

² Professora-pesquisadora da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – EPSJV/FIOCRUZ.



teza, já que os estudos realizados ainda não comprovaram com segurança que, ao serem ingeridos, não causam nenhum mal à saúde. Para além desta questão, outro ponto polêmico é a possibilidade da existência de patentes que monopolizem a produção de tais plantas.

Foram estudadas as técnicas de hibridação e os métodos de produção de transgênicos, levando-se em consideração as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos, para proceder a avaliação de qual dos dois têm melhores desempenhos e aplicações, para encontrar um motivo que explique a razão da busca de novas técnicas de melhoramento genético, considerando que existem as antigas, que são mais naturais e já consagradas.

Histórico do melhoramento genético

Desde os primórdios da agricultura, há cerca de 10 mil anos, quando o homem abandonou o nomadismo, as populações humanas já utilizavam, empiricamente, métodos de melhoramento genético que imitavam os processos da evolução natural. Como exemplos, temos a domesticação e melhoramento do trigo, da cevada, da ervilha e da lentilha, que datam de sete mil anos a.C. A banana, a maçã, a batata, o milho e o sorgo, entre outras culturas vegetais, passaram pelo processo de melhoramento a partir de cinco mil anos a.C. Outras ainda foram melhoradas já na era cristã, como foram os casos do abacaxi, de certas hortaliças, do morango, da seringueira e do dendê.

Com o comércio entre os povos e as grandes navegações, ocorreram trocas de sementes de diversas plantas. Assim, as que existiam em certos locais passaram a ser cultivadas em várias partes do mundo, em diferentes solos e climas.

Os primeiros experimentos genéticos foram realizados em 1860 pelo monge austríaco Gregor Mendel. Ele realizava o cruzamento de ervilhas de cheiro, com diferentes características, e observava como elas surgiam nas gerações seguintes.



Embora Mendel não tenha nem chegado perto do DNA, seus trabalhos foram cruciais para o desenvolvimento de uma nova área da Biologia; e muito embora o mundo científico só tenha reconhecido isso muitos anos após a sua morte, seus trabalhos com ervilhas alicerçaram o que hoje conhecemos como Biotecnologia.

Com a redescoberta das leis de Mendel, métodos de melhoramento genético começaram a ser utilizados pelos geneticistas em plantas cultivadas, animais domésticos e microrganismos úteis, como os envolvidos na produção de antibióticos, vitaminas e outros produtos.

Em 1953, o americano James Watson e o inglês Francis Crick anunciaram a descoberta da estrutura da molécula de DNA e, em 1962, eles receberam o Prêmio Nobel de Medicina por essa descoberta. Watson chegou a preconizar que “os mistérios da vida estarão sob o controle das futuras gerações – dependendo da rapidez com que os segredos do DNA forem elucidados” (LEITE, 2000: 26).

A era da biotecnologia propriamente dita só teve início em 1973, pelas mãos dos norte-americanos Stanley Cohen, da Universidade de Stanford, e Herbert Boyer, da Universidade da Califórnia, em São Francisco. Eles conseguiram recombinar um trecho do DNA de uma bactéria, depois de terem incluído na seqüência um gene de sapo, tornando, deste modo possível obrigar a bactéria a produzir uma proteína de sapo.

Com esse experimento, de um só golpe, eles conseguiram demonstrar que o código genético era de fato universal, pois provaram que os DNAs de espécies distantes eram compatíveis e que os homens tinham adquirido a faculdade de criar quimeras verdadeiras, híbridos no sentido mais profundo da palavra.

Cohen e Boyer batizaram sua técnica de DNA recombinante³. Esta tecnologia trouxe várias vantagens como: oferecer uma nova base para o entendimento e diagnóstico de doenças, e para auxiliar na produção de proteínas humanas para serem empregadas em terapia e vacinas.

³ Fragmento de DNA incorporado artificialmente à molécula de DNA de um vetor de clonagem que pode ser amplificado em um organismo diversas vezes. Desta forma, grande quantidade do DNA em questão pode ser obtida. O DNA inserido no vetor de clonagem usualmente contém o gene de interesse. (GUERRANTE, 2003:147)



Após a descoberta da tecnologia do DNA recombinante surgiram várias técnicas biotecnológicas como: pesquisa e produção de plantas e animais transgênicos; clonagem de mamíferos; produção de proteínas humanas em microrganismos, plantas e animais; o mapeamento de genomas; técnicas de detecção e diagnóstico por PCR (Polymerase Chain Reaction); terapia gênica e etc.

Em 1972, o bioquímico Paul Berg realizou um experimento que mudou a história: juntou duas moléculas de DNA em laboratório, inserindo um trecho do DNA do vírus SV40, causador de tumores, no DNA da *Escherichia coli*, bactéria bastante usada em pesquisas. Criou, deste modo, o primeiro transgênico de que se tem notícia, abrindo assim o caminho para a criação dos organismos geneticamente modificados (OGMs). Esta experiência deu a Paul Berg o Prêmio Nobel de Química em 1980.

Em 1974, Berg, preocupado, publicou na revista *Science*, uma solicitação para a suspensão dessas experiências até que fossem criadas normas para esses tipos de pesquisas. Cientistas, advogados e oficiais dos governos de todo o mundo se reuniram, em 1975, na Conferência de Asilomar, na Califórnia (USA), com a finalidade de debater o assunto.

Como consequência, foram criadas, em 1976, diretrizes para experiências com recombinantes. Neste mesmo ano, Robert Swanson e Herbert Boyer concluíram que a técnica poderia ser usada para produzir compostos em escala industrial e fundaram a Genentch.

Em 1982 chegava ao mercado a primeira droga feita com a técnica do DNA recombinante – a insulina – licenciada pela empresa farmacêutica Eli-Lilly. Atualmente existem dezenas de produtos farmacêuticos transgênicos.

É interessante notar que o uso da transgenia não gerou polêmica na sociedade, em se tratando de medicamentos, existindo hoje dezenas deles que são vendidos sem restrições.

Porém, o mesmo não ocorreu, em 1994, com a chegada ao mercado da primeira planta transgênica – o tomate *FlavSavr* – produzido pela empresa americana Calgene, posteriormente, absorvida pela multinacional Monsanto.



Em 1983, uma década antes, essa técnica de misturar DNAs em plantas já tinha começado a ser usada. Três grupos de cientistas de duas instituições acadêmicas, a Universidade de Washington, em Saint Louis, nos Estados Unidos e a Universidade de Gent, na Bélgica, conjugados com a multinacional de origem americana, conseguiram adicionar genes de uma bactéria em duas plantas distintas, criando os primeiros vegetais com genes de seres diferentes.

Melhoramento genético natural

Ao longo do seu processo de evolução, os seres vivos sofrem, naturalmente, modificações em suas características, conseguindo se adaptar melhor às condições ambientais em que vivem ou acabam sendo eliminadas.

A estrutura genética dos seres vivos é alterada por uma mutação gênica, que introduz novos tipos de alelos, pela derivação genética e pela seleção natural, que seleciona os alelos que conferem melhor adaptabilidade às condições reinantes, por eliminação dos menos adaptados.

Se tivermos uma população em uma dada região, cujas condições ambientais se alterem, no decorrer do tempo, dois fatos podem se dar: a) a população não altera a sua estrutura genética, tornando-se assim cada vez menos adaptada ao seu entorno, podendo chegar à extinção; b) a estrutura genética da população já foi alterada no decorrer do tempo, produzindo uma população adaptada ao novo ambiente. Em um entorno modificado e com características diferentes da população original, é possível considerá-la, portanto, como uma espécie diferente da original.

Neste caso, tem-se uma espécie ancestral dando origem a uma única espécie filha. Isto acontece porque, durante todo o processo tem-se uma única população adaptando-se a um mesmo meio em transformação. É preciso não esquecer que as modificações ambientais afetam, uniformemente, toda a população, cujos membros trocam genes entre si, livremente.



Porém, quando temos uma população que se separa em duas e estas passam a explorar regiões que sofrem, no decorrer do tempo, alterações ambientais diferentes, podemos ter a extinção destas duas populações filhas, se elas não se adaptarem às novas condições do ambiente, ou podemos ter a evolução destas populações e, conseqüentemente, o surgimento de duas novas espécies, diferentes entre si e diferentes da ancestral comum.

Evolucionismo

Quando o Homem começou a estudar os seres vivos que o rodeavam, tornou-se necessário explicar o aparecimento destes, bem como o seu próprio. Foram, então, surgindo diferentes explicações.

Como é sabido, segundo algumas crenças, existe uma ou várias entidades todo-poderosas responsáveis pela criação de tudo o que conhecemos (criacionismo), e que os seres vivos criados pelos atos de criação seriam perfeitos e, portanto, permaneciam imutáveis (fixismo), tal qual haviam sido criados. Logo, o aparecimento de novas espécies era considerado impossível, bem como a extinção de outras.

Estas crenças foram durante centenas de anos tidas como uma verdade. Assim, durante muito tempo, o criacionismo e o fixismo foram as explicações mais aceitas pela maioria das pessoas.

Com o passar do tempo, no entanto, foram surgindo novas evidências, como os fósseis, por exemplo, exigindo assim outras explicações, já que contestavam o fixismo.

Assim, vários cientistas, através de seus estudos, procuraram mostrar que as espécies não permaneciam imutáveis ao longo dos milênios e que, ao contrário, evoluíam.

Um dos primeiros cientistas a propor uma teoria sistemática que tentava explicar a origem e evolução das espécies foi o naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829). Sua teoria foi publicada em 1809, em livro denominado *Filosofia Zoológica*.

Segundo Lamarck, o princípio evolutivo estaria baseado em duas leis fundamentais:



- **Lei do uso e desuso:** esta explicava que o uso de determinadas partes do corpo faz com que elas se desenvolvam, enquanto que o desuso, ao contrário, faz com que se atrofiem.

- **Lei da transmissão dos caracteres adquiridos:** concluía que as alterações provocadas em determinadas características de um organismo, pelo uso e desuso, seriam transmitidas aos descendentes.

Atualmente, a teoria de Lamarck não é aceita, pois suas idéias apresentam um erro básico: as características adquiridas não são hereditárias, pois se verificou que as alterações genéticas que ocorrem em células somáticas não alteram as informações contidas nas células germinativas (óvulos e espermatozóides), estas sim responsáveis pela transmissão dos caracteres hereditários.

Outro cientista que formulou uma teoria para explicar o surgimento de novas espécies foi Charles Darwin (1809-1882), naturalista inglês que desenvolveu uma teoria evolucionista, conhecida como teoria da seleção natural, e que veio a se constituir na base da moderna teoria sintética.

Os princípios básicos das idéias de Darwin podem ser resumidos do seguinte modo:

- Os indivíduos de uma mesma espécie apresentam variações em todos os caracteres, portanto, não são idênticos entre si, ou seja, apresentam uma variabilidade.
- Todo organismo tem grande capacidade de reprodução, produzindo muitos descendentes. Entretanto, apenas alguns dos descendentes chegam à idade adulta.
- O número de indivíduos de uma espécie se mantém mais ou menos constante ao longo das gerações. Assim, há uma grande “luta” pela vida entre os descendentes, pois apesar de nascerem muitos indivíduos, poucos atingem a maturidade, o que mantém constante o número de indivíduos na espécie.
- Na “luta” pela vida, organismos com variações favoráveis às condições do meio onde vivem têm maiores chances de sobreviver, quando comparados aos organismos com variações menos favoráveis. Com



essas variações vantajosas, os organismos têm, portanto, mais chances de deixar descendentes. Assim, ao longo das gerações, a ação da seleção natural sobre os indivíduos mantém ou melhora o grau de adaptação destes ao ambiente.

A teoria de Darwin estava correta, porém incompleta. Ele não conseguiu explicar porque as espécies apresentavam variedades, nem como elas surgiam. Isto porque ele não conhecia como se dava a transmissão da herança de pais para filhos, não conhecia gene, mutação; em resumo, a genética ainda não havia sido construída.

Foi somente mais tarde, com novas pesquisas, maior conhecimento e novas tecnologias, que pôde ser formulada a teoria sintética da evolução.

Esta, também conhecida como neodarwinismo, foi formulada a partir da contribuição de estudos de vários pesquisadores, que tendo por base os princípios darwinistas de variabilidade e seleção natural, acrescentaram noções atuais de genética, como mutação gênica, mutação cromossômica, recombinação, migração e oscilação genética.

Gregor Mendel e suas descobertas

Mendel foi um monge agostiniano, botânico e meteorologista. Ele nasceu na região de Troppau, na Silésia, que então pertencia à Áustria. Sendo um estudante brilhante, sua família o encorajou a seguir os estudos superiores. Mas como não tinham dinheiro para suportar o custo dos estudos, mais tarde, em 1843, quando então tinha 21 anos, o aconselharam a ingressar na Ordem de Santo Agostinho (atualmente o mosteiro de Brno, na República Tcheca).

Estudou ainda, durante dois anos, no Instituto de Filosofia de Olomuc, na República Tcheca, e na Universidade de Viena (1851-1853). De 1843 a 1854 foi professor de ciências naturais na Escola Superior de Brno, dedicando-se ao estudo do cruzamento de muitas espécies: feijões, chicória, boca-de-dragão, plantas frutíferas, abelhas, camundongos e, principalmente, ervilhas que cultivou, durante sete anos, na horta do mosteiro onde vivia e analisando, matematicamente, os resultados.



A partir desse estudo, em 1865, Mendel apresentou em dois encontros da Sociedade de Historia Natural de Brno, as leis da hereditariedade, que hoje conhecemos como Leis de Mendel.

Após 1868, as tarefas administrativas o mantiveram ocupado e ele não pôde dar continuidade às suas pesquisas, vivendo o resto da sua vida em relativa obscuridade. E seu trabalho ficou igualmente ignorado por todo o final do século XIX.

Gregor Mendel morreu em 6 de janeiro de 1884, em Brno, de uma doença renal crônica.

As descobertas de Mendel

Como já foi dito, por sete anos (1856-1863), Mendel cruzou ervilhas do gênero *Pisum*, produzindo híbridos com distintas características – plantas altas com plantas anãs, sementes amarelas com sementes verdes, sementes lisas com sementes rugosas, vagens verdes com vagens amarelas, vagens lisas com vagens rugosas, flores axilares com flores terminais e cascas das sementes cinzas com cascas das sementes brancas.

Ele observou, com surpresa, que tais características não se diluíam, nem resultavam em um meio-termo, mas se mantinham distintas: a planta híbrida, resultante do cruzamento de uma planta alta com uma anã, era sempre alta e não de tamanho médio. No, entanto, quando ele cruzou duas dessas plantas híbridas, que eram altas, obteve como resultado plantas altas, porém, apareceu também um quarto delas com característica anã.

Mendel fez uso da estatística para analisar os resultados encontrados. Ele considerou que cada uma das plantas cruzadas da primeira geração ou geração parental (P) contribuía com as características das gerações subseqüentes (F1 e F2). Portanto, embora a característica anã desaparecesse na geração F1, ela reaparecia em alguns indivíduos da F2. Assim, ele deduziu que a segunda geração (F1) ainda deveria conter “informações” para produzir indivíduos pequenos. E que tais “informações” deveriam vir aos pares – um do “pai” e outro da “mãe” – isto é, só um elemento do par é passado para cada indivíduo da terceira geração (F2).



Este processo foi chamado de “lei da segregação independente”. Ou seja, para Mendel os “fatores” herdados eram transmitidos igualmente por cada um dos pais e se mantinham separados, não se misturando, como era a crença na época. Além do que, cada um dos “fatores” podia gerar informações “dominantes”, que determinavam a aparência da prole em F1, e “recessivas” que se mantinham latentes, reaparecendo em um quarto dos descendentes na geração F2.

Em uma segunda etapa de experimentos, Mendel passou a estudar o comportamento de duas características de cada vez. Ele, então, cruzou ervilhas de linhagens puras com sementes amarelas e lisas com ervilhas também puras de sementes verdes e rugosas. Nos experimentos anteriores ele já havia concluído que as sementes amarelas e lisas eram dominantes, enquanto que as verdes e rugosas eram recessivas.

Cruzando estas plantas acima descritas, Mendel obteve o resultado já esperado em F1 – todas as plantas apresentaram sementes amarelas e lisas, já que estes eram os fatores dominantes.

Em seguida, autofecundou os indivíduos de F1 obtendo em F2 quatro tipos de descendentes, duas com aparência dos ancestrais e duas com combinações inéditas. Assim, das 556 sementes obtidas por Mendel nesta segunda geração, apresentaram a seguinte distribuição dos “fatores”.

Experimento que deu origem à Lei da Segregação Independente

Fenótipos observados	Números obtidos	
	Valor absoluto	Relação
Amarelas lisas	315	315/556
Amarelas rugosas	101	101/556
Verdes lisas	108	108/556
Verdes rugosas	32	32/556

Os números encontrados neste experimento aproximavam-se bastante da proporção esperada de 9 : 3 : 3 : 1.



Observando-se as duas características, simultaneamente, verifica-se que elas obedecem à 1ª Lei de Mendel e que a característica *cor de semente* segrega-se independentemente da característica *forma da semente*. Daí o nome da segunda lei: Lei da Segregação Independente.

A partir da redescoberta dos estudos de Mendel, em 1900, por Hugo de Vries, na Holanda; Erich Tschermak, na Áustria e Karl Correns, na Alemanha, a ciência genética se desenvolveu muito e deu origem à técnica da hibridação, que consiste em transferir características desejáveis de um indivíduo que a possui para a sua prole.

No entanto, como essa técnica de melhoramento genético é natural, isso significa dizer que a técnica não dá garantias de obtenção dos resultados desejados, já que é baseada nas leis de Mendel. Sabemos então que a segregação dos genes se dá de modo independente e ao acaso, sendo portanto impossível programar tal ou qual herança.

Mas, como vimos, a ciência genética não parou de se desenvolver. Surgiram novas técnicas que não têm fundamento nas leis da hereditariedade mendeliana, mas sim na engenharia genética. Esta vem sendo usada na realização de melhoramento genético de modo artificial, porém já se consegue introduzir, com exatidão, as características desejadas.

No entanto, estas técnicas não são totalmente livres de complicações. Por um lado, elas não são confiáveis, porque os estudos realizados ainda não comprovaram que os alimentos modificados podem ser ingeridos sem causar nenhum mal à saúde. E por outro, foi criada a possibilidade do surgimento de patentes que monopolizam a produção de tais alimentos.

Criam-se também problemas legais, ainda não resolvidos. Como por exemplo, embora o governo brasileiro não tenha ainda liberado a sua produção, permitiu as colheitas de vegetais transgênicos, cujas sementes entraram, ilegalmente, no país.



Melhoramento genético artificial

A biotecnologia

Modernamente definimos biotecnologia como o processo que envolve manipulação do material genético. Podemos considerar, também, como o uso industrial de processos de fermentação de leveduras para a produção de álcool ou cultura de tecidos para extração de produtos secundários e, ainda, um processo tecnológico que permite a utilização de material biológico para fins industriais.

A biotecnologia incorpora conhecimentos das áreas de microbiologia, bioquímica, genética, química, engenharia, informática, entre outras. São agentes biológicos como microrganismos, células e moléculas, ou enzimas, anticorpos, DNA, etc., resultando em bens como alimentos, bebidas, produtos químicos, energia, produtos farmacêuticos, pesticidas. Ela contribui com serviços, como a purificação da água, tratamento de resíduos, controle de poluição etc.

A transferência específica de genes específicos de um organismo para outro é denominada de engenharia genética e pode ser utilizada para a transferência de genes entre organismos, filogeneticamente distantes, produzindo os organismos geneticamente modificados (transgenia).

A base para a realização da transgenia é a universalidade do código genético, responsável pela transmissão das informações hereditárias. Sendo universal ele pode ser “lido” de forma idêntica por qualquer organismo no qual ele seja inserido. Desta forma, um gene que determina a resistência de um fungo a um certo herbicida, se inserido funcionará da mesma maneira em qualquer planta.

Transgênicos e OGMs

Os transgênicos e os organismos geneticamente modificados são aqueles que tiveram os seus materiais genéticos alterados pelo homem, através da transferência de um ou mais genes de uma espécie para outra ou da mesma espécie.



Os organismos transgênicos surgiram em 1973, quando os cientistas Cohen e Boyer, que coordenavam grupos de pesquisa em Stanford e na Universidade da Califórnia, conseguiram transferir um gene de rã para uma bactéria. Este foi o primeiro experimento realizado com sucesso que utilizou a técnica do DNA recombinante, técnica esta que, posteriormente, passou a ser chamada de engenharia genética.

Embora a palavra biotecnologia tenha sido usada pela primeira vez em 1919, por um engenheiro agrônomo na Hungria, foi somente a partir da década de 70 que se tornou possível ultrapassar a barreira das espécies, com o desenvolvimento da engenharia genética.

Essa técnica permite uma interferência direta no genoma de um ser vivo, seja pela introdução de um novo gene de origem externa, ou na inativação de um já existente. Uma vez realizado esse processo, o organismo modificado passará a produzir a substância induzida pelo comando do gene recebido. Quando isso ocorra em plantas comestíveis, pode haver mudanças na qualidade dos alimentos.

Os OGMs têm sido assunto de muitas especulações, equívocos e acertos. Os transgênicos, que na verdade são OGMs, têm aparecido com maior frequência na vida de muitas pessoas, nos mais distantes países do globo terrestre. Isto tem feito com que os pesquisadores se debrucem sobre suas pesquisas na busca de um conhecimento mais seguro e que possa ter melhor aceitação.

Assim, as técnicas mais antigas e consagradas têm sido deixadas de lado e a prova disso é que quase não se encontra material publicado sobre os processos de melhoramento genético natural. Em contrapartida, são muitos os artigos e livros sobre a técnica de produção de transgênicos.

OGMs e transgênicos: uma questão conceitual

Convencionalmente, utilizamos os termos OGM e transgênico como sinônimos. Porém, existe uma diferença técnica entre eles. Os OGMs são organismos que foram modificados com a introdução de um ou mais genes provenientes de um ser vivo da mesma espécie do organismo alvo.



Um exemplo típico de OGM é o tomate *FlavrSavr*, que foi modificado geneticamente para apresentar um processo de manutenção mais lento, de modo que permita que os frutos possam ser colhidos maduros ainda no pé. Isso melhora sua qualidade nutricional e seu acondicionamento.

A técnica aí empregada consiste em isolar uma dada seqüência do fruto e voltar a inseri-la em sentido inverso no próprio fruto. Deste modo, tem-se um OGM e não um transgênico.

O termo transgênico foi utilizado pela primeira vez em 1983, na Universidade da Pensilvânia, quando dois cientistas inseriram genes humanos de hormônio de crescimento em embriões de ratos, produzindo os chamados "super-ratos". Este termo é utilizado para designar um ser vivo que foi modificado geneticamente, recebendo um gene ou uma seqüência gênica de outro ser vivo de espécie diferente. Para a execução de tal processo é utilizada a tecnologia do DNA recombinante.

Como exemplo de transgênicos temos o milho BTH e seus derivados, a soja Roundup Ready e mais uma grande variedade de alimentos consumidos diariamente, em diversos países, sem que tenhamos conhecimento dos processos de produção.

Aplicação dos transgênicos nos seres vivos

O surgimento dos transgênicos possibilitou avanços significativos nos mais diversos ramos das ciências biomédicas, oferecendo subsídios para aprofundamento nas pesquisas em citologia, expressão gênica e a genética molecular.

No campo da medicina tem influenciado os trabalhos sobre doenças hereditárias e na oncologia. Segundo Guerrante (2003:10), na biotecnologia os organismos geneticamente modificados (bactérias, plantas, fungos e muitos animais) podem funcionar como biorreatores na produção de proteínas.

A tecnologia do DNA recombinante trouxe a possibilidade de produzir plantas geneticamente modificadas, pela inserção de um ou mais genes



no genoma da semente, para que essas expressarem determinadas características tais como, a produção de enzimas de interesse.

Os vegetais transgênicos podem ser classificados em três gerações, segundo a ordem cronológica de aparecimento das culturas e a característica apresentada por cada geração, como nos mostra Guerrante (op. cit., p.10).

- 1ª. Geração – É formada pelo primeiro grupo de plantas modificadas com características agrônômicas resistentes a herbicidas, a pestes e a vírus. Foram disseminadas nos campos na década de 80 e até hoje compõem o grupo de sementes geneticamente modificadas mais comercializadas no mundo.
- 2ª. Geração – nesse grupo estão incluídas as plantas cujas características nutricionais foram melhoradas tanto quantitativa como qualitativamente. Compreende um grupo de plantas pouco difundidas no mundo, porém, nos campos experimentais já é significativo.
- 3ª. Geração – Representada por um grupo de plantas destinadas à síntese de produtos especiais, como vacinas, anticorpos e hormônios. Estes vegetais estão em fase de experimentação e brevemente estarão no mercado.

As técnicas

A combinação das técnicas de biologia molecular, cultura de tecidos e transferência de genes representa ferramenta poderosa para introduzir novas características em uma determinada planta. Genes oriundos de diferentes espécies vegetais, animais ou microrganismos podem ser introduzidos de forma controlada em um genoma vegetal receptor, de modo independente da fecundação. De posse de gene, ele será então caracterizado e introduzido em vetores para transformação de plantas. O fenômeno da totipotência⁴ permite que plantas transgênicas sejam obtidas de células originalmente transformadas com o DNA exógeno. Avanços na pesquisa em reguladores de crescimento vegetais e cultura de tecidos fazem com

⁴ Potencialidade que as células vegetais apresentam de se desenvolver em novas plantas.



que um número cada vez maior de plantas de interesse agrônômico seja regenerado a partir de uma única célula. Métodos de transformação de 3 plantas vêm sendo desenvolvidos e alguns já estão bem estabelecidos, como transferência de *Agrobacterium tumefaciens*, eletroporação de protoplastos e método biobalístico.

Transferência por *Agrobacterium tumefaciens*

Agrobacterium tumefaciens é uma bactéria Gram negativa encontrada no solo, que causa uma doença denominada galha-de-coroa, formando tumores na planta hospedeira. A própria bactéria insere seus genes no genoma da planta.

Estudos demonstraram que estes genes estão codificados no DNA de grandes plasmídeos da *Agrobacterium*: os plasmídeos Ti (Tumor inducing ou indutores de tumores) em um segmento de DNA denominado de T-DNA (Transferred DNA ou DNA transferido). O T-DNA, carregando os genes bacterianos, integra-se ao genoma da planta, que passa a expressar estes genes. Esta expressão resulta na síntese de auxinas e citocininas, que levam à formação de tumores em plantas e aminoácidos modificados – substâncias necessárias para a sobrevivência da bactéria. Ou seja, através desta estratégia, a *Agrobacterium* transfere alguns de seus genes para a planta, com os seus plasmídeos Ti, que representam vetores naturais de transferência de material genético para plantas.

Para se aproveitar destas propriedades naturais para a transferência de genes de interesse em plantas, é necessário eliminar os genes responsáveis pela formação de tumores e no lugar deles devem ser inseridos os genes de interesse. Com as “tesouras moleculares”, as chamadas enzimas de restrição, há a possibilidade de executar a substituição destes genes sem interferir nas propriedades que permitem a integração do T-DNA ao DNA da célula hospedeira. Assim, qualquer gene pode ser introduzido em uma célula vegetal, utilizando-se esta ferramenta encontrada na própria natureza.

A *Agrobacterium tumefaciens* é o método, atualmente, mais utilizado. Porém, não é capaz de transmitir genes a todas as espécies de vegetais.



Eletroporação de protoplastos

A eletroporação de protoplastos é um método utilizado para introduzir macromoléculas em células vegetais, e consiste na indução de poros reversíveis em membranas celulares, resultando em fluxo de íons e moléculas através da membrana deformada.

Para a transferência dos genes, os protoplastos, previamente selecionados e purificados, são mantidos em solução juntamente com os plasmídeos que contêm os genes a serem introduzidos. Utiliza-se, então, uma descarga de capacitores para produzir pulsos de alta voltagem, que induzem a abertura de poros na membrana celular, o que permite a penetração e a eventual integração dos genes no genoma.

Este método é preferencialmente escolhido quando se trata de plantas monocotiledôneas, como o milho e o trigo, por exemplo.

Método Biolístico

O processo biolístico, ou bioalística, tem por objetivo inicial introduzir material genético no genoma de plantas superiores. A sua universalidade de aplicações tem sido avaliada, demonstrando ser um processo também efetivo para introdução e expressão de genes em bactérias, protozoários, fungos, algas, insetos e tecidos animais, bem como, mais recentemente, em animais *in vivo* e na indução de resposta imune utilizando DNA, processo denominado imunização genética.

Neste processo empregam-se microprojéteis que são acelerados a velocidades superiores a 1500 km/h, por sistemas de aceleração baseados na geração de uma onda de choque com energia suficiente para deslocar uma membrana carreadora contendo as micropartículas cobertas com DNA, ou por meio de uma descarga de hélio a baixa pressão, acelerando o microprojétil em forma de aspersão.

Os microprojéteis, que podem ser de ouro ou tungstênio, são empregados para carrear e introduzir ácidos nucleicos e outras moléculas em células e tecidos *in vivo*. As micropartículas aceleradas penetram na parede e na membrana celular de maneira não-letal, localizando-se aleatoriamente



nas organelas celulares. Em seguida, O DNA é dissociado das micropartículas pela ação do líquido celular, ocorrendo o processo de integração do gene exógeno no genoma do organismo a ser modificado.

Uma das vantagens do sistema de transformação através deste método é que ele permite a introdução e expressão gênica em qualquer tipo celular. Desta forma, vislumbrou-se a possibilidade de obtenção de plantas transgênicas através da transformação de células-mãe do meristema apical. Essa transformação tem-se mostrado bastante eficiente, podendo atingir as células das três camadas do meristema apical. A frequência de transformação, no entanto, pode ser significativamente aumentada através da indução de uma multibrotação.

Comparação: vantagens e desvantagens

O surgimento das técnicas de melhoramento genético artificial traz riscos que devem ser levados em consideração, quando pensamos na substituição das técnicas naturais.

Estas novas técnicas podem trazer benefícios, que é o objetivo de qualquer estudo. Porém, as novas técnicas também podem trazer malefícios, especialmente as que ainda não tiveram uma comprovação segura acerca dos resultados que provocarão, podendo gerar algum tipo de anomalia no vegetal que venha a causar danos às pessoas que o consumirem.

Principais benefícios trazidos pelos vegetais geneticamente modificados

•**Tolerância das plantas a condições adversas de solo e clima:** O estresse causado pela falta de água, a alta concentração salina nos solos e as baixas temperaturas, vem sendo alvo de diversos estudos. Determinados genes foram introduzidos em plantas de soja e de trigo com a finalidade de obter maior tolerância à falta de água. Em estudo realizado no qual se introduziu um gene da soja,



com tolerância à falta de água, em plantas transgênicas de fumo, verificou-se maior tolerância ao déficit hídrico causado por quatro semanas sem irrigação.

- **Aumento do potencial nutritivo dos alimentos:** a engenharia genética também tem sido usada na modificação de plantas para produzirem uma maior concentração de vitaminas A, C e E, além de aminoácidos essenciais. Da mesma forma, elimina ainda fatores como o myo-inosito hexakisfosfato, que retiram importantes elementos para a nutrição, como o cálcio, o ferro e o fósforo.

- **Alta resistência às pragas:** As pesquisas têm mostrado uma evolução significativa neste campo. As principais estratégias buscam a produção de proteínas hidrolíticas, proteínas dos patógenos, proteínas antimicrobianas, cuja finalidade é aumentar a resistência de animais e vegetais (banana, soja, alface) à ação das pragas que infestam as lavouras e os animais de corte.

- **Redução do uso de agrotóxicos:** O Brasil está entre os três maiores consumidores de agrotóxicos do mundo. Assim, à medida que se produzem plantas mais resistentes à ação de pragas como insetos, fungos e vírus, ocorre naturalmente uma redução na utilização de agrotóxico para defender a lavoura.

- **Alteração de coloração de flores:** Novas perspectivas de mercado na floricultura foram abertas com a clonagem de genes associados à cor das flores. Cores, anteriormente, inexistentes em determinadas espécies, se tornaram possíveis a partir da transformação genética com genes envolvidos nessas rotas bioquímicas, assim como a modificação da arquitetura da planta e das flores, das fragrâncias e da durabilidade das flores. Este caso último diz respeito à manipulação de genes ligados a biossíntese do etileno.

- **Síntese de plásticos e outros materiais:** Já se discute a possibilidade de se produzir plásticos biodegradáveis a partir de polímeros da soja e fibra de cana-de-açúcar, tendo a participação de bactérias geneticamente modificadas.



Principais malefícios trazidos pelos vegetais geneticamente modificados

- **Geração de novas pragas e plantas daninhas:** A modificação das plantas pode levar ao surgimento de novas pragas, uma vez que a nova planta passará a produzir substâncias nutritivas diferentes. Também pode ocorrer que o pólen de planta transgênica fecunde outra planta filogeneticamente relacionada, dando origem a uma nova espécie nociva. Fato este já observado na Escócia, em 1996, quando constataram que o pólen de uma variedade de canola transgênica (*Brasica napus*) podia ser encontrado em um raio de dois quilômetros e que pertence ao mesmo gênero de uma erva daninha (*Brasica campestris*), e que as duas se cruzam com muita facilidade.
- **Danos a espécies não-alvo:** Através do transporte do pólen pelo vento, pela água, pelos insetos e pelas aves, poderá ocorrer a contaminação de plantações não transgênicas com os genes das geneticamente modificadas, levando a uma chamada poluição genética. No México, país de origem do milho e onde é proibido o uso do milho transgênico, já foram encontrados DNAs de milho transgênico em plantações de milho não-transgênico.
- **Alteração na dinâmica dos ecossistemas:** A introdução de uma nova espécie em um meio-ambiente, e a disseminação das lavouras de monoculturas podem levar ao desaparecimento de outras espécies da cadeia alimentar que utilizam o meio natural para a sua alimentação e reprodução.
- **Produção de substâncias tóxicas:** Isto pode ocorrer após a degradação incompleta de produtos químicos perigosos codificados por genomas modificados.
- **Perda de biodiversidade:** A manipulação de genes poderá propiciar o aparecimento de novas espécies melhores adaptadas ao meio, o que poderá levar ao desaparecimento de espécies mais frágeis, através da seleção natural.
- **Oligopolização internacional do mercado de sementes:** Trata-se de um risco econômico decorrente desse tipo de tecnologia. Hoje



existem cinco empresas produtoras de sementes geneticamente modificadas. São elas: Monsanto, Syngenta, DuPont, Bayer Cropscience e DowAgroScience. Todas elas estabeleceram uma relação entre os transgênicos e a produção de fármacos. Desta forma, vinculam a venda dessas sementes à venda de agroquímico específico para sua proteção, vendidos sob a forma de um pacote pelas empresas. Além disso, essas grandes empresas produtoras são também detentoras da patente destas sementes, cobrando *royalties* para todos aqueles que fizerem uso do seu produto. Isso acarreta a expulsão dos pequenos agricultores do campo, que não conseguem pagar os *royalties* cobrados. Por outro lado, o controle das patentes de sementes dá a essas empresas o poder de definir regras e preços do comércio internacional desses alimentos.

Conclusões

A questão do melhoramento genético é um assunto muito atual e muito novo. Com este trabalho busquei elucidar uma questão que me deixava muito intrigado em relação a essa discussão. Ou seja, o que incentiva o homem a buscar novos métodos de produção de organismos melhorados geneticamente se possuímos técnicas naturais, eficientes, menos caras, e que não causam prejuízos aos consumidores?

Os transgênicos têm sido motivos de cuidados, sobretudo, por não se saber ao certo seu grau de toxicidade e a possibilidade de provocar alergias. No entanto, alguns alimentos como o leite, ovos, pescados, crustáceos, trigo, nozes, soja e amendoim possuem um comprovado potencial alergênico natural. Por isso mesmo, a OMS desaconselha a utilização de genes desses alimentos para experimentos em transgenia. Até hoje, porém, os experimentos mostraram que apenas 1% das pessoas que se alimentaram de OGMs apresentaram alguma reação negativa a eles (FURTADO, 2003).

É sabido que vivemos em uma sociedade regida pelo sistema capitalista, no qual o lucro é o objetivo primeiro e urgente. Assim, nesta sociedade



em que o lucro é o que mais se busca, a diminuição do tempo de produção dos vegetais geneticamente modificados terá como consequência o aumento da produção e do lucro.

O que me leva a concluir que a questão principal que envolve os transgênicos não é, necessariamente, uma preocupação em relação à saúde, mas aos aspectos políticos, econômicos, éticos e ambientais que estão por trás dela.

Referências bibliográficas

AMABIS, J. M. e MARTHO, G. R. Genética e Biotecnologia na atualidade. (In) AMABIS, J.M. e MARTHO G.R. *Fundamentos da Biologia Moderna*. São Paulo: Ed. Moderna, 2002. p. 436-448.

DEAN, W. A Botânica e a Política Imperial: a introdução e a domesticação de plantas no Brasil. (In) *Estudos Históricos*, n. 8. Rio de Janeiro: FGV, 1991. p. 216-228.

FONTES, E. G.; SANTOS, I. K. M. e GAMA, M. I. C. A biossegurança de plantas cultivadas transgênicas. (In) TEIXEIRA, P e VALLE, S. (orgs). *Biossegurança: uma abordagem multidisciplinar*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1996. p. 313-327.

FRONCHETI, A. e ZAMBERLAM, J. *Agricultura ecológica: preservação do pequeno agricultor e do meio ambiente*. Petrópolis: Vozes, 2001.

GEORGE, P. *Geografia agrícola do mundo*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

GRAZIANO, X. Transgênicos: a discórdia dos transgênicos. Disponível em <<http://br.geocities.com/mcrost06/transgenicos28.htm>>. Consultado em 16/jun/2006.

GUERRANTE, R. Di Sabato. *Transgênicos: uma visão estratégica*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

LEITE, Marcelo. *Os alimentos transgênicos*. São Paulo: Publifolha, 2000.

LOPES, S. G. B. C. *Bio – Completo e Atualizado*. Ed. Saraiva, 1996.

MACHADO, J. R. A. e MELO, B. Transgenia. Disponível em <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/transgenicos.htm>>. Consultado em 29/set/2006.



OLIVEIRA, P. Fundamentos genéticos de melhoramento de plantas. Disponível em <<http://home.dbio.uevora.pt/~oliveira/BIO/Manual?>>. Consultado em 15/jul/2006.

SILVA, L. da. Como fazer plantas transgênicas. Disponível em <<http://www.ufv.br/dbg/trab2002/TRANSG/TRG004.htm>>. Consultado em 15/jul/2006.

BERLITZ, Diouneia L. e FIÚZA, Lídia M. Aplicações e interações no controle de insetos-praga Disponível em <<http://www.biotecnologia.com.br>>. Consultado em 10/ago/2006.

