ISSN 1677-5473

Texto para Discussão

46

Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos

Afonso Celso Candeira Valois

Embrapa

ISSN 1677-5473

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Texto para Discussão 46

Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos

Afonso Celso Candeira Valois

Embrapa
Brasília, DF
2016

Exemplares desta publicação
podem ser solicitados na:

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)
Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD)
Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4451
Fax: (61) 3448-4887
textoparadiscussao@embrapa.br

Editor da série
Ivan Sergio Freire de Sousa

Coeditores
Adriana Reatto dos Santos Braga
Antonio Roosevelt de Moraes Junior
Daniela Matias de Carvalho Bittencourt
Job Lúcio Gomes Vieira
Paulo Roberto Tremacoldi

Conselho editorial

Adriana Reatto dos Santos Braga
Alberto Roseiro Cavalcanti
Antonio Roosevelt de Moraes Junior
Assunta Helena Sicoli
Daniela Matias de Carvalho Bittencourt
Eliane Gonçalves Gomes
Geraldo B. Martha Jr.
Ivan Sergio Freire de Sousa
Job Lúcio Gomes Vieira
Lucilene Maria de Andrade
Maria Alice de Medeiros
Marita Feres Cardillo
Otavio Valetim Balsadi
Paule Jeanne Mendes
Paulo Roberto Tremacoldi
Renato Cruz Silva
Roberto de Camargo Penteado Filho

Colégio de editores associados

Ademar Ribeiro Romeiro
Altair Toledo Machado
Antonio César Ortega
Antonio Duarte Guedes Neto
Arilson Favareto
Carlos Eduardo de Freitas Vian
Charles C. Mueller
Dalva Maria da Mota
Egidio Lessinger
Geraldo da Silva e Souza
Geraldo Stachetti Rodrigues
João Carlos Costa Gomes
John Wilkinson
José de Souza Silva
José Graziano da Silva
José Manuel Cabral de Sousa Dias
José Norberto Muniz
Josefa Salete Barbosa Cavalcanti
Léa Velho
Levon Yeganiantz
Marcel Bursztyn
Maria Amalia Gusmão Martins
Maria Lucia Maciel
Mauro Del Grossi
Oriowaldo Queda
Pedro Carlos Gama da Silva
Rui Albuquerque
Sergio Salles-Filho
Sergio Schneider
Suzana P. M. Mueller
Tarcízio Rego Quirino
Vera L. Divan Baldani
Vicente Galileu Ferreira Guedes
Zander Navarro

Supervisão editorial
Josmária Madalena Lopes

Editoração eletrônica
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

1ª edição
1ª impressão (2016): 600 exemplares

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico
Tenisson Waldow de Souza

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade do autor, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Valois, Afonso C. C.
Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos / Afonso Celso Candeira Valois. – Brasília, DF : Embrapa, 2016.
217 p. ; 15 cm x 21 cm. – (Texto para Discussão / Embrapa. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1677-5473 ; 46).

1. Biotecnologia. 2. Engenharia genética. 3. Biologia molecular. I. Embrapa. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento.

CDD 333.95

© Embrapa 2016

Apresentação

Texto para Discussão *é uma publicação seriada técnico-científica dedicada à divulgação de resultados de estudos e pesquisas, cuja relevância recomenda seu oferecimento a reflexão e debate.*

Criada em 1998 e publicada de forma continuada, a série é dirigida a técnicos, pesquisadores, dirigentes, formuladores de políticas públicas, acadêmicos e quaisquer outros grupos de públicos que atuem ou tenham interesse nas temáticas e funções da ciência, tecnologia, inovação, agricultura e desenvolvimento.

A publicação circula ideias e reflexões sobre assuntos contemporâneos, de relevo social e econômico, abordados por autores com vínculos organizacionais diversificados. Cada trabalho recebido passa por crivo de admissibilidade na editoria e, ganhando ingresso, segue para o escrutínio de editores associados, na tradição da avaliação por pares.

Os volumes publicados são distribuídos nacionalmente, com destaque para bibliotecas e demais centros de documentação, em cujos acervos os exemplares são catalogados e ficam à disposição do público. Assim, são contempladas bibliotecas de universidades, de institutos de pesquisa e de órgãos de extensão, entre outros.

De caráter monográfico, cada número veicula texto único. Cumprindo periodicidade por fluxo contínuo, a série publica trabalhos de autoria tanto singular quanto coletiva. Em ocasiões especiais, o

número pode trazer coletânea de textos, reunidos em função de um tema ou ideia central.

Nesses quase 20 anos, ***Texto para Discussão*** *já ofertou mais de quatro dezenas de números e tem tido relevante repercussão, pois contabiliza títulos incorporados como fontes bibliográficas em cadeiras de programas de pós-graduação e como referência em projetos de pesquisa.*

O Editor

Sumário

Resumo 9

Abstract 10

Introdução 11

Abordagem sobre organismos geneticamente modificados 13

Biotecnologia e qualidade de vida 42

Biologia molecular e tendências 55

Biotecnologia e alimentos seguros 61

Marcadores moleculares 69

Contenção de organismos transgênicos 76

Princípio da Precaução e nuanças da sua interpretação 85

Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual 91

Direitos de propriedade intelectual e a biotecnologia 105

Bioética: entendimento e aplicação 120

Considerações finais 129

Referências 133

Glossário 138

Texto para Discussão

Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos

***Afonso Celso Candeira Valois*[1]**

Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos

[1] Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador aposentado da Embrapa, Brasília, DF

Resumo

Esta publicação tem a principal finalidade de esclarecer dúvidas que porventura ainda persistam quanto à aplicabilidade de plantas transgênicas para o benefício da qualidade alimentar e nutricional. Traz, em seu bojo, a convergência entre biodiversidade, biotecnologia e fundamentos técnico-científicos para a geração de organismos geneticamente modificados (OGMs). Nos tópicos selecionados, procurou-se uma maneira mais cabal de conduzir ao bom entendimento do tema "organismos transgênicos", dirimindo questões controversas e acentuando vantagens e desvantagens do emprego de plantas modificadas de maneira comparativa. O artigo aborda temas de transgenia, biodiversidade como fulcro para a disponibilidade de genes, biotecnologia na visão da qualidade de vida, tendências e alimentos saudáveis; considera a aplicação dos marcadores moleculares e da engenharia genética no melhoramento genético e no desenvolvimento de OGM; e traz noções do Princípio da Precaução, da propriedade intelectual e da bioética aplicáveis ao tema. Ao fim, é feita uma abordagem sintética sobre organismos transgênicos.

Termos para indexação: biodiversidade, biotecnologia, organismos transgênicos, marcadores moleculares, propriedade intelectual, bioética.

Biodiversity, biotechnology and transgenic organisms

Abstract

This publication has the main purpose to clarify doubts that may still persist as to the applicability of transgenic plants for the benefit of nutrition and food quality. It brings with it the convergence between biodiversity, biotechnology, technical and scientific basis for the generation of genetically modified organisms (GMOs). On selected topics sought a more thorough way to lead to good understanding of the theme "transgenic organisms", settling controversial issues and stressing advantages and disadvantages in the use of modified plants in a comparative way. The article discusses transgenic issues, biodiversity as a fulcrum for the availability of genes, biotechnology in view of the quality of life, trends and healthy foods; considers the application of molecular markers and genetic engineering in plant breeding and the development of GMOs; and brings notions of Precautionary Principle, intellectual property and bioethics relevant to the topic. At the end is done an approach to GMOs.

Index terms: biodiversity, biotechnology, transgenic organisms, molecular markers, intellectual property, bioethics.

Introdução

entro de uma visão holística, o trinômio "biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos" representa uma enorme vantagem comparativa para o agronegócio do Brasil na medida em que é maiúscula a disparidade entre o País e seus competidores internacionais no referente à disponibilidade da biodiversidade de plantas, animais e microrganismos, com enorme acervo de genes apropriados.

Na interação com a biodiversidade, a biotecnologia é entendida como um conjunto de informações biotécnico-científicas que permite o uso de organismos, em parte ou no todo, para fins médicos, agrícolas, agroindustriais e ambientais, podendo ser diferenciada em dois níveis:

- Clássica ou convencional, a qual usa os organismos naturais em processos específicos.
- Moderna ou avançada, em que são utilizados organismos geneticamente modificados para características específicas, incluindo técnicas moleculares para identificação, isolamento e expressão de genes.

Quanto ao uso das ferramentas biotecnológicas para a geração de plantas transgênicas, o Brasil domina as técnicas do DNA recombinante, fundamental para a transformação genética e obtenção e uso de plantas transgênicas para o benefício da sociedade.

Esses genótipos especiais ainda estão no centro de controvérsias, embora aliviadas pelas inúmeras evidências de competências demonstradas por instituições de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e ciência, tecnologia e inovação (CT&I), como a

Embrapa, institutos de pesquisa, universidades e outras organizações dos setores público e privado.

A celeuma em torno dos organismos geneticamente modificados (OGMs) poderia ter sido minimizada se todo esse sinal tivesse partido da possibilidade de obtenção de plantas com vantagens para a alimentação e saúde humanas e não apenas de gerar indivíduos com tolerância a herbicidas, incentivando a disputa comercial entre fortes empresas estrangeiras do ramo para o ganho de mercado.

Mesmo assim, longe dessa disputa enfadonha, o Brasil avançou e, atualmente, ostenta posição de destaque na obtenção e uso de plantas transgênicas apropriadas, tendo como base o domínio da técnica do DNA recombinante, equipe técnica competente, infraestrutura adequada, produtores rurais confiantes e consumidores compreensíveis ao uso.

Nesse sentido, de forma singela, esta publicação reúne uma série de informações advindas do próprio autor e compiladas com ampliação, com o objetivo precípuo de esclarecer à população, principalmente àquelas pessoas porventura ainda incrédulas, sobre a real situação alvissareira dos transgênicos, contribuindo, de forma ética, legal e transparente, sobre tão importante tema relacionado à qualidade de vida da sociedade. Ao fim da obra, há um glossário de termos técnicos, com o fito de contribuir adicionalmente para o melhor entendimento deste tema.

Abordagem sobre organismos geneticamente modificados

e maneira geral, na tecnologia do DNA recombinante, praticamente genes de qualquer organismo podem ser isolados, caracterizados, modificados e transferidos para qualquer outro organismo onde, sob o comando de promotores (região do DNA envolvida na ativação de um gene) adequados, se expressam em quantidades desejadas em células e tecidos específicos, sob preciso controle temporal. Foram, assim, eliminadas as barreiras biológicas que isolaram os genomas, como consequência de milhões de anos de evolução.

As pesquisas agrícolas e o desenvolvimento tecnológico são e continuarão a ser requisitos básicos para aumentar a produtividade agrícola e a melhoria da qualidade dos alimentos.

Como consequência dos avanços tecnológicos, uma nova geração de plantas transgênicas começa a despontar no mercado, resultado das pesquisas e do sequenciamento de genes de espécies de interesse agronômico, além de outros (SILVA-FILHO; FALCO, 2001; VALOIS, 2001).

Engenharia genética

Trata-se de um ramo da biotecnologia moderna que pesquisa e promove a transferência de genes de uma espécie para outra a fim de atribuir a essa última características naturais da primeira. Possibilita a obtenção de resultados mais precisos, pois elimina fatores aleatórios no processo de transferência dos genes de interesse.

Legislação sobre transgênicos

No Brasil, foram desenvolvidos vários esforços institucionais no sentido da regulamentação do uso de OGMs, como os seguintes:

- Decreto nº 3.871/01 (BRASIL, 2001): obriga a indicação, no rótulo, de produtos importados que contenham ou sejam produzidos com organismos geneticamente modificados.
- Lei nº 10.688 de 13 de junho de 2003 (BRASIL, 2003a): estabelece normas para a comercialização da produção de soja da safra de 2003 e dá outras providências.
- Medida Provisória nº 131/03 (BRASIL, 2003b): estabelece normas para o plantio e a comercialização da produção de soja da safra de 2004.

Processos de obtenção de plantas transgênicas

Na metodologia da obtenção de OGM, os seguintes processos têm sido utilizados: Biobalística, *Agrobacterium*, Eletroporação, Polietilenoglicol, Microinjeção, Microperfuração com o uso de raio laser UV (BRASILEIRO; DUSI, 1999). Com a aplicação exitosa dessas ferramentas biotecnológicas, o Brasil tem obtido um avanço significativo na geração e uso de OGM.

Transferência de genes e os significados para o melhoramento genético de plantas

Existem várias formas de se obter um grande aumento na produção de alimentos de forma sustentável, se destacando o uso de insumos químicos, fertilizantes e defensivos, adubos orgânicos, controle integrado de pragas, exploração adequada dos recursos naturais e uso de variedades melhoradas.

Essa busca levou à aplicação da tecnologia do DNA recombinante no desenvolvimento de plantas transgênicas, que corresponde ao melhoramento genético não convencional. Em conjunto com o melhoramento convencional, essas plantas são bastante promissoras para o aumento da produção e produtividade agrícola, tendo, assim, uma agricultura mais limpa, com alimentos de melhor qualidade.

Transferência de genes

Pode-se obter uma planta transgênica pela transferência de um ou poucos genes, identificados com precisão e com função conhecida. Nesse sentido, a produção dessas plantas é um processo muito mais controlado e conhecido, permitindo o desenvolvimento de novas cultivares mais rapidamente do que quando utilizados os métodos convencionais. Para um gene ser transferido, ele deve ser isolado de outro organismo que ostente características relevantes.

O gene constitui-se de uma ínfima fração do genoma de um organismo. Para isolá-lo, são necessários alguns procedimentos básicos, como: construção de uma biblioteca genômica ou de cDNA (DNA complementar) e sonda apropriada para que se possa reconhecer o referido fragmento, além de outras metodologias mais recentes para a construção e identificação de genes, ressaltando-se, ainda, a importância da bioinformática nesse processo. Para isso, a utilização da tecnologia do DNA recombinante e as propriedades físico-químicas do gene de interesse são fundamentais.

Para alcançar o sucesso na transferência de genes em plantas, é preciso seguir dois requisitos básicos:

- Ter um protocolo estabelecido de regeneração de plantas *in vitro* (essa etapa é essencial para o sucesso dos trabalhos).
- Usar um eficiente método de introdução do gene em células e boa capacidade de regenerar plantas férteis.

Transferência de genes em plantas

A transferência de genes em plantas pode ser feita por dois métodos:

- Transferência indireta de genes via uma agrobactéria (*Agrobacterium tumefaciens* ou mesmo via *A. rhizogenes*).

- Transferência direta utilizando meios físicos ou elétricos (BRASILEIRO; DUSI, 1999).

Transferência indireta – *Agrobacterium tumefaciens* é uma bactéria capaz de infectar células vegetais, causando a doença conhecida como galha-da-coroa, que é caracterizada pelo desenvolvimento de um tumor no local da infecção. A doença está associada à presença de um plasmídeo Ti (de *tumor-inducing*) em *Agrobacterium*. O processo de transformação inicia-se com a liberação de compostos fenólicos (acetoseringonas) pelas plantas após um ferimento. Esses compostos ativam uma série de genes bacterianos que irá culminar com a transferência de um fragmento de DNA do plasmídeo Ti para a célula vegetal. Esse fragmento de DNA é conhecido como T-DNA (DNA de transferência).

A expressão de genes presentes no T-DNA (os oncogenes) interfere na biossíntese de hormônios, levando à formação da galha (ou tumor). No entanto, embora os oncogenes sejam responsáveis pela formação do tumor, as únicas regiões do T-DNA essenciais para sua transferência são as sequências de cerca de 25 pb localizadas em suas extremidades. Assim, os genes presentes no T-DNA podem ser deletados e substituídos por outros de interesse, sem alterar o processo de transferência. Além das extremidades do T-DNA , outra região do plasmídeo Ti (a região vir) também é essencial para a transferência. A região vir contém genes cujos produtos vão promover a transferência do T-DNA.

A preparação de uma linhagem de *Agrobacterium* para ser utilizada como vetor para a transformação de plantas inclui dois sistemas distintos. Na primeira

etapa, é preciso obter as linhagens "desarmadas", nas quais o T-DNA original com oncogenes foi deletado por meio de um processo de dupla recombinação.

Na segunda etapa, deve-se proceder à preparação de um vetor contendo o T-DNA com genes de interesse. Por causa do seu tamanho (~200 Kb), o plasmídeo Ti não pode ser manipulado diretamente. Dessa forma, plasmídeos menores (vetores) são utilizados, pois são mais fáceis de manipular.

Esses vetores para transformação contêm as extremidades do T-DNA, entre as quais os genes de interesse são clonados, sendo que podem ser do tipo binário ou cointegrado.

Em princípio, a eficiência de transformação do T-DNA para as células vegetais é a mesma nos dois sistemas. No entanto, o sistema de vetores binários tem sido mais utilizado, pois a eficiência na obtenção das linhagens recombinantes de *Agrobacterium* é cerca de 100 vezes maior do que na obtenção dos cointegrados. Além disso, os vetores binários podem ser utilizados em qualquer linhagem de *Agrobacterium*.

Para transformação de plantas baseada no sistema *Agrobacterium*, do tipo binário ou intermediário, um vetor deve conter uma origem de replicação apropriada e um gene para seleção em bactéria geralmente resistente a um antibiótico. Além disso, é desejável que ele contenha uma região de múltiplos sítios de clonagem (*polilinker*) entre as extremidades do T-DNA (para a inserção das sequências gênicas desejadas) e uma região de transferência (ori T) e sítio de ativação (bom) para conjugação. Os vetores interme-

diários para a formação de cointegrados devem apresentar também regiões de homologia com o plasmídeo Ti e podem incluir ou não as extremidades do T-DNA desarmado com a linhagem escolhida.

Uma vez obtido o vetor, binário ou intermediário, esse deve ser transferido para *Agrobacterium*. Para tanto, três métodos de transformação têm sido mais utilizados:

- Conjugação triparental: cocultivo de duas linhagens de *Escherichia coli* (*helper* e doadora) e uma linhagem de *Agrobacterium* (receptora).
- Eletroporação: campo elétrico gera poros na membrana permitindo a passagem de moléculas.
- Choque térmico (*freezer thaw*): a membrana torna-se altamente permeável em condições extremas de temperatura.

Todos apresentam boa eficiência de transformação, além de outras vantagens e desvantagens, de forma que a escolha do método a ser empregado depende basicamente dos recursos disponíveis em cada laboratório. A transformação de *Agrobacterium* também pode ser obtida por biobalística. Entretanto, como a frequência de transformação é muito baixa, não é um método utilizado rotineiramente.

Durante o processo de transformação, principalmente por meio da conjugação, podem ocorrer quebras e rearranjos nos vetores. Portanto, são importantes a confirmação da presença e integridade do

vetor pela extração de DNA total ou plasmidial e a análise do padrão de restrição em gel de agarose ou por *Southern blot*.

Transferência direta – Os genes são inseridos diretamente na célula vegetal, sem intermédio da agrobactéria. Esse tipo de transferência de genes é o método de escolha quando se trata de plantas monocotiledôneas. A transferência de genes é alcançada por um dos seguintes métodos:

- Eletroporação de protoplastos e células vegetais: Protoplastos são células vegetais desprovidas de parede celular. Para a transformação, essas células são incubadas em soluções que contêm os genes a serem transferidos, e, em seguida, um choque elétrico de alta voltagem é aplicado por curtíssimo tempo. O choque causa uma alteração da membrana celular, o que permite a penetração e eventual integração dos genes no genoma. O mesmo princípio também pode ser aplicado para células vegetais; porém, a taxa de transformação é mais baixa.

- Biolística ou biobalística: Essa outra técnica (de característica bastante bélica) para a transformação de células ou tecidos vegetais e animais foi introduzida no início da década de 1980. Trata-se do método de biolística, anteriormente chamado de balística. É baseada no princípio da arma de fogo, com a diferença de que, na engenharia genética, em vez de projéteis de chumbo, utilizam-se microprojéteis de ouro ou tungstênio cobertos com os genes de

interesse. Essa munição biológica é acelerada com pólvora ou gás em direção aos alvos, que, nesse caso, são os tecidos vegetais. Os genes entram nas células junto com o projétil e se integram ao genoma celular.

Outros métodos são: a microinjeção, o tratamento químico com polietilenoglicol (PEG) e a microperfuração a raio laser UV. Nesses métodos, o DNA é diretamente introduzido nas células receptoras.

Limitações na transformação e regeneração de plantas superiores

Após as transferências do gene de interesse para a célula da planta receptora, essa deve regenerar uma planta fértil. Entretanto, as técnicas são restritas a espécies ou genótipos que possuem um eficiente protocolo de regeneração de plantas.

Tolerância a herbicidas

Atualmente, é de grande importância a obtenção de OGMs com tolerância a herbicidas. Trata-se de uma característica governada por poucos genes (usualmente monogênico), o que facilita o desenvolvimento de variedades resistentes. Herbicidas, incluídos na chamada Revolução Verde, são essenciais para a agricultura em larga escala e produtiva, a exemplo do uso da tecnologia do plantio direto dentro do Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). O

controle químico per se de plantas daninhas traz desvantagens econômicas e ecológicas quando utilizado a esmo. O uso de genótipos OGM com genes de tolerância a produtos químicos promove a drástica redução das aplicações de herbicidas, que passam a ser direcionadas, possibilitando vantagens muito atrativas para o produtor rural. Os genes de tolerância a herbicidas são de ocorrência natural, pois eles estão presentes em praticamente todas as espécies vegetais. Se eles não existissem, a maioria dos herbicidas não seria seletiva.

Resistência a pragas

A resistência a insetos pode ser conseguida pela expressão de um simples gene na planta. O inseticida expresso pela planta apropriadamente modificada é uma proteína rapidamente biodegradada, não tóxica para animais de sangue quente. Exemplo: Endotoxinas do *Bacillus thuringiensis* (Bt) são um inseticida transgênico biológico produzido por organismos transgênicos desenvolvidos para esse fim.

Área de refúgio no controle de pragas

Plantações de culturas transgênicas Bt, como milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e algodão (*Gossypium* spp.), demandam que seja mantida uma área da lavoura somente com plantas convencionais (não transgênicas). A falta dessa medida preventiva, conhecida como "área de refúgio", acaba provocando

a seleção de insetos-praga cada vez mais resistentes, tornando inócua a ação desejada dos transgênicos. A área de refúgio é a principal estratégia que os produtores têm para evitar a quebra de resistência dos transgênicos, mantendo o equilíbrio ecológico e a produtividade das lavouras.

O produtor que não utilizar a área de refúgio pode ser o primeiro a sofrer com os prejuízos, pois, quando não há estímulos à migração, a tendência das mariposas emergidas numa determinada área é permanecer no local. É recomendado que, além de plantar a área de refúgio, o produtor faça uma rotação do seu híbrido, utilizando diferentes eventos de Bt na sua área plantada, principalmente onde já foi observada ocorrência de lagartas. Além disso, o produtor deve utilizar híbridos de milho expressando mais de uma proteína Bt e deve evitar o uso do mesmo evento Bt utilizado no ano anterior.

Um dos principais riscos associados à não adoção da área de refúgio é a rápida seleção de indivíduos ou raças das pragas-alvo resistentes às toxinas do Bt. Para incentivar a adoção do uso da área de refúgio pelos produtores, é importante adotar medidas educacionais em todos os canais de distribuição de revenda de sementes e conscientizar os consumidores sobre a importância de adotar a área de refúgio.

Quando as dimensões das glebas cultivadas com milho Bt, por exemplo, forem acima de 800 metros de comprimento, serão necessárias faixas de refúgio internas nas respectivas glebas, semeadas simultaneamente. Isso reforça que o agricultor precisa se munir das informações técnicas.

O milho transgênico atualmente comercializado no Brasil pode expressar, em seus tecidos, eventos com uma, duas ou até três proteínas obtidas da bactéria *Bacillus thuringiensis*, a qual lhe dá o nome de milho Bt, o qual tem como pragas-alvo (que causam prejuízos à cultura do milho) algumas espécies de lagartas (lepidópteros), como *Spodoptera frugiperda*, e a larva-de-diabrótica (*Diabrotica speciosa*), um besouro coleóptero.

Como é sabido, o principal papel do milho Bt, no manejo de pragas, é reduzir os danos causados pelas lagartas. Essa tecnologia deve ser vista como mais uma opção para o manejo integrado de pragas (MIP) e pode, se bem conduzida, reduzir a utilização de inseticidas químicos, o que favorece o estabelecimento do controle biológico.

Independentemente da cultura Bt, a utilização da área de refúgio é fundamental para manter a eficiência da tecnologia por mais tempo. O princípio envolvido nas áreas de refúgio é simples. Se o produtor mantiver uma área de cultura 100% Bt, a ação inseticida da planta eliminará a maioria dos indivíduos, mas será preservado um pequeno grupo naturalmente resistente àquele princípio ativo. Com o tempo, os insetos mais resistentes serão os únicos sobreviventes e cruzarão entre si, gerando novas populações de indivíduos resistentes ao Bt.

A área de refúgio, composta por plantas convencionais, serve de abrigo para insetos suscetíveis à ação dos transgênicos. A sobrevivência desses garante novos cruzamentos entre resistentes e suscetíveis, gerando novas populações em que essa resistência

será diluída e promoverá a presença de insetos que serão eliminados pela cultura Bt.

Outra prática ideal é a rotação de genes, pois, dependendo do evento transgênico escolhido, pode-se esperar maior ou menor eficácia de controle das espécies de praga. Sempre que possível, deve-se selecionar eventos que expressem proteínas inseticidas diferentes para milho, soja e algodão, evitando a sobreposição de proteínas inseticidas com o intuito de reduzir a pressão de seleção na área plantada.

O monitoramento da eficácia dos eventos Bt, utilizados nas lavouras, deve servir de balizamento para a escolha dos eventos transgênicos a serem plantados na safra seguinte. O produtor deve conhecer as proteínas inseticidas expressas em cada evento e evitar o plantio de eventos que contenham a mesma proteína inseticida em toda sua lavoura.

Ressalta-se também que é preciso ter o mesmo cuidado em relação às proteínas que apresentam menor eficácia no controle das lagartas na safra anterior. É o que se chama de rotação de genes ou de proteínas inseticidas.

Como a função da área de refúgio é produzir indivíduos suscetíveis à tecnologia Bt, não se deve utilizar bioinseticida à base de Bt para pulverizar essa área e deve-se estabelecer um programa de MIP para reduzir a pulverização com inseticidas convencionais.

O percentual da área da lavoura a ser semeado com milho não Bt, de acordo com a recomendação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(Mapa), é de 10% do total da lavoura de milho, independentemente da tecnologia utilizada, e 20% para soja. Quanto ao algodão, no entanto, varia de 5% a 20%.

A área de refúgio deve ser semeada com cultivares de portes e ciclos iguais aos do milho Bt. Esse sincronismo entre o desenvolvimento das plantas Bt com as não Bt permite o desenvolvimento de mariposas (adultos das lagartas) na área de milho Bt, simultaneamente com as emergidas na área de refúgio. Assim, ocorre o aumento de chances de acasalamento entre esses adultos, pois as mariposas não se dispersam por mais de 800 metros.

No referente à área de coexistência, no Brasil, a norma de coexistência do milho Bt com cultivares não Bt é estabelecida pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). A Comissão estabelece as distâncias mínimas entre cultivos comerciais de milho geneticamente modificado e convencional, em áreas vizinhas, para permitir a coexistência entre os diferentes sistemas de produção no campo. Isso deve ser feito de modo a ser igual ou superior a 100 metros ou, alternativamente, 20 metros, desde que acrescida de bordadura com, no mínimo, 10 fileiras de plantas de milho convencional de porte e ciclo vegetativo similares aos do milho geneticamente modificado.

Dessa forma, a área de refúgio pode ser feita com o aproveitamento da área de coexistência, desde que atenda à distância mínima entre o milho Bt e o refúgio. O produtor precisa obedecer às duas regras,

tanto para a preservação da tecnologia Bt como para a liberdade do vizinho em produzir milho convencional. É importante que o produtor não confunda a área de refúgio com a área de coexistência.

Para o caso da cultura da soja, por ser uma planta autógama, não há necessidade das práticas para a coexistência. Já a cultura do algodão transgênico não é permitida nas áreas de exclusão, onde ocorrem populações de algodão selvagem. Para o milho, a área de refúgio é de no mínimo 10%. Porém, já existem questionamentos, e a tendência é de que essa área seja ampliada.

Resistência a vírus

As doenças virais em espécies cultivadas causam consideráveis perdas na produção. Existem métodos que têm como alvo os vetores (normalmente insetos, nematoides e fungos) das doenças virais. As viroses atuam na resistência da variedade, retardando a quebra da resistência ao vírus. Por exemplo: o vírus-do-mosaico-do-tomateiro (ToMV). No Brasil, tem havido sucesso no uso de OGM resistente a vírus, como em feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Ademais, tem sido explorada a técnica da interferência por RNA (RNAi), que se traduz em mecanismo de silenciamento gênico pós-transcricional conservado durante a evolução. Esse mecanismo é mediado por pequenos RNA de fita dupla capazes de reconhecer especificamente uma sequência de mRNA-alvo e mediar sua clivagem ou repressão tra-

ducional. Recentemente, a técnica de RNA interferente foi utilizada com sucesso na transformação genética de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], visando à introdução de genes de resistência a viroses (CRUZ; ARAGÃO, 2013).

Fitoalexinas

As fitoalexinas são compostos de baixo peso molecular, sintetizados e acumulados pelas plantas em resposta a uma infecção. Elas podem ser divididas em várias classes de compostos químicos, e, ao lado de terpenos e acetilenos, seus principais representantes são isoflavonoides e estilbenos derivados do metabolismo geral do fenilpropano.

Essas substâncias fenólicas se manifestam em partes de plantas atacadas por patógenos, especialmente nas folhas, matando as células ao redor da lesão, não deixando, assim, que o condicionante biológico se alastre. Esse fenômeno é denominado "reação de hipersensibilidade". Como exemplo dessas substâncias que conferem resistência de plantas a doenças, podem ser citadas:

- Faseolina em feijão resistente a *Rhizoctonia solani*.
- Pisatina em ervilha (*Pisum sativum*) resistente a *Fusarium solani*.
- Ácido clorogênio em café (*Coffea arabica*) resistente a *Ceratocystis fimbriata* e em bata-

tinha (*Solanum tuberosum*) resistente a *Streptomyces scabies*.

A hipersensibilidade provocada pela síntese de fitoalexinas não deve ser confundida com a resistência vertical de plantas a doenças, pois não é específica, sendo influenciada por fatores ambientais e nutricionais (VALOIS et al., 1996). Essa confirmada característica pode ser muito bem perseguida através de OGM, desde que os genes responsáveis sejam identificados, isolados e utilizados na geração das plantas modificadas.

Tolerância à seca

Diante das atuais ameaças das mudanças climáticas, a alternativa da tecnologia do DNA recombinante tem se mostrado fundamental para a criação de genótipos com tolerância à seca. Talvez essa seja a medida mais inteligente e prioritária para o uso de plantas que possam vencer essas intempéries.

No Brasil, estão sendo desenvolvidos esforços e ações para a criação dessas plantas, o que corresponde, nos dias de hoje, à maior contribuição dos OGMs para o sucesso do agronegócio brasileiro dentro de uma visão e gestão estratégica, tática e operacional. Por exemplo, desde 2003, a Embrapa está trabalhando em projeto para inserir o gene Dreb em plantas de soja. Os resultados estão bastante avançados na pesquisa e têm comprovado a tolerância da soja à falta de água, o que representa um grande potencial para utilização comercial. O milho é outra

planta muito promissora para a obtenção de genótipos com tolerância a deficit hídrico.

Principais genes

Dentre as alternativas de genomas disponíveis, já podem ser identificados genes para serem usados na transformação de plantas, como para: tolerância a herbicidas (genes RR; AHAS: BASTA), resistência a insetos (Bt; inibidores de proteases), resistência a vírus, resistência a fungos e bactérias, tolerância à seca, qualidade de proteína, qualidade do amido, qualidade do óleo e amadurecimento retardado. Também têm sido verificados genes terminadores e para apomixia e têm-se buscado alternativas para a geração de OGM para o controle de doenças humanas, como a Aids.

A sociedade em relação aos OGMs

De acordo com o imperativo ético, a sociedade tem-se interessado por OGMs de acordo com posturas que podem ser estratificadas, segundo Valois (2003), nas seguintes categorias:

- Total crédito à ciência e suas aplicações.
- Crédito à ciência, mas exigência de risco zero em suas aplicações ou de encaminhamento para risco zero (risco avaliado, risco gerenciado, risco comunicado).

- Aproveitamento da oportunidade para aparecer.
- Recebimento de vantagens.
- Recebimento de benefícios (por serem fabricantes/vendedores de agrotóxicos, produtores/vendedores de sementes clandestinas) diante de eventuais dificuldades para a regulamentação de OGMs.
- Reconhecimento da propriedade intelectual (aqueles que investem no desenvolvimento da promissora tecnologia).

Demandas da sociedade em relação aos OGMs

Diante da tecnologia de OGM, a sociedade também tem apresentado as suas demandas e exigências, com destaque para:

- Análise genética (proteínas e DNA).
- Segurança alimentar (quantidade de alimentos).
- Segurança dos alimentos (qualidade dos alimentos, livres de perigos biológicos, químicos, físicos e ambientais).
- Sanidades humana e animal.
- Segurança ambiental.
- Saneamento básico (biorremediação).

- Políticas públicas.
- Certificação da cadeia produtiva de produtos geneticamente modificados.
- Rotulagem que permita a escolha pelo consumidor.

De certo modo, todas essas demandas têm sido atendidas com bastante responsabilidade.

O aperfeiçoamento genético pela biotecnologia na geração de OGM

O passo a passo para obtenção de OGM tem sido seguido através do seguinte caminho:

- Identificar os genes com a característica desejada.
- Fazer cópias do gene.
- Transferir para o tecido da planta.
- Regenerar as plantas.
- Fazer análise e testes de segurança.
- Fazer retrocruzamento (variedades com testes de campo).
- Aprovar.
- Comercializar.

O prazo estabelecido para a conclusão dos trabalhos é de 10 anos.

Produtos pesquisados

Experimentos que já foram conduzidos no Brasil visando à obtenção de OGMs são com as seguintes culturas:

- Feijão (*P. vulgaris*): resistência a vírus e insetos.
- Soja (*G. max*): resistência a insetos, tolerância a herbicidas, expressão de anticorpos e biopolímeros.
- Batata (*Solanum tuberosum*): resistência a vírus.
- Banana (*Musa* spp.): resistência a fungos.
- Cacau (*Theobroma cacao*): resistência a fungos.
- Arroz (*Oryza sativa*): resistência a insetos.
- Milho (*Z. mays*): melhoria da qualidade proteica; expressão de biopolímeros.
- Mamão (*Carica papaya*): resistência a vírus e fungos.
- Alface (*Lactuca sativa*): expressão de biopolímeros.
- Algodão (*Gossypium* spp.): expressão de resistência a insetos.

As pesquisas com o arroz-dourado (*Oryza sativa* modificado geneticamente) continuam em ins-

tituições internacionais com o fito da obtenção de grãos ricos em vitamina A e ferro.

Vantagens e desvantagens que os alimentos transgênicos podem trazer para os seres humanos

Vantagens:

- O alimento pode ser enriquecido com um componente nutricional essencial.
- O alimento pode ter a função de prevenir, reduzir ou evitar riscos de doenças.
- A planta pode resistir ao ataque de insetos, seca ou geada.
- A redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura pode ser drástica.

Isso garante estabilidade dos preços e redução dos custos de produção.

Desvantagens:

- O lugar em que o gene é inserido não pode ser controlado completamente, o que pode causar resultados inesperados, uma vez que os genes responsáveis pela expressão de outras partes do organismo podem ser afetados.
- Organismos antes cultivados para serem usados na alimentação estão sendo modificados para produzirem produtos farmacêuticos e químicos.
- As plantas modificadas poderiam fazer uma polinização cruzada com espécies semelhantes e, desse modo, contaminar plantas utilizadas exclusivamente na alimentação.
- Esses alimentos podem causar riscos ambientais, nomeadamente o aparecimento de plantas daninhas resistentes a herbicidas.

No entanto, todas essas suposições atualmente estão sob controle pelo emprego do Princípio da Precaução.

Visão estratégica das aplicações da biotecnologia

Dentro do pragmatismo da visão e gestão estratégica, tática e operacional, vislumbram-se as seguintes oportunidades advindas das aplicações de OGM:

- Produção de alimentos com melhores propriedades nutricionais e funcionais.

- Modificações na composição nutricional e funcional dos alimentos.
- Interação entre dieta e fenótipo no campo da nutrição, considerando variações genéticas específicas.
- Avanço em estudos de genoma nutricional, que considera a interação entre a bioquímica de plantas, o genoma e a nutrição.
- Estudos genômicos, proteômicos, metabolômicos, epigenômicos e transcriptômicos.
- Manipulação de doenças: conhecimento, diagnóstico, preservação e tratamento de enfermidades.
- Prevenção dietética de doenças.
- Estudo de compostos e estimulantes do sistema imune nos alimentos para a definição de doenças.
- Redução dos efeitos de princípios ativos estimulantes.
- Biorremediação no tratamento de ambientes úmidos.
- Medidas antecipadoras de segurança biológica da agricultura e áreas afins.
- Proteção preventiva e curativa a ações bioterroristas e agroterroristas.

Rotulagem no Brasil

O processo de rotulagem de OGM também foi alvo de regulamentação no Brasil, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Regulamentação da rotulagem de organismos geneticamente modificados no Brasil.

Decreto n° 3.871/2001 (BRASIL, 2001)	**Lei nº 4.680/2003 (BRASIL, 2003c)**
Exigia rotulagem apenas para alimentos contendo mais de 4% de transgênico	Exige rotulagem para alimentos contendo mais de 1% de transgênico
Exigia rotulagem apenas para alimentos embalados	Exige rotulagem para todos os alimentos (embalados, a granel, in natura)
Excluía alimentos de origem animal alimentados com ração contendo transgênicos	Exige rotulagem de alimentos de origem animal alimentados com transgênicos
Não exigia identificação da espécie doadora do gene	Exige identificação da espécie doadora do gene
	Permite a utilização da expressão "pode conter" para soja transgênica liberada pela Medida Provisória nº 113/2003, transformada na Lei nº 10.688/2003 (BRASIL, 2003d)

Vantagens adicionais dos transgênicos e das biotécnicas de obtenção de OGM

- Aumento da produção e da produtividade com redução dos custos.

- Alternativa para a comercialização de produtos agrícolas.
- Melhor controle ambiental especialmente pela redução ou extinção do uso de agrotóxicos.
- Incremento da capacidade comparativa e competitiva na comercialização de produtos agrícolas frente a um mercado globalizado.
- Possibilidade de análise acurada dos produtos transgênicos para a total segurança alimentar e ambiental.
- Busca de caminhos alternativos para bem informar aos produtores e consumidores sobre a origem dos transgênicos.
- Aumento da variabilidade genética pela inserção de genes exógenos em genomas funcionais (transferência horizontal de genes).
- Possibilidade de maior velocidade na geração de novas cultivares.
- Possibilidade de tornar os programas de melhoramento genético menos aleatórios.
- Promoção de melhores condições para vencer impedimentos de ordem biótica e abiótica (como a obtenção de genótipos tolerantes à seca frente às atuais ameaças advindas das mudanças climáticas).

- Maior facilidade para a exploração de condições ecológicas adversas pelo direcionamento da criação de novos genótipos.
- Meio inteligente para transpor atuais barreiras de dificuldade de importação de importantes recursos genéticos de seus centros de origem localizados em outros países, pois os genes exógenos podem exteriorizar semelhantes respostas fenotípicas de penetrância e expressividade em relação aos genes endógenos.
- Possibilidade de proporcionar o uso de alternativas genotípicas desejáveis não encontradas com facilidade na natureza.
- Melhoria da qualidade dos produtos agrícolas.
- Plena abertura de oportunidades para evitar o aparecimento de monopólios ou oligopólios na produção de sementes melhoradas.
- Consistente alternativa para contribuir com a mitigação ou extinção da fome, pobreza e miséria absoluta, que assolam cerca de 18% da população mundial.

Outros pontos a considerar em relação aos transgênicos e às culturas convencionais

Dentro de uma visão holística, podem-se ainda considerar os seguintes pontos para o fortalecimento

do uso de OGMs em relação aos genótipos tradicionais:

- Exploração da resistência vertical e resistência horizontal.
- Produção de vacinas.
- Alelopatia benéfica.
- Promoção de estratégias de uso das fitoalexinas na ação de hipersensibilidade.
- Transferência horizontal e vertical de genes.
- Variabilidade e erosão genética.
- Sustentabilidade do meio ambiente.
- Uso de genes alelos raros e localizados.
- Exploração da genética fisiológica da expressão de genes.
- Evolução das espécies.
- Entendimento do sistema intertrófico ou tritrófico na relação entre planta, patógeno e agentes de controle biológico.
- Políticas públicas e saneamento básico.
- Transformação de cloroplastos.
- Controle de micotoxinas.
- Uso de inibidores de tripsina.

Reflexões sobre os organismos transgênicos

Através do perfeito entendimento da aplicação da tecnologia do DNA recombinante para a geração de OGM, após a leitura desta publicação, a esperança é de que os leitores possam analisar e responder sobre os seguintes itens:

- Por que os transgênicos?
- Os transgênicos trazem riscos à saúde?
- Os transgênicos provocam efeitos danosos ao meio ambiente?
- Os transgênicos reduzem a biodiversidade?
- Os transgênicos podem apresentar efeitos pleiotrópicos?
- Os transgênicos não aumentam a produtividade?
- A resistência genética pode ser quebrada?
- Os transgênicos não trazem benefícios aos consumidores?
- Não há consenso entre os cientistas?
- Os transgênicos são contrários à vida e aos desígnios divinos?
- Os transgênicos conduzem ao monopólio e ao oligopólio na produção de sementes?
- Os transgênicos podem concorrer para a mitigação da fome, pobreza e miséria absoluta?
- Como os transgênicos podem ser úteis aos programas de melhoramento genético?

Biotecnologia e qualidade de vida

A expectativa de vida do ser humano praticamente dobrou ao longo do século passado. Enquanto a expectativa de vida era de 40 anos em 1900, hoje, nos países desenvolvidos, ela é de cerca de 76 anos. A maior longevidade do ser humano só pode ser alcançada graças aos avanços científicos na medicina e na alimentação, principalmente. A descoberta da penicilina e de várias outras drogas permitiram debelar doenças anteriormente fatais. A nutrição balanceada desde o período intrauterino permitiu a formação de pessoas saudáveis e com maior resistência às doenças.

Uma das melhores evidências da importância de uma alimentação nutricionalmente equilibrada é a maior estatura da população atual quando comparada à de gerações passadas.

A biotecnologia, embora seja uma ciência ainda jovem, já mostrou seu potencial para melhoria da qualidade de vida de mulheres e homens. Nesse particular, a biotecnologia voltada diretamente para o ser humano já deu suas primeiras contribuições, a exemplo da insulina transgênica, produzida por bactérias. O potencial à frente é enorme, passando pela diagnose e cura de doenças fatais, produção de novos medicamentos, redução do custo de produção de medicamentos de grande uso, produção de tecidos e órgãos para transplante, etc.

Desde a antiguidade, os genes têm sido permutados entre indivíduos da mesma espécie (no processo de reprodução sexual) e mesmo entre representantes de diferentes espécies com algumas restrições. A especiação, isto é, a formação das espécies, ocorre com o estabelecimento de barreiras ao intercâmbio gênico entre indivíduos de uma população. Nesse sentido, pode-se entender que, anteriormente ao processo de especiação, a troca de genes se fazia sem os limites estabelecidos filogeneticamente.

A biotecnologia é realizada pelo ser humano desde aproximadamente 1800 a.C., quando se iniciou a utilização de fermento na panificação e na produção de vinhos. Por volta de 1860 d.C., alguns botânicos iniciaram o processo do melhoramento genético de forma deliberada, cruzando diferentes variedades. Esses botânicos transferiram e selecionaram genes para melhorar as qualidades das novas variedades. A maior parte das espécies cultivadas, incluindo milho, arroz, trigo (*Triticum aestivum*), batata e tomate (*Lycopersicon esculentum*), é resultado dos cruzamentos ao longo do processo evolutivo.

Entretanto, os cruzamentos entre variedades têm suas limitações. Eles podem ser realizados somente entre indivíduos da mesma espécie ou, em alguns casos, entre indivíduos de espécies bastante relacionadas, o que restringe o intercâmbio de características apenas aos indivíduos aparentados. Quando duas variedades são cruzadas, cerca de 100 mil genes de cada genitor são recombinados, produzindo combinações aleatórias. Na maioria das vezes, no melhoramento genético, apenas um limitado número de

genes ou características é transferido de uma variedade para outra. Esse procedimento usualmente requer de 8 a 12 anos até que a nova variedade seja desenvolvida e esteja em condições de ser disponibilizada para os agricultores. Duas características desses programas de melhoramento genético são evidentes: eles não são precisos nem são rápidos.

A moderna biotecnologia adicionou precisão e rapidez ao desenvolvimento de novas variedades. Isso é uma grande contribuição a essa ciência. Com a biotecnologia, é possível transferir genes entre espécies que não são compatíveis sexualmente. Assim, essa ferramenta é capaz de romper a barreira imposta pelos conjuntos gênicos ou *gene pools* (G1, G2 e G3), além daquela do isolamento reprodutivo em espécies simpátricas e alopátricas. A biotecnologia é o resultado do melhor entendimento, pelos cientistas, dos processos genéticos em nível da molécula do DNA.

O termo "geneticamente modificado" é comumente utilizado para descrever a aplicação da tecnologia do DNA recombinante para alterar geneticamente as plantas, animais e microrganismos. Refere-se ao melhoramento genético na base molecular.

Ao invés de cruzar indivíduos de diferentes variedades e conduzir a população segregante sob seleção por cerca de 10 anos, o cientista pode identificar, clonar e inserir o gene de interesse em uma variedade, com precisão e rapidez, utilizando a biotecnologia. Mais espetacularmente, o gene de interesse não precisa vir da mesma espécie ou de espécies relacionadas. Ele pode, virtualmente, vir de qualquer outro organismo vivo, em razão do código genético ser universal ou quase universal.

Benefícios da biotecnologia e qualidade de vida

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estima que a população mundial, atualmente de cerca de 6,7 bilhões de pessoas, deverá quase dobrar até 2040. Dessa forma, a produção de alimentos e fibras, produtos da agricultura, deve aumentar proporcionalmente.

Três são as principais alternativas para se elevar a produção agrícola:

- Expansão da área plantada.
- Melhoria do ambiente.
- Melhoramento genético das espécies.

Países como o Brasil ainda possuem terras que poderão ser incorporadas ao sistema produtivo, contribuindo para a elevação da produção. Entretanto, nos países desenvolvidos, as áreas agricultáveis ainda não ocupadas são praticamente inexistentes.

No que diz respeito à melhoria do ambiente, muito ainda pode ser feito. Utilização da adubação, irrigação, controle de pragas e doenças, dentre outras, podem ser aprimoradas. A expectativa é de que progressos continuarão a ser conquistados nessa área. Entretanto, em alguns casos, essas melhorias podem resultar em custo adicional para o agricultor ou em maior aplicação de insumos (fertilizantes, inseticidas, fungicidas, etc.), poluindo o meio ambiente.

O melhoramento genético é a alternativa ecologicamente mais equilibrada e de menor custo para o

agricultor. Ao utilizar uma variedade melhorada, o agricultor contribui para o aumento da produção e produtividade, aliviando a pressão pela incorporação de novas áreas ao sistema produtivo. Trata-se do melhoramento gratuito.

O melhoramento genético via biotecnologia é a mais promissora, precisa e rápida estratégia para elevar a produção agrícola mundial, reduzindo as perdas na colheita, perdas decorrentes de pragas e doenças, elevando a produtividade das lavouras e melhoria da qualidade dos produtos, além da drástica redução de agrotóxicos na agricultura. Os benefícios da biotecnologia já se fizeram sentir pelos agricultores que vêm utilizando variedades transgênicas. Dentre eles, incluem-se os decorrentes da alteração genética das plantas para (VALOIS, 2003; VILLEN, 2015):

Resistência a fatores bióticos

A introdução de genes específicos que conferem resistência a pragas e doenças nas variedades transgênicas reduz a necessidade de pulverizações com os agrotóxicos. Por exemplo, quando variedades transgênicas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) resistentes às viroses foram introduzidas na África, a produtividade dobrou. Sem a aplicação de agrotóxicos, cerca de 60% dessas lavouras seriam perdidas. Essas reduções no uso de agrotóxicos têm dois grandes benefícios: diminui a poluição ambiental e o custo de produção. A menor poluição ambiental e a produção de alimentos a preços mais acessíveis contribuem para a saúde e a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Adaptação a condições extremas

Tolerância à seca, à acidez do solo e a temperaturas extremas são características importantes em diversas regiões do globo. Por exemplo, a modificação da produção de ácido linolênico na planta lhe confere maior tolerância a frio e geadas. Essas características permitirão o aumento na produção de alimentos.

Tolerância a herbicidas não seletivos

Variedades tolerantes a herbicidas permitem a manutenção dos campos livres da presença de plantas daninhas, bem como viabilizam o plantio direto em alguns casos. No caso de variedades de soja resistentes a herbicidas, as lavouras podem ser mantidas livres de plantas daninhas com apenas metade da quantidade de herbicidas usualmente requerida, representando economia para o agricultor e menor poluição ambiental.

Características especiais

A introdução de características especiais, como reduzida alergenicidade, conteúdo de amido, tempo de prateleira e outras, pode representar valor agregado aos produtos agrícolas. Por exemplo, variedades transgênicas de batata, com elevado conteúdo de amido, absorvem menos óleo quando sob fritura, resultando em fritas mais saudáveis, principalmente para consumidores com propensão a doenças cardiovasculares.

Características nutricionais

Os problemas de má nutrição, como deficiências de aminoácidos, vitamina A, ferro, iodo e zinco, podem ser superados com a indução de genes que resultem em maior concentração desses nutrientes nos alimentos. Por exemplo, variedades transgênicas de arroz, com elevados conteúdos de ß-caroteno e ferro, podem ter importante papel na solução de deficiência desses nutrientes em países cuja dieta é baseada no arroz. Variedades com maior conteúdo de nutrientes podem prevenir doenças crônicas na população, como da própria cegueira.

Plantas como biorreatores

À medida que os cientistas vão mapeando os genes das espécies agronômicas, a transformação de plantas em biorreatores começa a se tornar mais concreta. O potencial das variedades transgênicas de produzir fármacos é bastante promissor. Essas variedades funcionarão como biorreatores na produção dessas substâncias.

Pesquisas preliminares sobre a produção de proteínas exóticas, vacinas e fármacos em plantas estão em andamento. Nessas circunstâncias, plantas transgênicas poderiam assumir uma nova e importante função no bem-estar da sociedade.

Esse benefício da biotecnologia deve-se concretizar mais ainda para frente com o franco desenvolvimento das pesquisas. Acredita-se também que as plantas serão transformadas com genes para produzir

monômeros e polímeros, que poderão substituir derivados de petróleo.

O futuro desponta-se otimista com as atuais contribuições da biotecnologia. Acredita-se que ela dará importante contribuição aos melhoristas de plantas, no seu propósito de suprir a demanda de alimento, fibras, etc. da população mundial.

Outros benefícios da biotecnologia

A tecnologia do DNA recombinante também tem sido utilizada na produção animal e microbiana para obtenção de substâncias usadas no processamento de alimentos e obtenção de medicamentos. Por exemplo, a somatropina bovina recombinante tem sido utilizada para elevar a produção leiteira em bovinos. Microrganismos geneticamente modificados também são utilizados para produção da chimosina, enzima usada na produção de queijos. Anteriormente à produção da chimosina transgênica, a enzima equivalente utilizada na produção de queijos era extraída do estômago de novilhas. Alguns fármacos já são produzidos pela tecnologia do DNA recombinante, inclusive a insulina humana utilizada por diabéticos.

A biotecnologia é a mais promissora estratégica para elevar a produção mundial de alimentos e melhorar a qualidade de vida do ser humano. Assim, todos os aspectos enfocados ao longo deste texto remetem ao bom entendimento da ferramenta biotecnologia que, em síntese, significa qualquer aplicação que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados para fabricar ou modificar produtos ou pro-

cessos para utilização específica, tendo como fundamento a manipulação molecular e celular.

Estratégia do uso de plantas transgênicas

Em complementação a itens anteriores, dentro de uma visão holística quanto à estratégia do uso de plantas transgênicas, destaca-se que o Brasil tem a segunda maior área de cultivos transgênicos, sendo a que mais cresce no mundo. Atualmente, a área de OGM brasileira chega a 40,3 milhões de hectares. Em área de cultivo de OGMs, o País fica atrás apenas dos Estados Unidos da América do Norte, com cerca de 23% do total mundial, segundo dados do relatório do International Service for de Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), publicado em 13/02/2014 pelo Portal UOL (UOL ECONOMIA, 2014).

No mundo inteiro, os OGMs são cultivados em 170 milhões de hectares, afirma o relatório do ISAAA, entidade fundada em 1991 e que tem como objetivo promover o uso da biotecnologia agrícola, como o cultivo de plantas transgênicas.

Os Estados Unidos utilizam OGMs em 70,3 milhões de hectares, sendo 40% do total global em 2013. O valor é quase o equivalente à produção da América do Sul inteira. Ainda segundo o relatório, o Brasil é o que mais cresce em área de produção com OGM, com um aumento de 10% em 2013. Em 2012 e 2013, a área com o uso de OGM aumentou em 3,7 milhões de hectares no Brasil. Proporcionalmente, é mais que o triplo da média mundial de aumento, que foi de 3%.

De acordo com o autor do estudo, James (2014), o mundo em desenvolvimento teve o maior aumento no uso de OGM em 2013. Esse estudo destaca a criação pela Basf de variedades de soja resistentes a agrotóxicos no Brasil e o desenvolvimento de feijões resistentes a vírus "com recursos inteiramente brasileiros", pela Embrapa, "uma contribuição importante para a sustentabilidade do agronegócio".

Ainda com relação à soja OGM, a Embrapa lançou, em parceria com a Basf, uma nova variedade de soja que facilita o combate a plantas daninhas que já criaram tolerância ao glifosato, a soja Cultivans. As plântulas têm tolerância a herbicidas do grupo das imidazolinonas.

De acordo com James (2014), o Brasil iria continuar a liderar o aumento do uso de OGM em 2014 "fechando consistentemente a distância em relação aos Estados Unidos". Em 2013, os Estados Unidos tiveram aumento de apenas 1% na área de cultivo com OGM.

Depois dos Estados Unidos e do Brasil, vem a Argentina (que produziu OGM em 24,4 milhões de hectares), seguida pela Índia (que cultivou transgênicos em 11 milhões de hectares). Em quinto lugar, ficou o Canadá (com 10,8 milhões de hectares de OGM).

Ainda, de acordo com o citado relatório, o quantitativo mundial subiu de 1,7 milhão de hectares para 175 milhões entre 1996 e 2013, sendo que, pelo segundo ano consecutivo, países em desenvolvimento responderam pela maior parte do total observado no período. Juntos, agricultores da América Latina, Ásia

e África foram responsáveis por 54% do total de OGM cultivado no planeta.

No Brasil, até 2012, já haviam sido liberadas pela CTNBio 36 variedades transgênicas, sendo 18 de milho, 12 de algodão, 5 de soja e 1 de feijão, apresentando vantagens comparativas considerando as características de qualidade nutricional dos produtos, resistência a pragas e doenças, tolerância à seca, herbicidas e a outros estresses ambientais, além da drástica redução da aplicação de defensivos agrícolas.

No Brasil, é notória a convivência do ser humano com a tecnologia de ponta apropriada como a dos transgênicos e sustentabilidade ambiental, contribuindo para o aumento da produção e produtividade agrícola, com a obtenção de alimentos com qualidade nutricional, livres de riscos, perigos e danos de natureza física, química, biológica e ambiental, tendo como fulcro a mudança paulatina de hábito, atitude, postura, cultura, costume e conduta de todos os atores envolvidos na cadeia produtiva e de consumo dos alimentos.

A aplicação do Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) é um outro exercício constante relevante para o sucesso do agronegócio empresarial e familiar no Brasil, fortalecida pela tecnologia do DNA recombinante. Tem ainda, como destaques, a agricultura convencional e não convencional (OGM), o uso de cultivares com bons valores genotípicos e fenotípicos (resistência a fatores bióticos e tolerância a limitantes de ordem abiótica, qualidade nutricional etc.), a agricultura adaptada às mudanças climáticas, o plantio direto, o controle de espécies invasoras exóticas danosas, o biocontrole de pragas e

doenças, a biofertilização, a biorremediação de impedimentos abióticos, a agricultura de precisão, a permacultura, a agricultura orgânica, a agricultura ecológica, a fixação biológica do nitrogênio, o uso de micorrizas arbusculares, os sistemas agroflorestais, a adubação verde, a integração lavoura-pecuária-floresta, os métodos de recuperação de áreas degradadas, o uso de tecnologias ambientais, a avaliação de riscos, a rotação, consorciação, sucessão e associação de culturas, dentre outras válidas conduções pragmáticas. Para o caso específico da agricultura orgânica, essa não deve ser entendida como antagônica à agricultura dos transgênicos, pois a sua prática usando OGM é uma medida inteligente de usar genótipos com resistência a fatores bióticos e tolerantes a impedimentos de ordem abiótica.

Outra visão estratégica com gestão tática e operacional é a aplicação da tecnologia do DNA recombinante no Brasil, que tem resultado no controle bem sucedido da dengue e do vírus da zika pela criação e uso do mosquito *Aedes aegypti*, vetor do vírus causador, cujos machos (que não transmitem a doença; somente as fêmeas) modificados geneticamente têm sido liberados na natureza de maneira controlada, possibilitando a redução da população do vetor por conterem genes que restringem o sucesso reprodutivo da espécie. Essa aplicação tecnológica tem a sua importância incrementada na medida em que esse mosquito é também o transmissor do vírus causador da febre de chikungunya, de expressivo risco, perigo e dano à saúde humana.

Muito se tem escrito sobre a importância dos organismos geneticamente modificados para a agricultura brasileira, o que, aliás, já é fato considerando os dados já apresentados de que, em 2013, o País cultivou cerca de 40 milhões de hectares com OGM, sendo o segundo no nível mundial. No entanto, os OGMs não são panaceia para resolver todas as limitações da agricultura, pois são apenas mais um método de melhoramento genético, que pode apresentar inúmeras vantagens comparativas, como a melhoria da qualidade do produto, tolerância à seca, resistência a patógenos etc., trazendo em seu bojo a drástica redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura. Até ao momento, nenhum efeito pleiotrópico danoso ao ser humano e animal foi identificado a partir do uso de OGMs. No entanto, mesmo com os inúmeros benefícios trazidos por esses produtos, não se pode deixar de citar o efeito intertrófico ou tritrófico, que é quando um organismo interfere na ação de outros dois componentes. Isso já ocorreu no sistema algodão OGM, lagarta e agente de controle biológico. Em resumo, a planta OGM foi atacada por lagarta que morreu; veio o agente de controle biológico que sugou a lagarta e também morreu, sendo reduzida, assim, a população desses insetos benéficos. Mas esse foi um caso isolado, que pode ocorrer, sendo menos drástico do que efetuar um verdadeiro derrame de agrotóxico na agricultura, com efeitos danosos no ambiente e na saúde em inúmeros níveis.

Afora isso, no Brasil, algumas pessoas contrárias a OGM diziam que uma planta modificada poderia contaminar um plantio de soja. Esqueceram que, primeiramente, a soja é uma planta autógama e que, no Brasil, só

é cultivada a espécie *Glycine max*, de origem chinesa. Mesmo assim, tanto para OGM como para plantas não modificadas, todo cuidado deve ser devotado, por exemplo, a um processo de multiplicação/regeneração de germoplasma vegetal para evitar a contaminação dos acessos. Certa vez, soube-se, na FAO (em Roma), que a famosa coleção de Vavilov não OGM estava toda contaminada devido ao método de campo inadequado; daí a necessidade do refinamento do processo de multiplicação/regeneração de acessos. Realmente, quando se chegou à Alemanha, em visita a um centro de recursos fitogenéticos, identificaram-se inúmeras não conformidades técnicas no processo de multiplicação/regeneração de acessos de plantas não OGM. Logicamente, foram feitos comentários alusivos e deixadas orientações técnicas. O que se deve atentar é para não promover a contaminação de acessos tanto entre OGM e não OGM, como também entre OGM e entre não OGM. Em milho, por exemplo, deve-se guardar uma distância mínima de 500 metros entre as parcelas de multiplicação/regeneração de acessos para evitar a contaminação por grão de pólen advindo de outro campo.

Biologia molecular e tendências

O desenvolvimento da biologia molecular nas últimas décadas tem despertado o interesse geral, principalmente para a ampliação do conhecimento, técnica, tecnologia e know-how na área biológica. Utilizando os fundamentos de outras disciplinas, a biologia molecular tem promovido um avanço significativo em

áreas que afetam a saúde humana, a agricultura e a produção industrial.

As técnicas mais recentes de biologia molecular vieram como um somatório a esses campos do saber, no sentido de complementar a investigação científica, provendo recursos para a criação e o fortalecimento da engenharia genética, iniciada por Stanley Cohen e Herbert Boyer em 1973, que deu margem ao início da geração dos organismos geneticamente modificados (VALOIS, 2003).

Por seu turno, o avanço consequente da geração, aprimoramento e aplicação das ferramentas biotecnológicas foi fator primordial para o sustentáculo da biologia molecular. A própria definição da biotecnologia já mostra que se trata da aplicação de qualquer tecnologia usando sistemas biológicos, organismos e derivados para fabricar ou modificar processos e produtos para um fim específico.

Com essa visão, tem sido notável o desenvolvimento das técnicas de biologia molecular, tendo como bons exemplos as técnicas do DNA recombinante e dos marcadores moleculares. Foi vislumbrada a capacidade de "transformar" a vida considerando os componentes bioéticos ao serem desvendados os segredos das "ferramentas moleculares".

Com perseverança e curiosidade, cientistas de várias áreas contribuíram para desvendar a estrutura do DNA e do código genético. Com isso, contribuições importantes foram feitas para o avanço do conhecimento da estrutura e da função das moléculas informacionais, levando à proposição (e ao questiona-

mento) do dogma central da biologia molecular (replicação, transcrição e tradução).

A esse e a muitos outros conhecimentos gerados pela bioquímica, biofísica, microbiologia, genética e imunologia se deve o embasamento das técnicas de biologia molecular. Aos poucos, foi possível o domínio da geração e aplicação das técnicas de isolamento e manipulação das moléculas da vida, ora conhecendo as suas sequências, ora retirando ou substituindo partes de seus fragmentos, criando novas moléculas "quiméricas", capazes de interferir na expressão do material genético das células.

Esse fervilhar de ideias e descobertas foi uma característica das décadas de 1970 e 1980 e tem se propagado até os dias atuais. Com isso, várias instituições de PD&I e CT&I se preocuparam no preparo de equipes de pesquisadores, professores e técnicos especializados, na criação e aprimoramento de infraestrutura de laboratórios e no apoio técnico e administrativo, culminando com excelentes avanços como o sequenciamento do DNA e a identificação e uso de células-tronco, além de outros formidáveis avanços do conhecimento para o benefício da humanidade.

No conhecimento sobre técnicas básicas em biologia molecular, podem ser incluídos os seguintes tópicos:

- Quantificação de ácidos nucleicos e de proteínas por métodos espectrofotométricos.
- Extração e purificação de DNA.

- Principais enzimas modificadoras de ácidos nucleicos.
- Amplificação de DNA por PCR.
- Análise de DNA por eletroforese em gel de agarose (técnica para a separação de moléculas, principalmente proteínas e DNA, através de um campo elétrico em um gel).
- Transformação bacteriana.
- Extração de RNA total.
- Análise de proteínas por eletroforese em gel de poliacrilamida desnaturante.
- Aplicação dos diversos tipos de marcadores moleculares já desenvolvidos.
- Aminoácidos e seus efeitos básicos na penetrância e expressividade gênica.
- Análise da transcriptase reversa e seus efeitos na saúde humana.
- Natureza do código genético e suas propriedades.
- Técnica do DNA recombinante.
- Geração de organismos geneticamente modificados e aplicação.
- Efeitos benéficos dos metabólitos secundários de plantas para a saúde humana e alimentação levando em conta a ação dos terpenoides.
- Compostos de nitrogênio e fenólicos, dentre outros.

As novas técnicas de engenharia genética estão promovendo uma reavaliação de quase todos os processos industriais que empregam técnicas ou produtos biológicos com o uso da biologia, na base molecular. A relação entre as técnicas de engenharia genética e processos industriais, de maneira geral, considera: a síntese química de DNA, DNA recombinante e hibridoma, convergindo para hormônios e enzimas, bem como para a fermentação e cultura de tecidos visando à obtenção de novos produtos e processos.

A engenharia genética aplicada à biotecnologia, além de substituir processos e produtos tradicionais, apresenta grandes perspectivas de melhorar o bem-estar da população por meio de melhores soluções para fatores limitantes da saúde, alimentação, energia principalmente renovável, matérias e meio ambiente.

Nesse sentido, as aplicações em potencial são as seguintes:

- Saúde: remédios e vacinas mais eficazes, com maior grau de pureza e a um menor custo; diagnóstico, prevenção e tratamento de doenças genéticas.
- Alimentos: novos produtos e processos alimentícios mais eficientes; melhor rendimento e qualidade na produção agropecuária.
- Energia: maior eficiência na conversão da biomassa em combustíveis; menor consumo energético em processos industriais; incremento na recuperação do petróleo.

- Materiais: menor custo na obtenção de produtos químicos com matérias-primas de biomassa; extração econômica de materiais de minerais com baixo teor.
- Meio ambiente: alternativas biológicas a herbicidas, pesticidas e fertilizantes; tratamento de detritos tóxicos; refinamento da biorremediação; tratamento do lixo sólido e orgânico; produção de biocompostos para uso agrícola.
- Biologia: aprofundamento dos estudos e aplicações genômicos, proteômicos, metabolômicos, epigenômicos e transcriptomas, além da biologia sintética, que encontrará um largo espaço de crescimento para a geração de novos produtos, processos e serviços.

Isso demonstra a amplitude e a profundidade de mudanças que deverão advir com o uso da nova biotecnologia. Por exemplo, na área de saúde humana, o desenvolvimento de produtos terapêuticos para o tratamento de herpes, câncer, hepatite, artrite e outros males é vislumbrado como nova solução apropriada (VILLEN, 2015).

Em outras aplicações da biotecnologia à saúde, as novas técnicas permitirão meios mais baratos e mais sensíveis para diagnosticar gravidez, doenças venéreas e outras condições que atualmente requerem testes de laboratório complexos e dispendiosos. Adicionalmente, essas técnicas possibilitarão a dosagem específica de produtos farmacêuticos para determinados órgãos do corpo. Na área de materiais, produtos de química fina para medicina e alimentação poderão

ser produzidos por novos microrganismos, que tornarão possíveis transformações complexas em uma única etapa.

Sendo assim, a nova biotecnologia pode ser considerada um instrumento poderoso, podendo substituir um vasto número de processos industriais atualmente empregados e criando, com isso, novas soluções alternativas para uma grande gama de limitações.

Biotecnologia e alimentos seguros

No Brasil, é premente a incessante busca do know-how, que corresponde ao fazer com o uso da tecnologia apropriada e com a experiência de sua aplicação. Em PD&I e CT&I, por sua vez, isso corresponde ao fazer com conhecimento de causa e com base na técnica, que significa fazer com habilidade. Esses três termos (know-how, tecnologia apropriada e técnica) direcionados ao "fazer" e sobejamente determinantes para o ideal comportamento da vida dos brasileiros e da humanidade como um todo estão respaldados pelo altivo conhecimento, que corresponde ao "saber" com o uso da boa educação e da ética, na amplitude da sua aplicação.

De maneira geral, o mundo vem sendo regido por ondas do desenvolvimento, com destaque para as seguintes:

- Agricultura: com seus quase 11 mil anos, passou pela prática da agricultura nômade,

da tradicional, da convencional. Nos dias atuais, há a agricultura não convencional.

- Física e química: quando dois pesquisadores (Watson e Crick) se juntaram, em 1953, descobriram a estrutura espacial do DNA, com a sua hélice dupla semiconservativa. Isso ensejou o pleno desenvolvimento da biologia molecular, de onde surgiram métodos de grande precisão, como a manipulação do material genético hoje conhecida como a tecnologia do DNA recombinante ou engenharia genética, que permite a transferência de genes entre espécies próximas ou distantes e possibilita a remoção de características indesejáveis de reações alérgicas, toxicidade ou predisposição a doenças.

- Informática e biotecnologia: quando interagem, resultam na exatidão da bioinformática, capaz de dotar a humanidade de bancos de dados sobre as nuanças da biologia molecular e suas aplicações em prol de uma vida digna e decente, como produto essencial.

Como ponto fundamental, a biotecnologia permite o desenvolvimento de produtos por processos biológicos que utilizam a técnica do DNA recombinante, possibilitando ainda o uso industrial de procedimentos de fermentação de microrganismos para a produção de álcool, ou de cultura de tecido para a extração de produtos secundários como metabólitos, além de desenvolver processo tecnológico que dá margem ao emprego de material biológico para fins científicos e industriais. A biotecnologia, em sua

mais simples definição, tem sido a manipulação de organismos vivos ou de seus produtos gerando bens de consumo e serviços. Ainda como definição auxiliar, a biotecnologia significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica, tendo como fundamento a manipulação da biologia molecular e celular.

Entre os produtos obtidos por biotecnologia, estão aqueles cujo material genético foi alterado de maneira diferente do que ocorre naturalmente, através de metodologias avançadas de genética, biologia molecular, biologia celular, cultura de células e tecidos, engenharia genética e clonagem.

As aplicações da biotecnologia são efetuadas no âmbito da agricultura (produção vegetal e silvicultura), produção de alimentos na área vegetal, animal e aquicultura, medicina humana (produção de insulina, etc.), medicina veterinária, químicos específicos, ecologia, energia, agroindústria (fermentados e biomassa), meio ambiente (biomonitoração, biorremediação, tratamento de efluentes e resíduos, controle biológico, manejo integrado de pragas, além da substancial redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura e outros). As nuanças das biotecnologias podem também auxiliar na obtenção de alimentos seguros à saúde, livres de perigos físicos, químicos, biológicos e ambientais, considerando a primazia da segurança alimentar e nutricional.

Na agricultura, as oportunidades para a biotecnologia estão direcionadas para a produção de grãos,

produção de frutas, hortaliças e fibras, obtenção de alimentos funcionais (aqueles que fazem bem à saúde), proteção sanitária e processamento de alimentos e fibras. Nesse sentido, a biotecnologia é capaz de elevar as vantagens competitivas e comparativas da agricultura, principalmente por aumentar a velocidade de inovação, incrementar a produtividade e reduzir custos, gerar produtos e processos mais seguros, criar produtos com novos atributos como sabor, composição, cor e tamanho, além de vislumbrar novas possibilidades para a agricultura de biofábricas.

No caso específico do melhoramento genético vegetal, a biotecnologia tem sido reconhecida como uma ferramenta poderosa em áreas denominadas não convencionais, como é o caso da cultura de tecidos in vitro, produção de haploides (cultura de anteras), hibridação somática, obtenção de variantes somaclonais, obtenção de embriões somáticos, uso de marcadores moleculares e engenharia genética, com destaque para a obtenção dos organismos geneticamente modificados com o uso da tecnologia do DNA recombinante.

Dentro de uma visão holística, os avanços na compreensão dos processos genéticos para uma melhor provisão de alimentos tiveram início em 1866 com a descoberta das Leis de Mendel (um monge agostiniano) ou Leis da Hereditariedade, cuja redescoberta em 1900 por DeVries, Erich e Correns permitiu o melhoramento na produção e produtividade dos genótipos, além da resistência ambiental, com destaque para o começo da comercialização de sementes de milho híbrido em 1922. No entanto, com a pro-

gressão geométrica de crescimento da população mundial e crescimento aritmético da quantidade de alimentos, além de fatores como a coevolução patógeno-hospedeiro com quebra da resistência, aparecimento de novos condicionantes biológicos da agricultura, necessidade da abrangência de novos nichos ecológicos de exploração, alterações climáticas e edáficas, êxodo rural (menos pessoas atuando no campo para produzir alimentos para mais pessoas vivendo nas grandes cidades), além de outros, novos métodos de criação de genótipos e refinados esquemas de seleção de plantas e animais foram colocados em prática. Assim, aparece com destaque a criação das plantas transgênicas como apenas mais uma alternativa para o incremento da agricultura em bases sustentáveis, sendo o marco inicial a partir de 1973, quando dois pesquisadores (Cohen e Boyer) conseguiram transferir gene de rã para bactéria, tendo como base a universalidade do código genético, ou quase (VALOIS, 2003).

De lá para cá, muitos avanços ocorreram. A visão atual e estratégica em relação à revolução biotecnológica concernente às plantas transgênicas aponta para as seguintes fases:

- Características agronômicas (resistência a condições bióticas e abióticas).
- Qualidade e processamento (óleos essenciais, proteínas, vitaminas, minerais).
- Farmacêuticos e nutracêuticos (alimentos com vacinas, vitaminas, minerais, fármacos).

- Químicos específicos (biofábricas, produção de matéria-prima para a indústria).

Mesmo diante de todas essas vantagens comparativas, não se pode negar a existência de controvérsias em relação ao uso de plantas transgênicas, mesmo não ocorrendo, até os dias atuais, nenhuma notícia de ter causado qualquer limitação à saúde das pessoas consumidoras desde 1990 (China) e 1994 (Estados Unidos). Talvez a base de tudo isso tenham sido as disputas comerciais entre empresas estrangeiras, evoluindo para subjetividades relacionadas ao radicalismo, obsessão, ideologismo, histeria, sentido emocional e até a confusão com desígnios religiosos, bem como por se constituir em fato relativamente novo, o que tem sido comum em relação aos avanços da genética ao longo do tempo.

Assim, em atenção a esse comportamento de parte da sociedade, no Brasil, especialmente a Embrapa e outras instituições de PD&I têm tratado desse tema com muita responsabilidade ética e compromisso social, econômico e ambiental com bastante rigor e moral, sob o ponto de vista da bioética e das normas da biossegurança, e têm funcionado com bastante vigor em relação às recomendações emanadas da CTNBio, regida por especialistas de origem interministerial, levando em conta a legislação brasileira (VALOIS et al., 1999).

Como ponto de destaque, deve-se acrescentar que há "transgênicos" e "transgênicos". Há aqueles genótipos transgênicos que podem ser criados com o uso de genes exógenos oriundos de outras famílias do reino, de outros reinos, ou mesmo sintetizados em con-

dições de laboratório, levando em conta as suas partes promotora, codificadora e terminadora. Genótipos transgênicos também podem ser gerados com genes endógenos do próprio gênero, que apenas não são explorados da forma convencional em face do isolamento reprodutivo entre determinadas espécies. Como exemplo, genes de resistência à vassoura-de-bruxa do cacaueiro (*Theobroma cacao*) podem estar no genoma do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e vice-versa, mas essas plantas possuem a barreira do isolamento reprodutivo entre si, o que proíbe a exploração dessa desejável resistência de forma convencional. Aqui aparece a grande importância da tecnologia do DNA recombinante e de outras refinadas ferramentas da biotecnologia moderna, que é a geração de novos genótipos sem a necessidade da exploração da reprodução sexual. Nesse caso do cacaueiro e do cupuaçuzeiro, explora-se o conceito atual da intragenia ou cisgenia com citação desde 2010, que se traduz na utilização de genes da mesma espécie ou gênero na transformação genética de plantas, metodologia anteriormente sugerida por Valois (2003).

Em vários estados da Federação, houve aceitação e contestação, mas o bom senso tem sido destacado. Como exemplo, o tema de OGM chamou a atenção dos maranhenses, culminando com palestra que o autor deste texto apresentou em 16 de agosto de 2006 na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), por ocasião do *VIII ENQUÍMICA - Encontro de Química do Maranhão*, de título *Biotecnologia e Transgênicos*. O evento muito concorrido contou com a presença de alunos de química daquela egrégia universidade e da Universidade Estadual do Maranhão

(UEMA), Centro de Capacitação Tecnológica do Maranhão (CETECMA) e Centro Federal de Educação Tecnológica – Maranhão (CEFET-MA). Após, em videoconferência oferecida desde os estúdios da Universidade Virtual do Estado do Maranhão (Univima) em 27 de setembro de 2006, que alcançou 11 municípios de referência do Estado, além de palestra efetuada na Escola Agrotécnica Federal de São Luís em 18 de outubro de 2006, por ocasião da *Semana Tecnológica e Empreendedora* daquele conceituado estabelecimento de ensino, este autor teve a excelente oportunidade de alargar a visibilidade e o entendimento do tema de transgênicos no Maranhão. Essa busca incansável do entendimento sobre OGMs também alcançou outros países; como outro exemplo exitoso, apresentou-se uma palestra em Santa Cruz de La Sierra (Bolívia) em memorável evento sobre plantas transgênicas. Os resultados obtidos nesses e em outros eventos com a participação do autor foram considerados relevantes, na medida em que geraram discussões inéditas, esclarecimentos convincentes, conscientização e aceitação do tema.

No Brasil, como visto, já existem espécies de plantas transgênicas liberadas para uso ou para testes pela CTNBio, como é o caso de soja, arroz, feijão, milho, batata, mamão, algodão, alface, café, cacau, eucalipto (*Eucalyptus* spp.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e outras.

O pleno desenvolvimento da biotecnologia encontra grandes oportunidades no País, principalmente considerando a riqueza da biodiversidade existente tanto de plantas como de animais e microrga-

nismos. No entanto, há necessidade do incremento na formação de pessoal capacitado em número significativo, bem como na modernização e ampliação da infraestrutura de laboratórios e apoio logístico existentes, especialmente nas universidades públicas e particulares, instituições de pesquisas públicas e privadas, além da formulação de projetos competitivos para a devida captação e aplicação de robustos recursos financeiros. É ainda interessante incentivar e vulgarizar no Brasil a instalação de parques tecnológicos tão desejados e primordiais para perenizar a CT&I, ainda latentes na maioria das unidades federativas, para realmente alavancar o emprego das ferramentas biotecnológicas para o benefício do Brasil e construir verdadeiras "avenidas de ciência, tecnologia e inovação".

Marcadores moleculares

Marcadores moleculares são ferramentas essenciais para a caracterização de indivíduos, que também inclui os organismos geneticamente modificados. Os cromossomos contêm as unidades de informação que são transferidas de uma geração para outra, sendo que o DNA foi identificado como a molécula que contém a informação genética.

Cada cromossomo contém uma longa e única molécula de DNA, além de proteínas que atuam na formação estrutural dessa molécula. As tecnologias disponíveis de análise molecular da variabilidade do DNA permitem determinar pontos de referência nos

cromossomos, tecnicamente denominados de "marcadores moleculares".

É definido como marcador molecular todo ou qualquer fenótipo molecular oriundo da expressão de um gene, como no caso das isoenzimas (múltiplas formas moleculares de uma mesma enzima presente em uma espécie) ou segmentos específicos de DNA, que correspondem a regiões expressadas no genoma.

Um marcador molecular pode ainda ser definido como qualquer fenótipo molecular derivado de um polimorfismo específico na sequência de DNA, conhecido ou anônimo, que pode corresponder ou não a um gene expresso.

Quando se verifica o comportamento de acordo com as leis básicas da herança mendeliana, se define um marcador molecular como "marcador genético", que se comprova, por exemplo, mediante o estudo do comportamento do marcador em uma população segregante.

Diversas técnicas de biologia molecular estão disponíveis para a detecção da variabilidade genética no nível da sequência de DNA, ou seja, para a detecção do polimorfismo genético. Essas técnicas permitem a obtenção de um número virtualmente ilimitado de marcadores moleculares cobrindo todo o genoma do organismo. Tais marcadores podem ser utilizados para as mais diversas aplicações, tanto no estudo de genética como na prática do melhoramento de plantas, dentre outros. O desenvolvimento tecnológico na área de marcadores moleculares tem sido espetacular e extremamente rápido.

Os principais marcadores moleculares até hoje conhecidos são os seguintes (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1998): marcadores isoenzimáticos, polimorfismo de comprimento de fragmentos de restrição (RFLP) e sequências simples repetitivas ou marcadores microssatélites (SSR).

Além disso, estão disponíveis técnicas utilizadas na identificação de marcadores ou em estudos de expressão gênica, como: DNA polimórfico amplificado ao acaso (RAPD), polimorfismo de comprimento de fragmentos amplificados (AFLP), polimorfismo de nucleotídeos únicos (SNP) e sítios identificados em sequências (STS).

A tecnologia do DNA recombinante e o desenvolvimento da amplificação de segmentos de DNA via PCR abriram o caminho para a troca do paradigma genético básico da inferência no genótipo a partir do fenótipo, do qual Mendel foi o pioneiro, para a análise genética direta da variação na sequência de DNA. Essa troca de enfoque foi denominada de transição da genética "mendeliana" para a genética "genômica".

Até meados dos anos 1960, os marcadores utilizados em estudos de genética e melhoramento eram aqueles controlados por genes associados a caracteres morfológicos, em geral fenótipos de fácil identificação visual como nanismo, deficiência clorótica, morfologia foliar, coloração de folíolos e cor de pétalas, cujos marcadores contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento teórico das análises de ligação e para a construção das primeiras versões de mapas genéticos. Entretanto, o pequeno número de

marcadores morfológicos distintos em uma mesma linhagem reduz a probabilidade do encontro de associações significativas entre esses marcadores e caracteres de importância econômica, o que limita o emprego em programas de melhoramento genético.

Nesse plano, o grande avanço se iniciou com o descobrimento e utilização dos marcadores moleculares. Assim, o número de marcadores genéticos disponíveis foi ampliado em boa ordem de magnitude, e a ampliação da técnica se estendeu praticamente a todas as espécies de plantas. Com o domínio das técnicas modernas de biologia molecular, surgiram diversos métodos de detecção de polimorfismo genético diretamente no nível do DNA.

Inicialmente, a utilização de enzimas de restrição permitiu a análise de RFLP. Mais adiante, o desenvolvimento do processo de amplificação em cadeia utilizando uma DNA-polimerase (PCR) conduziu à descrição de outras classes de marcadores moleculares. Essas metodologias aliadas às técnicas de clonagem e sequenciamento de DNA têm possibilitado obter e acumular grande número de informações sobre a estrutura do genoma eucariótico.

O uso intensivo dessa nova tecnologia contribuiu para o desenvolvimento do estudo das diversas classes de sequências repetitivas de DNA chamadas mini e microssatélites, outras ricas fontes de polimorfismo genético.

Diversas tecnologias para a detecção de marcadores moleculares têm sido desenvolvidas nos últimos anos, particularmente após a descoberta da PCR no

final dos anos 1980, com destaque para o RFLP e SSR. Marcadores RAPD têm contribuído significativamente para o rápido desenvolvimento de mapas genômicos, análise de variabilidade e *fingerprinting* (ou impressão digital) de DNA, além de assegurar a propriedade intelectual, bem como outras vantagens.

Marcadores RAPD dispensaram a necessidade do desenvolvimento de sondas específicas empregando reagentes universais "de bancada" e forneceram uma entrada rápida e tecnicamente simples à análise de segregação, ligação genética, construção de mapas e *fingerprinting* de indivíduos.

A principal limitação dos marcadores RAPD é o baixo conteúdo informativo por loco, uma vez que esses marcadores tipicamente exibem uma herança dominante e tecnicamente detectam apenas um alelo por loco, sendo que todos os outros alelos são agrupados em uma única classe caracterizada pela ausência de amplificação de banda.

Os marcadores microssatélites são aqueles atualmente disponíveis que possuem o maior conteúdo informativo. O que distingue os microssatélites é a sua natureza multialélica, herança codominante, abundância e ampla distribuição no genoma e a possibilidade de detectar variações de sequência por meio de um ensaio simples de PCR, tal como RAPD e AFLP.

Além disso, marcadores SSR em geral são altamente transferíveis de genoma para genoma dentro de uma espécie e frequentemente entre espécies geneticamente relacionadas. Nos últimos anos, o desenvolvimento de marcadores baseados em SSR tem se tornado

cada vez mais acessível principalmente devido a estratégias inovadoras de enriquecimento de bibliotecas genômicas e a tecnologias rápidas de sequenciamento automático baseadas em fluorescência.

Em teoria, o uso de genes como marcadores ao invés de marcadores anônimos de DNA (tais como RAPD, AFLP ou SSR) pareceria ser a melhor escolha, uma vez que facilitaria o estabelecimento de relações entre genes candidatos e QTL (loco controlador de característica quantitativa) específicos mapeados em sua vizinhança, isto é, o uso da abordagem do "gene candidato".

Na prática, as sequências de cDNA são muito mais conservadas; portanto, a detecção de polimorfismo de sequência e variação alélica de indivíduos se torna uma tarefa relativamente árdua com a tecnologia atual. Tem sido possível identificar SNP a partir do sequenciamento de cDNA e análise de *clusters* por meio da bioinformática, também extremamente importante na identificação de marcadores moleculares.

Na construção de mapas de ligação em *Eucalyptus* spp., por exemplo, já foram utilizados QTL na identificação de regiões genômicas que têm efeitos significativos na expressão de caracteres economicamente importantes como:

- Características juvenis (altura de plântulas, área foliar e tolerância da muda a geadas).
- Habilidade de propagação vegetativa (enraizamento adventício, brotamento de toco e multiplicação de plântulas in vitro).

- Idade da rotação (crescimento volumétrico, densidade básica da madeira, espessura da casca e forma do caule).

A detecção e expressão de QTL que controlam características quantitativas, tais como altura da planta ou produtividade em patrimônios genéticos (*backgrounds*) distintos, parecem ser abordagens importantes para espécies anuais e devem ser ainda melhores para espécies perenes geneticamente heterogêneas.

A seleção assistida por marcadores (SAM) em plantas é essencialmente um sinônimo de retrocruzamento assistido por marcadores. A aplicação mais direta dessa tecnologia está se tornando comum em programas de melhoramento genético de plantas anuais em todo o mundo.

Marcadores moleculares fortemente ligados a alelos favoráveis a serem introduzidos a partir de um genitor selvagem para uma linhagem comercial ou de uma linhagem para outra são usados para monitorar a herança em gerações de retrocruzamento. Ao mesmo tempo, a seleção é realizada para marcadores do genitor recorrente com o objetivo de recuperar, o mais rápido possível, a maior proporção do genoma recorrente.

Tecnologias de análise genômica com marcadores moleculares estão em constante e rápida evolução, sendo a caracterização da variação da sequência de DNA entre indivíduos em grande número de amostras com ampla cobertura genômica um dos grandes desafios.

Diversas tecnologias que dispensam o uso de eletroforese baseando-se na hibridação de DNA em

lâminas de algumas dezenas de milímetros quadrados contendo moléculas de DNA muito específicas imobilizadas em arranjos sistemáticos (os chamados *microarrays* ou *DNA chips*) estão se tornando disponíveis, principalmente para serem usadas em análise genética de seres humanos e organismos modelos.

A tecnologia de *microarrays* está acelerando enormemente a análise de expressão gênica de milhares de genes "em paralelo" (simultaneamente), sendo esperado que venha a revolucionar os procedimentos de genotipagem individual, geração de perfis de expressão e mapeamento de ligação em organismos vivos.

O *DNA chips* permite ainda a exploração de uma das classes mais abundantes de polimorfismos de DNA em genomas de eucariotos, isto é, os SNP, atualmente bastante utilizados em programas de seleção assistida por marcadores moleculares (SAM).

Em seres humanos, a disponibilidade de grande número de marcadores STS levará ao desenvolvimento de um grande número de marcadores bialélicos baseados em SNP.

Contenção de organismos transgênicos

a medida em que os OGMs ou transgênicos vão encontrando um maior número de aplicações, tanto na indústria como em biorradiação e na agricultura, torna-se cada vez mais urgente encontrar soluções práticas, eficientes e econômicas para impedir sua disseminação descontrolada na natureza, onde pode

vir a causar algum tipo de impacto negativo, mesmo que ainda desconhecido até o momento. Para evitar a disseminação de eventos geneticamente modificados nocivos, o Brasil colocou em prática os critérios de biossegurança, sob a coordenação da CTNBio.

OGMs e biossegurança

Ao longo das conquistas, o cotidiano tem possibilitado aos pesquisadores novas descobertas utilizando os OGMs para a melhoria das condições de vida do ser humano, mas correndo o risco de acontecerem impactos ambientais e perda de controle sobre esses organismos, que podem escapar do domínio humano e causar desastres a médio e longo prazo.

Uma limitação que se agrava é a falta de controle sobre a transferência de material genético de um organismo para outro, fenômeno corriqueiro principalmente entre bactérias através de processos como: conjugação, tradução e transformação.

O sucesso da transformação genética responsável pela transferência horizontal de material genético entre diferentes espécies de bactérias foi recentemente comprovado.

A célula *Escherichia coli* demonstra ser portadora de um plasmídeo conjugativo capaz de ser transferido com alta frequência para células de *Saccharomyces cerevisiae.*

O desenvolvimento do sistema de contenção de OGMs

O objetivo absoluto do sistema biológico de contenção de OGMs consiste na eliminação de determinada população introduzida nos ecossistemas, uma vez que sua função já foi completada.

Existem duas abordagens diferentes que se apresentam para o estabelecimento desses sistemas de confinamento:

- Um mecanismo passivo baseado na delimitação da linhagem, tornando-a incapaz de sobreviver muito tempo fora das condições de laboratório. Por exemplo: construção da linhagem mutante X1776 de *Escherichia coli,* que, para a construção da parede celular, necessita do ácido diaminopimélico, molécula raramente encontrada na natureza.
- Um mecanismo ativo, pelo qual o tempo de vida da linhagem seja controlado através da indução proposital de uma proteína letal, sendo que seu desenvolvimento é normal até ao momento em que ela comete suicídio, chamado de Terminator Technology. Por exemplo: a planta transgênica contém um sistema genético adicional que, em resposta ao estímulo externo desencadeado por atuação do ser humano, provoca a sua esterilidade (BALAN; SCHENBERG, 2002).

Tais sistemas suicidas de contenção biológica poderiam ser, portanto, uma solução alternativa para

a situação de impasses causados pela crescente disseminação de OGM no meio ambiente.

Poder-se-ia dar obrigatoriedade para que todo organismo transgênico contivesse um mecanismo de autodestruição programada, que pudesse ser acionado em determinadas condições, de modo a provocar a sua morte.

Principais características dos sistemas suicidas

Estabilidade

A estabilidade da informação clonada é um dos fatores mais importantes para o sucesso do sistema suicida, com genes que codificam proteínas tóxicas e permanentemente vivem nas células. Consequentemente, há o uso de plasmídeos episssomais, que podem se perder durante o crescimento em ambientes fora do laboratório. Nesse caso, os vetores mais indicados são aqueles capazes de inserir cromossomos nas células hospedeiras, como os plasmídeos integrativos e os transpósons.

Regulação da expressão gênica – promotores

De importância crucial para a construção de um sistema suicida eficaz é a regulação da expressão dos genes assassinos. Durante a escolha do promotor de transcrição para esses genes, devem-se considerar cuidadosamente os mecanismos de repressão da

expressão do gene letal. É muito importante que haja vazamento da expressão do gene clonado para manter a vitalidade da cultura e para evitar o aparecimento de indivíduos resistentes na população. Diferentes situações indesejáveis podem ocorrer:

- Seleção de células resistentes à atividade da proteína assassina, em decorrência de mutações ocorridas no próprio gene letal ou no seu promotor, ou ainda no alvo de ação da proteína em questão.
- Desenvolvimento de mecanismos de inativação desse gene (por exemplo, através da pesada metilação das regiões promotoras) após a célula identificar a presença de um gene cujo produto lhe é tóxico.
- Toxicidade alta da proteína e morte da célula antes do momento adequado, mesmo quando presente em baixas concentrações.

Em laboratórios, o controle eficaz da expressão gênica pode ser facilmente obtido, existindo vários promotores disponíveis.

Uma limitação encontrada é a identificação da expressão dos genes no ambiente, porque a maioria das células fica a maior parte do tempo em ressonância.

Mecanismo de controle químico – Este tipo de controle baseia-se na indução da expressão do gene assassino através da adição de determinados compostos, por exemplo, o IPTG (β-D-tiogalactopironosídeo), que foram utilizados para a construção dos primeiros sistemas suicidas.

Outra opção consiste em relacionar o sistema suicida a um repressor, cuja expressão seja facilmente induzida apenas em condições laboratoriais.

Mecanismo de controle físico – A contenção de microrganismos recombinantes por um sistema de controle físico baseia-se no clássico sistema de expressão de *Escherichia coli,* com o grupo de promotores do fago lambda regulado pelo repressor cI. O isolamento de uma variante termossensível permitiu o desenvolvimento do sistema de expressão regulado pela temperatura.

Mecanismo de controle por estresse – Através da ativação de genes específicos, os microrganismos desenvolvem respostas adaptativas a essas condições extremamente desfavoráveis, que incluem mudanças de morfologia, fisiologia, esporulação, desenvolvimento de resistência à temperatura e outros fatores.

Mecanismo de ativação recombinacional – Trata-se de sistemas suicidas baseados na resolvase do plasmídeo RP4, uma recombinase sítio-específica, cuja função normal é de reparar multímeros de moléculas de plasmídeos através de recombinação ao nível de uma sequência de DNA conhecida como "sítio res".

Mecanismo de controle estocástico – A indução estocástica da expressão gênica consiste num modo de controle mais relevante para a população do que para a célula individual; exemplo é o uso de promotores investíveis responsáveis pelo fenômeno de variação de fase das fímbrias de tipo 1 de *Escherichia coli*.

Proteínas assassinas

Para o desenvolvimento de sistema de contenção do tipo suicida, é primeiramente necessário identificar genes que codifiquem proteínas cujos alvos de ação sejam estruturas essenciais da célula, tais como, a membrana celular, os ribossomos, os ácidos nucleicos, etc.

Proteínas que alteram as funções da membrana celular – São proteínas tóxicas que afetam a morfologia das células, tornando-as transparentes devido à perda de substâncias celulares relacionada à desestabilização da membrana celular, resultando na parada da respiração.

Nucleases – Apesar do sucesso dos sistemas suicidas utilizando proteínas da família GEF, uma séria limitação ainda persiste do ponto de vista da biossegurança: a liberação do material genético para o ambiente, mesmo depois da morte da célula, uma vez que as proteínas GEF atuam na membrana, acabando por liberar o conteúdo celular para o meio.

Proteínas que interferem na síntese proteica – Uma possibilidade para o estabelecimento de sistemas suicidas consiste no aproveitamento de genes cujos produtos bloqueiam o processo celular de síntese de proteínas. A colina E3-RNAse, codificada pelo gene *colE3*, é responsável por uma clivagem específica do RNA ribossômico 16S numa região extremamente conservada entre todos os organismos, sendo inativada pela formação de um complexo com a proteína de imunidade E3, codificada pelo gene

imm3. Foi construído um sistema, no qual o gene *colE3* está localizado num plasmídeo promíscuo e o gene *imm3* inserido dentro do cromossomo da célula hospedeira, de tal modo que a probabilidade de cotransferência de ambos para outra bactéria é extremamente baixa. Assim, ocorrendo a transferência do plasmídeo portador do gene *colE3* para uma outra bactéria não portadora do gene *imm3*, essa seria inativada.

Uma família de toxinas de plantas extensivamente estudada e que já foi utilizada como suicida para células do sistema nervoso consiste das proteínas conhecidas como *ribosome inactivating proteins* (RIP), capazes de danificar ribossomos de eucariotos. A maioria delas apresenta-se em forma de cadeias simples (RIP do tipo I) ou cadeias duplas ligadas covalentemente (RIP do tipo II). Ricina é a mais estudada. Trata-se de uma proteína heterodimérica encontrada em sementes de mamona (*Ricinus communis*), que apresenta a cadeia A (RTA) ligada à cadeia B (RTB) através de uma ponte dissulfídica.

Estreptavidina – A estreptavidina, uma proteína tetramérica codificada pelo gene *stv* de *Streptomyces avidinii*, tem como alvo de ação o metabolismo do carbono, ao nível de oxidação, sequestrando um grupo postético essencial, a D-biotina ou vitamina H. A ação letal da estreptavidina advém da ligação irreversível que ela realiza com a D-biotina. A morte celular resulta da inativação de carboxilases, descarboxilases e transcarboxilases dependentes de biotinas. A inativação dessas enzimas bloqueia o primeiro passo da biossíntese de ácidos graxos e afeta a

gliconeogênese, o metabolismo dos aminoácidos, o ciclo de Krebs, etc.

Sistemas suicidas – Os plasmídeos desenvolvidos por Molin et al. (1987) constituem os primeiros sistemas suicidas descritos na literatura. Subsequentemente, uma série de diferentes sistemas foi desenvolvida, sempre utilizando a expressão controlada de um gene cujo produto é tóxico para a célula, sendo que um conjunto de dez plasmídeos tem sido empregado nos diversos sistemas.

O principal objetivo de um sistema biológico de contenção de OGM como esse, utilizando plasmídeos, reside na eliminação ou redução substancial de populações introduzidas nos ecossistemas, desde que sua função prática já tenha sido completada.

No entanto, existem impedimentos relacionados aos sistemas suicidas que merecem ser considerados. Dentre os fatores que limitam a eficiência dos sistemas suicidas, destaca-se o aparecimento de mutações que tornam a célula insensível à proteína assassina e à seleção nas populações de células com tal fenótipo. Essa seleção será muito mais eficiente se houver expressão basal do gene assassino, o que vai acarretar uma taxa de crescimento reduzida das células com o sistema intacto em relação às células com o sistema mutado, conferindo a essas últimas uma clara vantagem seletiva, predominando as células resistentes em pouco tempo (BALAN; SCHENBERG, 2002). Na realidade, uma grande limitação encontrada nos sistemas suicidas tem sido a alta proporção de células remanescentes, que ainda permanecem após a indução do gene letal.

O fenótipo sobrevivente pode resultar principalmente de mutação no próprio gene letal, no seu promotor ou ainda em outros genes que inativem sua função. Quando as mutações ocorrem no próprio gene letal, transferindo-se o plasmídeo para outra célula, pode-se facilmente identificar o impedimento. Uma maneira objetiva de contornar o efeito das mutações consiste em duplicar o sistema suicida no organismo, usando dois sistemas idênticos ou mesmo diferentes.

Para contornar a limitação da repressão incompleta que a maioria dos promotores apresenta, conforme a citação de Balan e Schenberg (2002), a introdução de circuitos regulatórios (envolvendo não só o controle no nível de transcrição, como também outro controle no nível da tradução) pode aumentar significativamente a eficiência do sistema suicida.

Princípio da Precaução e nuanças da sua interpretação

Princípio da Precaução, também chamado de Princípio da Prudência ou Princípio da Cautela, tem grande implicação no sucesso do agronegócio devido a poder influenciar diretamente na geração de novos genótipos.

O princípio foi proposto formalmente na *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento* na Convenção sobre Diversidade Biológica (BRASIL, 1998) e na Convenção-Quadro sobre as Mudanças Climáticas (BRASIL, 1993) inicialmente para ser considerado na segurança do meio

ambiente e depois estendido para o benefício da saúde humana. No entanto, tem apresentado nuanças em sua interpretação, principalmente em relação à regulamentação da manipulação e uso dos OGMs ou transgênicos, gerados com a aplicação da tecnologia do DNA recombinante.

De maneira geral, o Princípio da Precaução tem sido entendido como a garantia contra os riscos potenciais que, de acordo com o estado atual do conhecimento científico, não podem ainda ser identificados. Assim, permite a ação mesmo que haja incerteza sobre as evidências do risco e expressa extrema prudência, sendo indicado para aplicação em casos de efeitos adversos cuja avaliação científica não permite que o risco seja determinado com a certeza suficiente.

A consolidação internacional desse princípio teve como base o fato de que o risco desconhecido não pode ser considerado como inexistente. Remete ainda que, na ausência da certeza científica formal, a presença de um risco da ocorrência de um dano significativo ou irreversível requer a implementação de medidas e procedimentos que possam prever e evitar esse dano.

A definição oriunda da *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento* invoca as noções da certeza científica e do risco potencial, o que, na ausência de adequada fundamentação científica na identificação e dimensionamento do risco, poderá levar a equívocos de interpretação do Princípio da Precaução.

A redação desse princípio não implica, necessariamente, uma leitura formal, no impedimento da

atividade, e sim a aplicação de alternativas viáveis que efetivamente assegurem a execução da determinada atividade dentro de condições suficientemente necessárias à prevenção do potencial de risco do dano previsto e estimado.

A premissa da presença da certeza formal ou absoluta e do risco zero na manipulação de OGM e nas transações comerciais nacionais e internacionais tem se constituído em severo obstáculo para o deslanchar da PD&I em engenharia genética. Eventualmente, é invocada, em nome de interesses comerciais de domínio de patentes e de outros bens da propriedade intelectual, do controle mercadológico dos produtos gerados e da fabricação e comercialização de agrotóxicos e de outros agroquímicos, como barreira não tarifária à entrada dos genótipos no mercado considerado.

Pelo que se pode observar, existem dois entendimentos antagônicos sobre a aplicação do Princípio da Precaução. Por um lado, há aquele com clara intenção proibitória e pessimista, que considera o risco zero e a segurança absoluta e que estabelece que aquilo que for tido como seguro não causará nenhum malefício no futuro. Por outro lado, existe aquele que é otimista, progressista e pragmático, que acredita que, em biologia, por exemplo, não existe risco zero nem segurança absoluta e que é impossível para alguém prever com precisão absoluta que aquilo considerado seguro diante dos conhecimentos e tecnologias disponíveis não causará nenhum dano no futuro.

Na atualidade, de forma equivocada, em muitos casos, é exigida a certeza absoluta para a regulamentação das atividades com OGM tendo como base as

informações científicas disponíveis e não a certeza relativa, que, aliás, é inteiramente compatível com qualquer evento biológico, sendo a primeira impossível de ser afirmada dados os efeitos provisórios dos conhecimentos e das tecnologias existentes. Infelizmente, inúmeras manifestações sociais, atualmente enfraquecidas, têm demonstrado apego excessivo ao mito da certeza absoluta no campo da ciência biológica aplicada e procuram exigir que aqueles que realizam pesquisas em engenharia genética devam comprovar, de forma absoluta, que aquilo avaliado como seguro não possibilitará dano algum no futuro.

Dentro da lógica, os cientistas só podem afirmar que, dado o estágio atual do conhecimento, existe ou não existe risco em relação ao uso de um determinado OGM avaliado e validado, não sendo possível predizer o futuro com precisão absoluta, devido aos constantes avanços do conhecimento científico e dos possíveis acontecimentos ao acaso de acidentes de ordem biótica.

Deve-se levar em conta que as rotas biológicas estão sempre sujeitas a ocorrências inesperadas de mutações, interações gênicas alélicas e não alélicas, acidentes citológicos e outros, podendo dar margem ao aparecimento de efeitos danosos não intencionais.

Essa atitude cautelosa dos cientistas muitas das vezes é entendida como desconhecimento ou descaso em relação ao bem-estar da sociedade e ao meio ambiente. O cuidado de regular a atividade científica com critério e espírito precautório não deve impedir que os conhecimentos, as técnicas e as tecnologias

avancem, mas sim que contribuam eficazmente para os seus aprimoramentos.

Nesse sentido, os melhoristas de plantas já ofereceram substanciais e claros exemplos de precaução na geração de genótipos nessa base molecular, considerando a aplicação de metodologias recomendadas de exclusão da canamicina e de outros antibióticos na seleção de eventos geneticamente modificados para evitar o risco da resistência de pessoas a esses produtos químicos; a desconsideração da proteína 2S da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) no enriquecimento proteico de outros produtos como feijão para evitar possíveis perigos alergênicos; e a recomendação de que OGMs biorreatores transformados para a produção de vacinas devem ser considerados como medicamentosos e não como alimentícios para não permitir a premissa da supervacinação.

A tecnologia do DNA recombinante pode ser considerada um alento para pessoas alérgicas, pois é capaz de remover os genes que possam estar incluídos em genomas de vários produtos naturais, como arroz, castanha-do-brasil e amendoim (*Arachis hypogaea*). Isso se traduz em moderna aplicação da engenharia genética, pois o OGM gerado não significa a adição de gene não existente em seus paternais e sim a subtração de gene considerado indesejável para a saúde humana (VALOIS, 2003).

Na aplicação do Princípio da Precaução não utópico, é justificável a adoção de medidas e procedimentos quanto à análise de risco, que significa a probabilidade de os perigos físicos, químicos, biológicos e ambientais ocorrerem. Levando em consideração

que não existe risco zero, segurança absoluta nem a probabilidade zero ou de 100% na estimação de riscos futuros em eventos biológicos, na análise de risco, devem ser considerados os seguintes temas: avaliação do risco, gerenciamento ou manejo do risco, além da comunicação do risco. Com destaque à avaliação do risco, trata-se de um procedimento científico que envolve os seguintes aspectos: identificação e caracterização do perigo, avaliação da exposição e caracterização do risco. Para muitos, o Princípio da Precaução é um bom exemplo de gerenciamento do risco.

No Brasil, só recentemente a CTNBio, após causar sérios transtornos devido a desentendimentos inclusive subjetivos no âmbito de alguns dos seus membros e sofrer pesadas advertências por quem de direito, embora tardiamente, começou a entender esse fato, o que ocasionou a imediata liberação de eventos de soja, feijão, milho e algodão, estando prestes a liberar OGMs adicionais, pois estão passando por consistentes estudos de caráter experimental a nível de laboratório e campo. Isso possibilitou que, em 2013, o agronegócio brasileiro tenha cultivado 40,3 milhões de hectares com plantas transgênicas, alcançando o segundo lugar no nível mundial.

Deve-se ainda acrescentar que, no âmbito do planeta, após 25 anos de uso, nenhum OGMs causou qualquer malefício à saúde humana e animal, e muito pelo contrário, fez muito bem ao meio ambiente e à sanidade alimentar e nutricional dos consumidores devido à drástica redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura, além da excelente qualidade nutricional dos produtos, resistência a pragas e doenças, tole-

rância à seca, a herbicidas e a outros estresses ambientais. No ano de 1996, a área plantada com OGM no mundo foi de 12 milhões de hectares. Em 2006, a área cultivada aumentou para 102 milhões de hectares em 51 países que adotaram o agronegócio dos transgênicos. Em 2013, a área cultivada com transgênicos no mundo alcançou 175 milhões de hectares.

A adoção de uma política excessivamente restritiva sob o ponto de vista regulatório, em nome do Princípio da Precaução proibitivo, poderá ser danosa ao desenvolvimento de PD&I e CT&I e especialmente da biotecnologia, importante área do conhecimento de segurança nacional e estratégica para a inovação e convergência tecnológica e para o pleno desenvolvimento do agronegócio e de outras importantes áreas prioritárias no Brasil.

Sempre o bom senso deve ser colocado em evidência.

Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual

De maneira geral, considera-se que, na América Latina, Brasil, Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Equador, México, Peru e Venezuela são os países mais ricos em biodiversidade (aqui entendida como o conjunto de plantas, animais e microrganismos em interação com o ambiente em que vivem). Nos outros continentes, destacam-se: África (África do Sul e Quênia), Ásia (China, Índia, Malásia, Indonésia e Filipinas). Como

destaque, os países amazônicos abarcam algo em torno de 56% da biodiversidade do planeta.

Entre todos os países possuidores de megadiversidade biológica, o Brasil é o mais rico em plantas, animais e microrganismos e dono de cerca de 1/3 das florestas naturais contínuas do mundo. Somente em plantas superiores, o País conta com mais de 55 mil espécies, correspondentes a mais de 20% do total aproximado de 267 mil espécies já classificadas no nível mundial (VALOIS, 2005).

A Amazônia, o Cerrado e o Pantanal, a Caatinga e a Mata Atlântica, por exemplo, são verdadeiros bancos naturais de recursos genéticos, cuja grande maioria ainda está por ser descoberta. Conscientes da elevada importância desses ecossistemas para a humanidade, os cientistas interessados se entregam ao trabalho de prospecção e coleta, conservação e preservação de recursos genéticos e outros da natureza, conservação in situ e ex situ, caracterização e avaliação, documentação, informação e uso de germoplasma, além de outros estudos de espécies vegetais e microrganismos, assim como à conservação e uso de raças animais, especialmente daquelas em perigo de extinção (VILELA-MORALES; VALOIS, 2000).

Grande parte da riqueza biológica do Brasil está confinada nas florestas, particularmente na Amazônia, que, entre outras aplicações, se constitui em uma gigantesca farmácia popular à espera do aproveitamento racional. Imagine que futuramente se descubra que determinada espécie vegetal, animal ou mesmo um simples microrganismo, já praticamente extinto, produza determinada enzima ou outro produto que

efetivamente combata alguma doença que assole a humanidade. Caso não fosse possível conservar seu material genético através de bancos genéticos, muitas pessoas poderiam sofrer com a ausência desse material, o que seria evitado com a sua conservação, caracterização e uso sustentável, principalmente diante das técnicas e tecnologias apropriadas convergentes atualmente disponíveis (VALOIS, 1998).

Para se ter uma ideia dessa responsabilidade brasileira no referente ao bom trato do seu elevado manancial florestal em áreas protegidas, o País possui 900 áreas prioritárias de conservação, bem como ostenta o maior parque nacional do mundo, que é o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, localizado no estado do Amapá, com cerca da 3.800.000 hectares. Afora isso, a Reserva do Anamã, situada no estado do Amazonas, com 2,2 milhões de hectares, e o contíguo Parque Nacional do Jaú, com 2,3 milhões de hectares, juntos formam o maior corredor de florestas tropicais do planeta.

Fazendo-se uma abordagem somente para plantas, é possível aferir a grande relevância da biodiversidade que ocorre no Brasil, se se considerar a disponibilidade de 16,5 bilhões de genes, mesmo levando em conta o elevado grau de duplicação de genes e a redundância de sistemas alélicos e de estruturas genéticas, além do fato de que nem todo genoma que ocorre nos recursos genéticos seja funcional. Isso abre uma enorme perspectiva para o uso ordenado das ferramentas biotecnológicas para a geração de plantas adaptadas aos novos desafios do agronegócio diante das exigências da quantidade alimentar e nutricional,

qualidade dos alimentos e saúde (livres dos perigos físicos, químicos, biológicos e ambientais), genótipos tolerantes à seca, a elevadas temperaturas e a áreas encharcadas (mudanças climáticas), aplicações estratégicas como na produção de biocombustível (etanol e biodiesel), além de outras. Esses fatos abrem uma grande prioridade para a bioprospecção molecular e bioinformática no Brasil, onde as leis de propriedade intelectual exercem um papel fundamental.

A importância da biotecnologia, no contexto da biodiversidade, deriva do fato de que, atualmente, com uma população mundial estimada em 6,7 bilhões de pessoas, que poderá ascender a 8 bilhões por volta de 2020, conforme Valois (2003), por certo haverá escassez de produtos agrícolas ainda no decorrer do presente século. Mas isto poderá ser evitado caso importantes parâmetros sejam imediatamente realinhados, como o aumento da produção e produtividade, acesso facilitado aos alimentos especialmente pelas populações mais carentes, melhoria do escoamento e distribuição dos alimentos, mitigação dos efeitos maléficos das mudanças climáticas e ordenamento da aplicação dos produtos agrícolas, dentre outros. Além disso, razões adicionais podem ser levadas em conta, como: aumento da demanda por alimentos em países como China e Índia, bioglobalização da economia e disputa por mercado, aumento do poder de compra em países privilegiados economicamente (mas com marcante deficiência de clima e solo ideais para a agricultura), possível redução de subsídios agrícolas em países desenvolvidos e menos pessoas produzindo no campo para mais pessoas vivendo nas grandes cidades (êxodo rural).

No caso brasileiro, o agronegócio deve continuar crescendo inclusive com significativa participação no produto interno bruto, para o atendimento da demanda por alimentos, principalmente proteínas de origem animal, grãos, frutas e hortaliças, além de produtos de aplicação industrial como biocombustíveis e fibras e da geração de divisas por meio de exportações de produtos agropecuários e agroindustriais, com atenção voltada à constante modernização da infraestrutura para não apenas exportar commodities, mas principalmente produtos com valores agregados para a geração de trabalho, emprego, serviço e renda no próprio País.

Dentro do contexto da biotecnologia, quatro funções básicas são esperadas: contribuição para o aumento da produção e produtividade; redução dos custos de produção; influência na implantação de sistemas produtivos ambientalmente sustentáveis; e criação de novas alternativas metodológicas para o inventário, coleta, intercâmbio, conservação, caracterização, avaliação, documentação e utilização de recursos genéticos e áreas afins.

É com a contribuição da biotecnologia moderna que o Brasil continuará a ascender a novos patamares de produção e produtividade (como a produção recorde de 204,5 milhões de toneladas de grãos ocorrida em 2015), além do aumento mínimo de áreas cultivadas e do auxílio do emprego da genética molecular na agricultura. Se o século passado foi da informática, o atual tem sido da biotecnologia, em razão dos avanços que tem galgado principalmente diante dos novos conhecimentos e tecnologias convergentes,

com destaque para a genética e melhoramento de plantas. Inúmeros protocolos de transformação e regeneração de plantas encontram-se estabelecidos, com as principais commodities já sendo transformadas, via engenharia genética, confirmando a herança segura dos genes introduzidos e a viabilidade comercial da tecnologia do DNA recombinante, o que já recebeu o aceite pela CTNBio.

Todos os espaços já abertos pela biotecnologia no Brasil deixam um grande campo de ação para o uso sustentado dos recursos genéticos, considerando a Lei de Biossegurança (BRASIL 2005), Lei de Propriedade Industrial (BRASIL, 1996), Lei de Proteção de Cultivares (BRASIL, 1997b), Lei de Sementes (BRASIL, 2003) e Lei de Acesso aos Recursos Genéticos (BRASIL, 2015). Essa última lei dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da sua utilização, sendo o acesso regulado pelo Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGEN), pertencente ao Ministério do Meio Ambiente (VALOIS, 2005).

Nos recursos genéticos (entendidos como a variabilidade de espécies de plantas, animais e microrganismos que contêm elementos funcionais da hereditariedade, de interesse socioeconômico atual e potencial, para utilização em programas de melhoramento genético, biotecnologia e outras ciências afins), reside a grande base biológica para a geração de tecnologias de ponta doadas pela biotecnologia. Os recursos fitogenéticos abrangem as seguintes categorias: espécies silvestres, espécies de parentes silvestres das plan-

tas cultivadas, raças locais e variedades, linhagens melhoradas, populações experimentais e linhagens com características genéticas e citogenéticas especiais, dentre outras.

Em termos da conservação de recursos genéticos, no Brasil, se pratica a in situ (conservação das espécies na comunidade a que pertencem dentro do ambiente a que estão adaptadas) e a ex situ (conservação das espécies fora do seu local de origem). Na conservação in situ, grande fulcro para a bioprospecção molecular no Brasil, praticam-se as modalidades de áreas protegidas (parques nacionais, reservas biológicas, reservas extrativistas, etc.), reservas genéticas, áreas de produtores tradicionais e áreas de populações indígenas, que possuem, ainda como vantagem, a permissão para a atuação das forças evolucionárias das espécies (mutação, migração, recombinação, seleção natural e oscilação genética). Para o caso da conservação ex situ, são as seguintes as principais modalidades praticadas no País: coleção de base, coleção ativa, coleção a campo, coleção de trabalho, coleção in vitro, coleção em criopreservação, coleção nuclear e banco genômico. Essa riqueza de genótipos compõe uma rede de bancos de germoplasma no nível nacional, coordenada pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia; outras instituições brasileiras possuem os seus próprios bancos. Para fortalecimento do processo, o Brasil faz parte da Rede de Manejo e Conservação dos Recursos Fitogenéticos para os Trópicos Sulamericanos (Rede Tropigen), no âmbito do Programa Cooperativo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Agrícola para os Trópicos Sulamericanos, pertencente ao Instituto Interamericano de Coopera-

ção para a Agricultura (IICA/Procitrópicos), bem como integra o Programa de Recursos Genéticos do Programa Cooperativo para o Desenvolvimento Tecnológico Agroalimentar e Agroindustrial do Cone Sul (Procisur).

A disponibilidade de germoplasma vegetal é condição primordial para a geração de novos genótipos em uma boa fábrica para a produção de modernas cultivares produtivas e competitivas, para serem protegidas pelas leis de propriedade intelectual em benefício da sociedade. A convergência de tecnologias para o sucesso do estudo da biologia sobre a conservação de germoplasma e sua aplicação é outro tema merecedor da maior atenção no presente século.

Considerando as vantagens da produção mais econômica, da diminuição dos impactos ambientais, do aumento da segurança alimentar e nutricional, do combate de agentes transmissores de doenças como malária e dengue e da menor exposição dos trabalhadores rurais e consumidores a substâncias tóxicas, a pesquisa também trabalha para que o controle biológico de doenças, insetos e plantas daninhas seja uma prática comum no meio rural brasileiro no presente século.

Dentro de uma definição plausível, o controle biológico significa a ação de parasitas e predadores ou patógenos para manter a densidade de outro organismo em patamar inferior àquele que ocorreria em sua ausência, sem contaminar o meio ambiente ou causar efeitos pleiotrópicos (colaterais) em seres humanos.

A eficiência relativa do controle biológico pode ser medida e comparada através do uso das seguintes variáveis:

$EcoBio = VAC + ESP + DPPh + CAAp + APPhA$

onde:

EcoBio = Eficiência relativa do controle biológico

VAC = Virulência do agente de controle biológico

ESP = Estádio susceptível da praga

DPPh = Fase do desenvolvimento da planta hospedeira

CAAp = Condições ambientais apropriadas

APPhA = Interação agente de controle biológico × praga × planta hospedeira × ambiente

Espécies de pouco valor aparente podem ter utilidade inimaginável, pois o "lixo" de hoje poderá se constituir na mina de genótipos funcionais do futuro. O uso da biodiversidade, junto com outros recursos como solo, água e energia solar, pode ser a chave para transformar o Brasil no "celeiro da humanidade". Assim, o País poderá ratificar o seu reconhecido potencial biotecnológico e de celeiro do mundo, além de tanto combater a fome como curar e evitar várias doenças que tanto afetam a saúde humana e de outros seres vivos. A biodiversidade, um bem cujo valor ainda carecia de reconhecimento, com o uso da avançada biotecnologia, pode ser o sustentáculo de uma moderna revolução agrícola e industrial e a chave de retomada do crescimento, destravando, de uma vez

por todas, o pleno desenvolvimento do Brasil. A sequência biodiversidade-biomassa-biotecnologia formará o caminho obrigatório de um mundo sustentável.

Por sua vez, o correto emprego do tripé biodiversidade-biotecnologia-propriedade intelectual tem permitido ao Brasil continuar desenvolvendo um agronegócio sustentável, ético, legal e transparente, com amplas vantagens comparativas e competitivas na agregação de valores nos produtos que chegam à mesa dos consumidores com inovação tecnológica e maior processamento industrial. Atenção relevante deve ser dada ainda à melhoria da sanidade dos produtos agropecuários, incluindo o bem-estar animal e o efetivo e eficaz controle das espécies invasoras exóticas danosas e enfermidades, à ampliação das informações de fácil acessibilidade e à diferenciação da qualidade dos produtos. Todos esses benéficos fatores devem ser seguidos por um fluxo contínuo de novos produtos descobertos e seus nichos de mercado apropriados, complementados pela geração de renda e riqueza, especialmente para o benefício dos agricultores de base familiar e produtores de cunho empresarial, que devem se integrar dentro da multifuncionalidade convergente do agronegócio. Para isso, é necessário que se saiba utilizar a biodiversidade de forma racional e sustentável, reconhecendo que as novas tecnologias são um desafio constante, tanto científico quanto legal, no sentido de se obter registro da propriedade intelectual para os resultados de PD&I e CT&I e, assim, aumentar o fluxo de recursos financeiros para a sustentação da pesquisa agropecuária pública e o fortalecimento da infraestrutura adequada e do apoio logístico.

Para o correto uso dessa riqueza do patrimônio natural, faz-se mister que primeiramente cada brasileiro seja conscientizado sobre o uso sustentado da biodiversidade, isto é, sobre a perspectiva de que a geração presente possa atender às suas próprias necessidades sem se esquecer de que as futuras gerações também necessitarão fazer o mesmo; elas não serão apenas herdeiras das gerações atuais, mas deverão se comportar como fiéis depositárias. Essa preocupação com a educação ambiental deve começar nas escolas, desde o ensino fundamental, pela bioalfabetização. Esse fato é premente, considerando a sustentação dos grandes biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Zonas Costeira e Marinha). Essa consciência também é importante para preparar o brasileiro quanto ao exercício das leis de propriedade intelectual, no sentido de que as faculdades de direito e universidades que vêm formando os novos profissionais na área biológica efetivamente incorporem essa nova ordem jurídica em seus currículos escolares.

Ao lado dos recursos genéticos de plantas, animais e microrganismos, a propriedade intelectual e a biotecnologia têm um papel primordial no sentido de contribuir firmemente para mitigar a pobreza, a miséria absoluta e a dolorosa fome (especialmente em países subdesenvolvidos), preservar, conservar e usar os recursos naturais bióticos e abióticos, além de possibilitarem a segurança biológica e a segurança alimentar e nutricional da população, sendo ainda magníficos suportes para assegurar a proteção ambiental e a sustentabilidade do agronegócio.

Um dos grandes desafios quanto à atuação da biotecnologia é como ela poderá ajudar os povos carentes dos países mais pobres. Nesse sentido, primeiramente tem que haver um compromisso dos países mais ricos com o lado social e não só com o ponto de vista comercial, enquanto a biotecnologia pode ser dirigida no sentido de contribuir firmemente para um substancial e sustentável crescimento da produção e produtividade agrícolas. As ferramentas biotecnológicas em uso são da maior utilidade para a prospecção de genes, emprego de marcadores moleculares, aplicação da engenharia genética e bioinformática. Essas ações e esforços inclusive conduzirão à aceleração dos programas de melhoramento genético com a redução do número de ciclos de seleção, direcionamento para a melhoria de caracteres qualitativos e quantitativos de interesse, aumento do ganho genético e redução dos custos na operacionalização dos esquemas de seleção de novos genótipos. Ainda, a biotecnologia é ferramenta indispensável para auxiliar na socialização dos princípios da segurança biológica (manejo de riscos bióticos e abióticos associados à agricultura, pecuária, florestas e áreas afins), bem como para democratizar o sistema de análise de risco de pragas da agricultura, isto é, a definição dos riscos, perigos e danos que uma praga pode causar ao agronegócio em uma determinada área e colocação em prática da estratégia e gestão tática e operacional de controle, considerando um enfoque sistêmico.

O próprio desenvolvimento e o uso de biotécnicas irão permitir que os países do Hemisfério Sul tenham acesso à tecnologia de ponta, estabeleçam proveitosas e duradouras parcerias entre si e tenham

possibilidade de incrementar uma forte ligação com instituições de pesquisa avançada de países do Norte, tanto do setor público como da iniciativa privada, extraindo excelentes benefícios para os seus povos. Esse tipo de interação é também da maior importância para os países do Norte, pois é no Sul que é encontrada a maior biodiversidade de plantas, animais e microrganismos do planeta de que tanto necessitam.

Na adoção horizontal de tecnologias avançadas advindas da biotecnologia, principalmente pelos países em desenvolvimento, é importante contar com a participação de organismos internacionais com capacidade de permear todas as nações, sem discriminação, como facilitadores para que setores públicos de países desenvolvidos disponibilizem as suas conquistas tecnológicas de domínio público e mantenham o acesso especialmente para uso por países carentes do Sul. Essas instituições devem ainda concentrar a aplicação de significativos investimentos em biotécnicas em países em desenvolvimento e emergentes levando em conta:

- Manutenção da própria credibilidade técnico-científica em PD&I e CT&I.
- Atuação de forma positiva no sentido de melhor assistirem aos países do Sul quanto ao estabelecimento de efetivas regras de biossegurança, bioética e propriedade intelectual.
- Contribuição substancial para o desenvolvimento humano com inclusão social, para assegurar a aplicação de apropriadas

ferramentas biotecnológicas de importância para a segurança alimentar.

- Encontro de soluções alternativas para as ameaças ambientais emergentes, como as próprias mudanças climáticas, por meio de um consistente processo de capacitação de pessoal, fortalecimento da infraestrutura e apoio logístico, além da transferência e adoção de tecnologia apropriada.

É necessário ainda um compromisso mundial quanto à aplicação da genética molecular, biologia celular e marcadores moleculares para um melhor entendimento e adequada manipulação de genomas de plantas, animais e microrganismos, levando em conta os condicionantes bióticos e abióticos, envolvendo a melhor compreensão da interação de hospedeiros com patógenos e a interação entre genótipo e ambiente, objetivando o encontro de adequados métodos de controle. O pleno desenvolvimento de indivíduos transgênicos, via engenharia genética, tem amplas condições de contribuir para o suporte da segurança alimentar e nutricional dos povos e a ultrapassagem dos grandes desafios ambientais do presente e por virem, o que, aliás, já vem ocorrendo com segurança insofismável.

Considerando os princípios da convergência multifuncional, a biodiversidade, a biotecnologia e a propriedade intelectual de maneira interativa exercem um papel fundamental para o benefício da humanidade.

Direitos de propriedade intelectual e a biotecnologia

A decifração do código genético e o desenvolvimento da engenharia genética permitiram ao ser humano intervir diretamente na essência da vida, provocando uma reação da sociedade aos riscos associados às incertezas científicas e tecnológicas, projetadas na esfera jurídica e ética. No Brasil, tanto o progresso da biotecnologia moderna quanto o debate ético e jurídico a ele associado começaram a ser estimulados a partir da década de 1990 pela expansão da pesquisa e pela correspondente regulação legal.

Devido à importância do tema, nesta seção, examina-se a legislação brasileira concernente à propriedade intelectual aplicada à biotecnologia moderna, notadamente os temas "patente" e "proteção de cultivares", além de aspectos relativos à propriedade na Convenção sobre Diversidade Biológica, firmada durante a *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento*, realizada no Rio de Janeiro em 1992, e sua regulação através do Projeto de Lei de Acesso a Recursos Genéticos. Os direitos de propriedade intelectual referem-se a um conjunto de instrumentos legais que fornece proteção para criações do engenho humano e do conhecimento, cuja característica é de ser um bem incorpóreo.

Devido à tal característica, os criadores dependem de uma proteção legal contra a cópia, denominada de "direitos de propriedade intelectual". Tais direitos, cujas quatro categorias mais importantes são

"patentes", "marcas", "proteção de melhoramentos vegetais" e "direitos de autor e conexos", compartilham algumas peculiaridades, como a faculdade temporária de excluir terceiros não autorizados do uso do objeto protegido.

No universo da propriedade intelectual, a proteção da patente pode incidir sobre uma ampla gama de invenções de produtos e processos em qualquer setor tecnológico, até de determinadas formas de vida. A proteção de melhoramentos vegetais confere direitos semelhantes aos donos de patentes, mas apenas relativo a plantas. Direito autoral, ou *copyright* em alguns países, e direitos conexos tratam da proteção de obras literárias, musicais, cinematográficas e de artistas intérpretes e executantes, embora também tenham passado a ser aplicados para programas de computador. Marcas destinam-se a proteger os sinais distintivos de um determinado produto ou indicativos de um determinado serviço (SCHOLZ, 1998).

Devido à natureza de seus processos e produtos e às características desses instrumentos normativos, a biotecnologia e os processos biotecnológicos são mais adequadamente protegíveis no âmbito do sistema de patentes e do sistema de proteção de melhoramentos vegetais. Em geral, as patentes despertam interesse maior, especialmente para a indústria farmacêutica e de biotecnologia agrícola.

De acordo com a Organização Mundial de Propriedade Industrial (OMPI), 62 países (39 dos quais são países em desenvolvimento) excluíram variedades de plantas da proteção intelectual; 63 excluíram raças animais; 49 excluíram produtos farmacêuticos;

9 excluíram microrganismos (SCHOLZ, 1998). No entanto, tal situação atualmente se encontra bastante modificada, principalmente em decorrência dos resultados da Rodada do Uruguai sobre o Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio (Gatt), que se transformou na Organização Mundial do Comércio (OMC), notadamente da assinatura do Acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio (Trips).

De maneira geral, ainda que atendam às exigências fundamentais da patente, não são patenteáveis tudo que for contrário à moral e à segurança pública e o resultado das transformações do núcleo atômico e dos seres vivos, com exceção dos microrganismos modificados. Tornam-se, assim, patenteáveis determinadas categorias de inventos anteriormente excluídas da proteção, como processos e produtos farmacêuticos e alimentícios, produtos químicos e ligas metálicas.

No período de 1945 a 1969, o Brasil concedia patentes apenas para processos farmacêuticos, negando-as para produtos. A partir da vigência do Código de Propriedade Industrial de 1971, a patente de processos e produtos farmacêuticos, alimentícios e químicos foi totalmente abolida. Além disso, o código tornou-se omisso quanto ao patenteamento da biotecnologia (arte ou ferramenta inexistente na época).

A exclusão dessas áreas tinha motivação essencialmente política, dentro de um modelo de industrialização autárquica, isto é, de proporcionar, via apropriação do conhecimento alheio, o desenvolvimento brasileiro nesses setores tecnológicos, cuja

expectativa foi frustrada, conforme demonstraram os indicadores econômicos. Porém, tal protecionismo, da mesma forma como não consistiu em restrição ao crescimento das empresas estrangeiras instaladas no País, tampouco resultou no fortalecimento e na capacitação da indústria nacional.

Os produtos farmacêuticos mais avançados e medicamentos que utilizam tecnologia de ponta (pesquisada e desenvolvida quase sempre no exterior), sem a adequada proteção da patente, seriam mantidos em segredo e, possivelmente, em vista do receio da pirataria, fora de fabricação no Brasil. Além disso, a fração correspondente à propriedade intelectual no valor final de qualquer produto equivale, em média, a apenas 2% do preço final do produto, possivelmente menos do que os custos desconhecidos quando o produto é tratado como segredo industrial.

Estudos setoriais realizados na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) nas áreas de sementes melhoradas e de química fina mostraram que a inexistência de mecanismos jurídicos de apropriabilidade não foi determinante para o desenvolvimento desses setores: existem outros mecanismos de apropriabilidade que são utilizados pelas empresas. Além disso, as oportunidades de imitação legalmente permitida não foram efetivamente aproveitadas, e a proteção jurídica não foi absolutamente eficaz. Tampouco a mudança do sistema legal vigente envolveu alterações radicais nos mercados analisados, salvo efeitos pontuais, como um aumento de investimentos privados em variedades de soja ou a introdução de novos produtos farmacêuticos no País.

Apenas 2 anos depois da entrada em vigor do Código de Propriedade Industrial de 1971, duas universidades na Califórnia (Estados Unidos) clonaram o gene que codifica a insulina, dando início à engenharia genética. Assim, aquela codificação de nada poderia dispor quanto à patenteabilidade de invenções biotecnológicas, fossem elas relativas a plantas, animais ou microrganismos modificados. Tampouco há, no texto legal de 1971, qualquer obstáculo explícito quanto ao patenteamento de processos biotecnológicos.

Centenas de pedidos nessas áreas acumularam-se no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) desde a década de 1970 que, a rigor, poderiam ter sido concedidos com base no Código de 1971, posto não serem expressamente excluídos da proteção. As patentes não foram concedidas por razões unicamente políticas por parte do governo brasileiro, dentro da estratégia de proteção da empresa nacional, a chamada "absorção de tecnologia pela via da cópia". Plantas e animais, ainda que modificados geneticamente, com a exclusiva exceção dos microrganismos modificados, nunca foram e não serão objetos de patente nos termos do Código de 1971.

A indústria biotecnológica brasileira, representada pela Associação Brasileira das Empresas de Biotecnologia (Abrabi), não compartilhou das preocupações acerca de um possível impacto negativo sobre a biotecnologia, a agricultura e o meio ambiente (e sobre a própria tessitura ética da sociedade brasileira) que a eventual autorização para patenteamento de animais e plantas superiores transgênicos poderia

vir a causar. No que concerne a questões de ordem ética sobre o corpo humano, a Abrabi manifestou-se expressamente contrária a qualquer forma de privilégio industrial ou exploração comercial do organismo humano e de suas partes constituintes (células, tecidos, órgãos e sangue). Também se declarou favorável ao patenteamento dos processos inovadores de transformação genética ou funcional de células e tecidos humanos, desde que o material biológico fosse doado espontaneamente pelo paciente ou terceiro interessado. Além disso, a Abrabi manifestou-se eticamente contrária a qualquer alteração genética no ser humano que possa ser transmitida hereditariamente pela reprodução natural, recomendando o banimento ético de quaisquer experimentos científicos e aplicações médicas que impliquem a modificação genética das células reprodutivas masculinas ou femininas, da célula-ovo ou embrião humano em qualquer estádio do seu desenvolvimento (SCHOLZ, 1998).

Com a vigência da nova Lei de Patentes, microrganismos modificados pelo ser humano e processos biotecnológicos não naturais tornaram-se passíveis de proteção de patente, desde que atendidos os requisitos básicos da patenteabilidade. No entanto, não é admitido o patenteamento de microrganismos encontrados na natureza e de outros seres vivos, como plantas e animais ou mesmo elementos advindos do ser humano (sejam eles modificados ou não por engenharia genética).

Não é admitido, ainda, o patenteamento de produtos naturais, materiais biológicos encontrados na natureza, incluindo genes e o genoma de organismos

vivos. Isso elimina a possibilidade de que produtos diretamente extraídos da biodiversidade (meramente isolados de seu meio natural) venham a ser patenteados. Já os processos biotecnológicos, mesmo os que recorrem ao uso de microrganismos encontrados na natureza (a exemplo de outros processos químicos ou físicos) são passíveis de patenteamento.

Para fins da lei, microrganismos transgênicos são organismos, exceto o todo ou parte de plantas ou de animais que expressem, mediante intervenção humana direta em sua composição genética, uma característica normalmente não alcançável em condições naturais. Tendo em vista as dificuldades para descrição suficiente dos microrganismos, o relatório descritivo da patente de invenção que integra o pedido de depósito é suplementado pelo depósito do material biológico em instituição autorizada pelo INPI ou indicada em acordo internacional.

Não passíveis de proteção de patente, as plantas inventadas pelo ser humano por processos de melhoramento genético são protegidas por um sistema "sui generis de propriedade intelectual" para proteção de novos melhoramentos vegetais, isto é, a Lei de Proteção de Cultivares. Também não são cobertos pelas alterações promovidas no regime brasileiro de propriedade intelectual os animais per se ou novas raças de animais, frutos da aplicação da engenharia genética.

A ratificação do Acordo Trips pelo Brasil gerou o compromisso de se conferir proteção a variedades vegetais, seja por meio de patentes, seja por meio de um sistema sui generis eficaz, seja por uma combina-

ção de ambos, o que ensejou o fortalecimento da Lei de Proteção de Cultivares, além do envolvimento do País no convênio com a International Union for the Protection of New Varieties of Plants (Upov).

Dada a realidade da agricultura brasileira e o estado da arte das pesquisas na área vegetal, o governo, em opção endossada pelo Congresso Nacional, afastou o sistema de proteção por patentes e entendeu que a proteção via sistema de cultivares seria o instrumento adequado para o Brasil. Assim, o Projeto de Lei de Proteção de Cultivares (PL nº 1.457/1996) foi enviado pelo Poder Executivo ao Congresso Nacional em janeiro de 1996, tendo sido aprovado na Câmara dos Deputados em dezembro daquele ano e no Senado Federal em abril de 1997. Tendo em vista algumas modificações que recebeu no Senado, o mesmo retornou para exame final na Câmara, onde foi aprovado sem novas alterações em 18 de abril, tendo sido sancionado pelo presidente da República no dia 25 do mesmo mês. A referida lei foi publicada no Diário Oficial da União em 28 de abril de 1997 e regulamentada em setembro por meio do Decreto nº 2.366 de 5 de novembro de 1997 (BRASIL, 1997a), que também criou a Comissão Nacional de Proteção de Cultivares.

A Lei de Proteção de Cultivares visa oferecer ao melhorista de plantas brasileiro o reconhecimento do direito de propriedade intelectual pela obtenção de novas variedades vegetais, que são explicitamente excluídas da patenteabilidade pela nova Lei de Propriedade Industrial.

Em agosto de 1998, o Poder Executivo também encaminhou à Câmara dos Deputados o Projeto de Lei nº 4.751/1998, regulamentando o artigo 225 da Constituição (BRASIL, 1988) e a Convenção sobre Biodiversidade, dispondo sobre o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado, bem como sobre a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da sua utilização. Esse projeto de lei vincula-se ao Projeto de Emenda Constitucional nº 618/1998, encaminhado simultaneamente, que declara o patrimônio genético brasileiro como bem da União, tratamento semelhante ao conferido aos recursos minerais e aos recursos naturais da plataforma continental e da zona econômica exclusiva.

No processo de proteção do conhecimento tradicional associado, o Projeto de Lei 4.751/1998 o define como informação, prática individual ou coletiva de comunidade indígena ou comunidade local, com valor real ou potencial, associada ao patrimônio genético. Assim, fica resguardado ao detentor do conhecimento o direito de decidir sobre o acesso de terceiros às informações sobre esse conhecimento, assegurando a prerrogativa de as comunidades participarem da repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização de seus conhecimentos tradicionais.

Nos termos da lei, uma cultivar é assim definida: variedade de qualquer gênero ou espécie vegetal superior que seja claramente distinguível de outras cultivares conhecidas por margem mínima de descritores, por uma denominação própria, que seja homogênea e estável quanto aos descritores através de

gerações sucessivas e que, além da novidade, seja de espécie passiva de uso pelo complexo agroflorestal, descrita em publicação especializada, abrangendo a linhagem componente de híbrido.

A nova cultivar definida na lei é: a cultivar que não tenha sido oferecida no Brasil há mais de 12 meses em relação à data do pedido de proteção e que, observando o prazo de comercialização no Brasil, não tenha sido oferecida à venda em outros países, com o prévio conhecimento do obtentor, há mais de 6 anos para espécies de árvores e videiras e há mais de 4 anos para as demais espécies.

Dentre os direitos assegurados ao titular do material genético protegido, destaca-se o de autorizar seu uso mediante remuneração adequada. A lei prevê apenas duas exceções a esse direito exclusivo:

- Resguarda o chamado privilégio do agricultor (*farmer's right*), que, dentro do seu próprio estabelecimento, pode reservar uma parte de sua colheita para futura semeadura sem a necessidade de prévia autorização ou pagamento de qualquer remuneração ao titular do material protegido.

- Assegura a chamada isenção do melhorista (*breeder's exemption*), que permite a livre utilização da cultivar protegida para pesquisa como fonte de variação. Essa flexibilidade da Lei de Cultivares contrapõe-se ao direito de exclusividade dos titulares de patentes que, se aplicado à área vegetal, não permitiria aos agricultores e aos pesquisadores o acesso ao

material protegido senão mediante o pagamento de royalties.

Além disso, a lei apresenta outros pontos importantes, que são os seguintes:

- Os direitos de propriedade intelectual dos obtentores de cultivares em geral e de "cultivares essencialmente derivadas" que sejam novas e atendam aos requisitos de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade, acrescentando-se a novidade serão protegidos.
- A proteção recairá exclusivamente sobre o material de reprodução ou de multiplicação vegetativa da planta inteira.
- O prazo de proteção será de 15 anos a contar da concessão do direito, exceto para espécies perenes (fruteiras, ornamentais, florestais e os respectivos porta-enxertos), cujo prazo de proteção é de 25 anos.

Cabe ainda destacar em itens seguintes alguns pontos mais característicos da proteção intelectual conferida à área vegetal pela Lei de Proteção de Cultivares e sua interface com o tratamento das patentes da Lei de Propriedade Industrial.

Patentes são concedidas para invenções, enquanto os direitos do melhorista são conferidos a obtenções vegetais novas. Variedades vegetais compreendem um grupo de plantas que apresentam as mesmas expressões de características que podem ser passadas através da propagação a sucessivas gerações e que são usadas na agricultura comercial.

A concessão de uma patente, além da novidade absoluta (o objeto da patente não pode constar do estado da arte), exige como requisitos essenciais a atividade inventiva e a aplicação industrial. O mesmo não se aplica necessariamente às variedades vegetais, principalmente em face das dificuldades de descrição plena dos seres vivos, de indicação precisa da utilidade industrial e da ausência do requisito da atividade inventiva.

A obtenção de cultivares frequentemente pressupõe a combinação de características observadas em materiais genéticos existentes na natureza. Daí o entendimento de que os direitos do melhorista podem ser também conferidos a descobertas ao passo que as patentes não. As variedades vegetais que são objeto de proteção devem ser claramente distinguíveis (em função de alguma característica importante) de outra variedade cuja existência seja de conhecimento comum. Elas são, portanto, comparadas a outras variedades existentes. O importante é que o obtentor ofereça à sociedade uma nova variedade e não que o melhoramento seja julgado inventivo ou não óbvio.

Uma nova variedade não tem de ser melhor do que outras para que lhe seja garantida a proteção; precisa ser apenas nitidamente distinta. Uma variedade vegetal deve também atender ao requisito da suficiente homogeneidade, que inexiste no sistema de patentes, mas é indispensável para a proteção da nova variedade vegetal, uma vez que o sistema de cultivares trata da matéria viva, que nem sempre é idêntica. Nesse sistema, está claro que um direito exclusivo só pode ser conferido a um grupo de plantas que seja

suficientemente diferente do outro grupo de plantas. Além disso, a nova variedade deve ser estável, ou seja, capaz de transmitir suas características as sucessivas gerações. Do ponto de vista prático, é essencial que o usuário possa obter plantas do mesmo tipo quando o material da variedade protegida for reproduzido. Do ponto de vista legal, obviamente um direito exclusivo só pode ser assegurado se a variedade vegetal puder manter, ao longo do tempo, determinada característica essencial, conforme descrito quando o direito foi concedido.

Caracterizada uma cultivar como essencialmente derivada de uma cultivar protegida, sua exploração comercial é condicionada à autorização do titular do direito de proteção da cultivar inicial. Nesse caso, cabe o pagamento de royalties ao primeiro obtentor. Essa característica possibilita a interseção entre os dois sistemas em exame. Na hipótese de se modificar uma variedade vegetal através da introdução de um gene modificado, protegido por patente, pode-se obter uma nova variedade, que será protegida pela Lei de Proteção de Cultivares.

O mecanismo de derivação essencial adotado no projeto de lei brasileiro destina-se a proteger, mediante exigência de negociação de royalties, os direitos do melhorista que obteve a variedade original por métodos biológicos tradicionais, desenvolvida ao longo de anos e de gerações de plantas. Nesse sentido, foi registrada a preocupação dos melhoristas brasileiros por ocasião dos debates sobre o patenteamento de microrganismos. Assim, o único aspecto preocupante para os agentes nacionais seria a aprovação do paten-

teamento de microrganismos sem a proteção às variedades vegetais, deixando-os sujeitos a ter suas cultivares usadas em pesquisas biotecnológicas sem direito à remuneração.

No passado, essa questão não suscitava dúvidas nos países que adotavam esse tipo de proteção na área vegetal, mas, com o advento da engenharia genética, percebeu-se que haveria prejuízo do melhorista tradicional. A engenharia genética possibilitaria utilizar uma variedade desenvolvida pelo melhorista ao longo de anos, adicionando-lhe um gene (protegido ou não por patente) expressando uma nova cultivar característica e requereria proteção para a variedade modificada, sem qualquer remuneração ao obtentor da variedade inicial. Por essa razão, a lei brasileira incorporou o conceito de cultivar essencialmente derivada, segundo o qual a pessoa que alterar uma variedade não poderá explorá-la sem autorização do obtentor original e a respectiva negociação de royalties.

No referente à Convenção sobre Diversidade Biológica (BRASIL, 1998), são estabelecidos princípios de conservação e uso sustentável dos benefícios derivados da utilização dessa diversidade, incluindo animais, microrganismos e plantas. São incorporadas, de forma condicionada ao contexto do acesso à biodiversidade, as noções de transferência de tecnologia e propriedade intelectual, buscando equilibrar o acesso a recursos naturais dos países desenvolvidos, bem como equilibrar os benefícios provenientes de produtos e processos resultantes da exploração de recursos naturais e a respectiva remuneração dos direitos de propriedade intelectual.

Sendo o acesso à biodiversidade e a proteção da propriedade intelectual questões complementares, um dos pontos críticos debatidos por ocasião da negociação da convenção dizia respeito à distribuição de fundos gerados por recursos genéticos e relacionados com o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos, que se trata de um aspecto intrinsecamente associado à propriedade intelectual. Essa situação deu origem à oposição entre os países do Norte (que são pobres em genes, mas ricos em tecnologia) e do Sul (que são ricos em genes, mas pobres em tecnologia). Historicamente, o germoplasma vegetal foi livremente intercambiado entre os países, conforme a noção de que a "herança comum da humanidade" deveria estar irrestritamente disponível. Entretanto, as exigências de investimentos vultosos para a pesquisa e o desenvolvimento de produtos biotecnológicos levaram à necessidade de se assegurar a propriedade intelectual das inovações, tendo em vista o retorno desses investimentos.

A fim de alcançar seus objetivos, a convenção estabeleceu uma série de obrigações e direitos das partes contratantes, sejam eles países com menor grau de desenvolvimento relativo, sejam países industrializados. Aspecto basilar do sistema delineado pela convenção está situado no explícito reconhecimento da autoridade da legislação nacional no tratamento do acesso aos recursos naturais, alterando, conceitualmente, a antiga noção de "herança comum da humanidade".

Bioética: entendimento e aplicação

bioética, na qualidade de uma ciência que envolve a conduta humana sob o ponto de vista de uma reflexão moral, deve ser considerada em harmonia com a biologia e a medicina.

A bioética é o estudo sistematizado da conduta humana no campo das ciências biológicas e na atenção à saúde, à luz de valores e princípios morais. Pode ainda ser conceituada como uma disciplina da filosofia moral que visa ao estudo sistemático dos aspectos morais e éticos implicados na conduta humana consistente na aplicação dos saberes das ciências da vida e da saúde ao mundo da vida e, em particular, à vida humana. No entanto, não trata apenas da saúde e da vida humanas, pois abrange todos os aspectos éticos que têm relação com a vida. Se a conduta é correta, adequada e justa ou incorreta e injusta, com isso se preocupa a bioética (GARRAFA, 2000).

De maneira geral, pode-se considerar a bioética por dois aspectos diferentes, que, no entanto, estão relacionados mutuamente: um aborda as questões da natureza e do meio ambiente (como o uso adequado ou não da água, os cuidados com a poluição e com o desmatamento); outro trata da vida animal (são consideradas questões como a atenção aos animais e à pesquisa com esses seres, entendendo-se que eles são sensíveis e que não devem sofrer desnecessariamente).

É indispensável esclarecer que a bioética não está pautada em proibições, limites ou vetos e muito menos na necessidade imperiosa que alguns veem de que tudo seja regulamentado, codificado e legalizado. Pelo contrário, a bioética está baseada no respeito ao pluralismo moral, pois, para ela, o que vale é o desejo livre, soberano e consciente dos indivíduos e das sociedades humanas, desde que as decisões não invadam a liberdade e os direitos de outros indivíduos e outras sociedades.

A modernidade da bioética está exatamente em libertar-se dos paternalismos que se confundem com beneficência. Historicamente, a humanidade vem se envolvendo com o entendimento do "certo" e do "errado", do "bem" e do "mal" e do "justo" e do "injusto". Para a bioética, o que é "bem", "certo" ou "justo" para uma comunidade moral poderá não ser para outra comunidade. Dessa maneira, ao invés de se pautar por proibições, vetos, limitações, normatizações ou mesmo mandamentos, ela atua afirmativamente, positivamente.

A bioética caracteriza-se por proceder à análise processual dos conflitos a partir de uma ética minimalista, que possa proporcionar, na medida do possível, a mediação e a solução pacífica das diferenças. Em situações nas quais "estranhos morais" cheguem a posições inconciliáveis no contexto de temas situados nas últimas fronteiras do diálogo (como o aborto, por exemplo), nos quais provavelmente a sociedade estará envolvida para uma possível construção de um consenso universal, as únicas saídas parecem ser o diálogo e a tolerância.

A preocupação e os cuidados com a saúde, com a integridade física, psíquica e moral e com os valores sociais, culturais e religiosos dos indivíduos vêm desde antes da era de Cristo. No entanto, em algumas ocasiões da história da humanidade, esses valores foram ultrajados, como na Segunda Guerra Mundial, que talvez tenha sido o período de maiores atrocidades cometidas contra o ser humano. Os horrores ocorridos naquele espaço de tempo levaram a comunidade científica do mundo inteiro a definir padrões internacionais para a condução de pesquisas, de forma a impedir novos desmandos. Na área médica, ficou constatado que a experimentação com seres humanos é necessária, já que a pesquisa apenas com cobaias não basta para assegurar a eficiência de um novo tratamento, a qual só pode ser observada no próprio ser humano.

É verdade que os aspectos éticos de cada experimento com seres humanos precisam ser exaustivamente testados e debatidos. Todas as considerações, porém, apontam para uma direção: o progresso da medicina depende da aplicação da tecnologia apropriada às pessoas. Um protocolo bem elaborado primeiramente deve passar pela fase experimental com animais para, só então, ser aplicado em humanos; tudo isso dentro de princípios éticos já discutidos e estabelecidos.

No Brasil, vige a Resolução n° 196/1996 (BRASIL, 1996), do Conselho Nacional de Saúde pertencente ao Ministério da Saúde, fundamentada nos documentos anteriormente referidos na Declaração dos Direitos do Ser Humano, na Constituição da República Federativa do Brasil e em outras leis com-

plementares, sendo o documento oficial que norteia a pesquisa envolvendo seres humanos. Essa resolução envolve ainda a Lei n° 8.974, de 5 de janeiro de 1995 sobre o uso das técnicas de engenharia genética e a liberação, no meio ambiente, de OGMs.

Embora a pesquisa médica precise ser realizada com seres humanos para atender à resolução mencionada, é necessário o consentimento livre e esclarecido dos voluntários, cumprindo um protocolo previamente aprovado por um comitê de ética em pesquisa, considerando, entre outros fatores, a garantia de que danos previsíveis serão evitados, bem como a ponderação entre riscos e benefícios.

Segundo Malthus citado por Garrafa (2000), se a população não fosse contida por algum tipo de freio, ela dobraria a cada 25 anos, crescendo em uma progressão geométrica. Nas condições médias daqueles tempos, os meios de subsistência, nas mais favoráveis circunstâncias, só poderiam aumentar, no máximo, em progressão aritmética. No entanto, a história não deu razão a Malthus em sua teoria de que seria impossível suprir o planeta de alimentos caso a humanidade crescesse em ritmo geométrico. Nos dias atuais, está muito evidente que a produção de alimentos foi ampliada por causa do desenvolvimento tecnológico, com a seleção de cultivares apropriadas e a melhoria das condições edáficas, dentre outros fatores, proporcionando maior produtividade por unidade de área. No referente a produtos de origem animal, o crescimento deveu-se principalmente ao manejo adequado dos rebanhos e à grande evolução no melhoramento de raças e na alimentação dos animais (GARRAFA, 2000).

Apesar do grande aumento de produtividade, o alimento ainda é raro ou insuficiente na mesa de grande parte da população do planeta (cerca de 1,2 bilhão de pessoas vai dormir sem o jantar, sem ter a certeza do café da manhã do outro dia). Isso só reforça o ponto de vista de Josué de Castro para quem a limitação maior está na distribuição de renda, muito desigual em todo o mundo. Onde há poder aquisitivo, existe suficiência de alimentos; já onde imperam a pobreza e a miséria absoluta, não há o que comer em quantidade suficiente. Além disso, deve-se considerar a variação das condições ambientais.

O desenvolvimento do tema da bioética cresceu no Brasil muito em função da implementação da biotecnologia. Com o propósito de suprir a insuficiência de alimentos, a biotecnologia vem ganhando espaço, embora ainda cause certo receio em parte da comunidade desenvolvida de alguns países. No entanto, é preciso ter em mente que toda evolução tecnológica, de início, provoca certo desconforto em uma parcela da sociedade até que a tecnologia seja francamente dominada. A própria genética cresceu em cima de controvérsias, como foi o caso das próprias leis de Mendel e do uso do raio X.

As biotecnologias tradicionais podem ser distinguidas das modernas em três aspectos fundamentais. Em primeiro lugar, nas tradicionais, o cruzamento artificial efetuado com o uso de técnicas tradicionais ocorre entre indivíduos das mesmas espécies ou próximas; já as modernas permitem que ele seja feito entre qualquer ser vivo, não respeitando a barreira do isolamento reprodutivo entre espécies, independente-

mente da distância genética e evolutiva. Em segundo lugar, a maturação das biotecnologias tradicionais toma muito tempo (geralmente em escala de anos), ao passo que, nas modernas, esse processo dura bem menos. Em terceiro lugar, o campo de aplicação das biotecnologias tradicionais é significativamente reduzido em comparação com o das modernas, que têm a pretensão de atuar em áreas que vão desde o controle da poluição ambiental, passando pela reprogramação de plantas e animais com fins comerciais, até a manipulação e a alteração do patrimônio genético humano.

As discussões sobre as características das biotecnologias modernas foram aquecidas após a descoberta da tecnologia do DNA recombinante e a subsequente criação de OGMs, além das pesquisas com células-tronco. Os possíveis riscos da manipulação desse material genético foram discutidos em 1975, na época da realização da *Conferência de Asilomar*, nos Estados Unidos. Esse evento teve o mérito de alertar a comunidade científica especialmente quanto às questões de biossegurança inerentes à aplicação da tecnologia do DNA recombinante. A partir daí, se originaram as normas de biossegurança do National Institute of Health daquele país.

No Brasil, com o objetivo de assegurar procedimentos adequados de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e uso da engenharia genética, em especial a liberação de OGMs no meio ambiente, foi promulgada a Lei de Biossegurança, de n° 8.974/1995, a qual deu origem à CTNBio no âmbito do MCTI. Deve-se enfatizar que, antes da liberação dos produtos transgênicos propriamente ditos para consumo, as pesquisas (con-

duzidas com bastante rigor, moral e ética) consideram aspectos como: análise genética (DNA e proteínas), segurança biológica, segurança alimentar e nutricional, segurança dos alimentos, sanidade humana e animal, segurança ambiental, saneamento básico (biorremediação), políticas públicas e certificação das cadeias produtivas, além de meios que possibilitem os direitos de escolha dos produtos modificados por parte dos consumidores. Essa legislação visa à proteção da saúde humana, dos animais e do meio ambiente de forma não hierarquizada. Esse último aspecto representa um fato relevante no País, pois talvez não exista nenhum outro documento legal que aborde, taxativamente, a questão da saúde ambiental.

É inegável que a evolução da ciência é dinâmica, fazendo com que os alimentos geneticamente modificados já estejam chegando ao mercado em grande escala. Além da melhoria da qualidade e quantidade dos alimentos, isso possibilitou uma drástica redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura, bem como a plausível visão estratégica do fortalecimento da obtenção de OGMs com tolerância à seca diante da ameaça do aquecimento global e da falta prolongada de chuvas, fato esse que já é verídico na medida em que na Argentina recentemente foi obtido um genótipo de soja com tolerância a estresse de seca.

Levando em consideração os preceitos fundamentais da bioética, comentários adicionais podem ainda ser feitos nessa questão da aceitação ou não dos OGMs pela sociedade. Muitas das vezes, há a tentativa de acrescentar teorias mirabolantes como forma de adicionar algo de novo em um tema de suma

importância para a humanidade, que é apenas mais um método de obter bons genótipos de interesse público, sem se constituir em panaceia para a resolução de todos os impedimentos que possam ocorrer em torno da agricultura. Mais recentemente, foi lançado, no meio técnico-científico, o conceito de cisgenia, algo que este autor já havia lançado desde 2003, com a chamada de "há transgênicos e transgênicos" (VALOIS, 2003). Outro termo tido como novidade refere-se à xenogenia, que, em sua essência, significa o transplante realizado com órgãos ou tecidos do doador de uma espécie diferente do receptor (por exemplo, macaco ou porco) para o ser humano, coelho ou rato. Apesar de a tecnologia do DNA recombinante permitir isso considerando a universalidade (ou quase) do código genético, para o caso de plantas, em nome da bioética, toda teoria nesse sentido deve merecer o máximo de precaução antes mesmo de se pensar na aplicação, para evitar o rechaço aos OGMs de forma premonitória. O autor lembra que, logo no início da discussão sobre OGMs no Brasil, circulou uma maldosa cartilha que possuía no seu fundamento o temor de os cientistas poderem introduzir gene de escorpião (*Tityus serrulatus*) – aquele amarelinho, que é fatal – em milho, no sentido de atemorizar os possíveis consumidores, esquecendo que a bioética e os demais mecanismos de controle (como a própria CTNBio), os confiáveis critérios de biossegurança e o rigor técnico-científico, com ética e responsabilidade, jamais deixariam que isso acontecesse. Em outra ocasião, o autor participou de evento no Congresso Nacional, na Câmara dos Deputados, em que um participante contrário aos OGMs apresentou criativa-

mente oito impedimentos ao uso desses genótipos. No outro dia do evento, o autor, ao rebater as oito críticas do dia anterior, transformando-as em oportunidades, apresentou mais oito vantagens, cuja publicação está em Valois (2003). Em outra oportunidade, em reunião na FAO em Roma, Itália, com a participação deste autor, o representante de um país africano, talvez perversamente orientado por países do Primeiro Mundo (aqueles das empresas que comercializavam agrotóxicos), que aliás financiavam a presença dos incautos africanos nesses eventos sobre o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (BRASIL, 2008) rechaçou peremptoriamente a oferta de sementes de plantas OGMs para o alimento do seu próprio povo que, na época, infelizmente, estava morrendo de fome.

No referente à crítica quanto à possibilidade de perda da capacidade de resistência a pragas e doenças, além da tolerância a fatores abióticos como herbicidas, isso é esperado devido à permissão que é dada à evolução e coevolução dos genótipos transformados e dos seus antagônicos. Importante lembrar que, em OGMs, sempre tem sido explorada a resistência vertical, monogênica ou oligogênica, podendo a resistência ser quebrada, fato que seria dificultado caso a resistência fosse do tipo horizontal ou poligênica, ainda não permitida pelos métodos usuais do DNA recombinante. Para evitar esses acontecimentos de quebra de resistência ou tolerância, uma alternativa viável é a utilização de estratégias como o próprio uso de áreas de refúgios no controle de pragas, bem como o princípio das multilinhas, bem sucedido em plantios de genótipos não OGMs, com toda condição técnica e

prática para ser aplicado no uso de genótipos transformados, com as devidas adaptações, explorando, de maneira inteligente, a ação dos genes fortes dos hospedeiros e a virulência desnecessária dos patógenos.

Vale também ressaltar que, por um princípio ético universal e por uma questão de respeito ao indivíduo, seja por suas crenças religiosas e culturais, seja por possíveis riscos, seja por receios, desconfianças ou outro qualquer fator, a esse indivíduo deve ser dado o direito de acesso à informação quanto à origem de determinado alimento. No Brasil, instituições de PD&I e CT&I possuem o conhecimento, a técnica, a tecnologia e o know-how sobre a ética da geração de OGMs seguros, com a aplicação do Princípio da Precaução permissivo. À sociedade, cabe o acesso ou não ao alimento geneticamente modificado, colocando de lado o radicalismo, a obsessão, o ideologismo, a histeria e o sentido emocional, além do sentimento religioso. O bom senso deve prevalecer.

Considerações finais

A convergência dos tópicos acima enumerados claramente remete para o fato de que as plantas transgênicas amparadas pela biodiversidade, ferramentas biotecnológicas e fundamentos técnico-científicos, além da legislação específica, se constituem em alternativas complementares seguras para o sucesso do agronegócio, especialmente para uso na alimentação humana, sem serem um remédio para todos os óbices da agricultura. Nesse sentido, a tecnologia do DNA

recombinante não se presta para a obtenção de genótipos com resistência horizontal de plantas a doenças, pois essa é geralmente poligênica, o que ainda não é permitido pela citada tecnologia. Outra inutilidade dessa tecnologia é quanto à obtenção de plantas perenes com resistência vertical a patógenos devido ao fato de que, mesmo sendo monogênica ou oligogênica, a especialidade da tecnologia pode ser quebrada, inutilizando os gastos efetuados. No referente à expressividade e penetrância do gene a ser empregado na transformação genética, é da mais alta utilidade que o gene seja forte para explorar a virulência desnecessária do patógeno e que tenha uma ação horizontal no genoma desse organismo, dificultando a seleção direcional e favorecendo a ação da seleção estabilizadora, tendo como consequência uma resistência vertical mais duradoura. Deve-se ainda atentar para a importância da manutenção de áreas de refúgio no controle de pragas pela implantação de parcelas com genótipos não transgênicos nas bordaduras dos cultivos modificados propriamente ditos, com o fito de dificultar a quebra da resistência dos OGMs por efeitos das seleções direcional e estabilizadora, o que, aliás, já aconteceu nos Estados Unidos para o caso da mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Outro tópico que às vezes as pessoas questionam é quanto ao uso de plantas biorreatoras para a produção de vacinas, pelo temor de o paciente vir a receber superdosagens e, como consequência, ganhar tolerância a certos medicamentos considerados vitais à saúde. Nesse caso, as plantas obtidas devem ser cultivadas em locais especiais, para serem consumidas como medicamento e não como alimento propriamente dito.

Outro assunto passivo de controvérsias é quanto à influência depressiva na biota do solo pela produção de toxinas pelas raízes dos OGMs e pela contaminação de espécies. Esse é um suposto caso de precaução que, aliás, já ocorre com plantas não transgênicas, cujo fenômeno é denominado de alelopatia, já referido, que, em sua essência, significa "a influência de uma planta nos vizinhos pela exsudação de substâncias tóxicas pelas suas raízes". Outro ponto de destaque é quanto ao risco, perigo e dano do fluxo gênico advindo de OGMs poder levar à criação de superplantas daninhas, cujo óbice tecnicamente pode ser evitado pelo uso de métodos como macho-esterilidade e influência citoplasmática. Quanto à suposta influência negativa dos transgênicos na biodiversidade e no meio ambiente, as plantas transgênicas apresentam, muito pelo contrário, benefícios na medida em que concorrem para o aumento da variabilidade genética e para a drástica redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura, bem como evitam que novas áreas sejam desflorestadas para o uso agrícola pelo aumento da produção e produtividade das áreas de cultivo. Outro assunto merecedor de criteriosa condução é o emprego de genótipos OGMs em programas de melhoramento genético, pois são genes raros e localizados, de baixa frequência, com base genética estreita no genoma, requerendo, assim, refinados métodos de melhoramento. Há a crítica de que os organismos transgênicos podem conduzir à limitação no processo evolutivo de espécies por transgredir a barreira do isolamento reprodutivo (por poder utilizar os conjuntos gênicos ou *gene pool* G1, G2 e G3). Além de se constituírem em enorme vantagem, (por exemplo, no

sistema patógeno-hospedeiro), na prática, têm sido observados casos de coevolução pela perda de resistência do hospedeiro devido à pressão da seleção direcional. No entanto, não se pode deixar de voltar a mencionar o assunto ainda pouco resolvido sobre o fenômeno intertrófico ou tritrófico, apesar de ser um perigo diminuto aos agentes de controle biológico em comparação aos severos efeitos depressivos causados por agrotóxicos nesses indivíduos benéficos.

Em vista do exposto, considerando-se um depoimento imparcial e desmistificador, a tecnologia do DNA recombinante e a consequente geração de plantas transgênicas têm possibilitado inúmeros benefícios para o agronegócio e consumidores, com destaque para a significativa redução da aplicação de agrotóxico na agricultura, a geração de genótipos com tolerância à seca diante das atuais ameaças das mudanças climáticas, a maior velocidade na obtenção de novas plantas apropriadas, o aumento da produção e produtividade com redução de custos relativos, a melhoria da qualidade dos produtos inclusive para fins medicinais, o aumento da variabilidade genética disponível, a proteção ambiental e a aplicação incluindo a alimentação de populações mais carentes, com evidente incremento da capacidade comparativa e competitiva do agronegócio empresarial e dos benefícios sociais para os agricultores de base familiar.

Referências

BALAN. A.; SCHENBERG, A. C. G. Plasmídeos suicidas e seu uso na contenção de organismos geneticamente modificados. In: MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C.; NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento-Microrganismos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. p. 541-567.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1998.

BRASIL. Decreto nº 20 de 15 de abril de 1993. Convenção Quadro sobre Alterações Climáticas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de maio de 1993. Disponível em: <http://www.fd.uc.pt/CI/CEE/pm/LegCE/UN_convencao_sobre_alteracoes_climaticas.htm>. Acesso em: 13 fev. 2016.

BRASIL. Decreto 2.366 de 5 de novembro de 1997a. Regulamenta a Lei 9.456 de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares e dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 6 de nov. 1997a.

BRASIL. Decreto nº 2.519 de 16 de março de 1998. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 mar. 1998.

BRASIL. Decreto n° 3.871 de 18 de julho de 2001. Disciplina a rotulagem de alimentos embalados que contenham ou sejam produzidos com organismo geneticamente modificados, e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2001.

BRASIL. Decreto nº 6.476 de 5 de junho de 2008. Promulga o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a

Alimentação e a Agricultura, aprovado em Roma, em 3 de novembro de 2001, e assinado pelo Brasil em 10 de junho de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 6 jun. 2001

BRASIL. Lei 11.105 de 24 de março de 2005. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança – PNB, revoga a Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e a Medida Provisória nº 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e os arts. 5º, 6º, 7º, 8º, 9º, 10 e 16 da Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003, e dá outras providênc.ias. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 mar. 2005.

BRASIL. Lei 4.680 de 24 de abril de 2003c. Regulamenta o direito à informação, assegurado pela Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, quanto aos alimentos e ingredientes alimentares destinado ao consumo humano ou animal que contenham ou sejam produzidos a partir de organismos geneticamente modificados, sem prejuízo do cumprimento das demais normas aplicáveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 abr. 2003c.

BRASIL. Lei nº 10.688 de 13 de junho de 2003a. Estabelece normas para a comercialização da produção de soja da safra de 2003 e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 jun. 2003a.

BRASIL. Lei nº 10.711 de 5 agosto de 2003d. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 6 ago. 2003d.

BRASIL. Lei nº 13.123 de 20 maio de 2015. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea *j* do Artigo 8, a alínea *c* do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 maio 2015.

BRASIL. Lei nº 9.279 de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos a propriedade industrial. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 maio 1996.

BRASIL. Lei nº 9.456 de 25 de abril de 1997b. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 abr. 1997.

BRASIL. Medida Provisória nº 131, de 26 de setembro de 2003b. Estabelece normas para o plantio e comercialização da produção de soja da safra de 2004, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 set. 2003b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Comissão de Ética em Pesquisa. **Resolução nº 196 de 1996**. Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/web_comissoes/conep/aquivos/resolucoes/23_out_versao_final_196_ENCEP2012.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BRASILEIRO, A. C. M.; DUSI, D. M. A. Transformação genética de plantas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Ed.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; EMBRAPA, CNPH, 1999. 354 p.

CRUZ, A. R. R.; ARAGÃO, F. J. L. **Transformação genética de feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp), visando à introdução de genes de resistência a viroses.** In: CONGRESSO

NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife**. Anais**... Recife: [s.n.], 2013. 4 p.

CASTRO, J. A. **Alimentação e raça**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1936. 182 p.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFLP em análise genética.** 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CENARGEN, 1998. 220 p.

GARRAFA, V. Biotecnologia, ética e controle social (debate). **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 2, p. 171-177, 2000.

JAMES, C. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. **ISAAA Brief 49**: Executive Summary, Ithaca, 2014.

MOLIN, S.; KLEMM, P.; POULSEN, L. K.; BIEHL, H.; GERDES, K.; ANDERSSON, P. Conditional suicide system for containment of bacteria and plasmids. **Bio/Technology,** v. 5, p. 1315-1318, 1987.

SCHOLZ, S. H. C. Os direitos de propriedade intelectual e a biotecnologia. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 15, número especial, p. 41-66, 1998.

SILVA-FILHO, M. C. ; FALCO, M. C. Plantas Transgênicas no Melhoramento. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento-Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 1011-1056.

UOL ECONOMIA. **Dezoito milhões de agricultores em 27 países adotam culturas biotecnológicas em 2013, com aumento de 5 milhões de hectares em áreas plantadas em nível global**. 2014. Disponível em: <http://economia.uol.com.br/noticias/pr-newswire/2014/02/13/dezoito-milhoes-de-agricultores-em-27-paises-adotam-culturas-biotecnologicas-em-2013-com-aumento-de-5-milhoes-de-hectares-em-areas-plantadas-em-nivel-global.htm>. Acesso em: 13 fev. 2014.

VALOIS, A. C. C. Acesso a recursos genéticos e repartição de benefícios: uma visão atual e de futuro. In: LIMA, M. C.

(Org.). **Recursos genéticos de hortaliças**: riquezas naturais. São Luís: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, 2005. 190 p.

VALOIS, A. C. C. Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual (um depoimento). **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 15, número especial, 1998. p. 21-31.

VALOIS, A. C. C. Importância dos transgênicos para a agricultura. **Cadernos de Ciências & Tecnologia,** v. 18, n. 1, p. 27-53, 2001.

VALOIS, A. C. C. **Possibilidade de uso de genótipos modificados e seus benefícios**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 65 p (Texto para Discussão, 19).

VALOIS, A. C. C.; INGLIS, M. C. V.; CARNEIRO, V. T. C.; SUJII, E. R.; BUSTAMANTE, P. G.; AVIDOS, M. F. D. **Organismos transgênicos**: visão estratégica da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 21p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 39).

VALOIS, A. C. C.; SALOMÃO, A. N.; ALLEM, A. C. (Org). **Glossário de recursos genéticos vegetais.** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 62 p. (Embrapa-Cenargen. Documentos, 22).

VILELA-MORALES, E. A.; VALOIS, A. C. C. Recursos genéticos vegetais autóctones e seus usos no desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 2, 2000. p. 11-42.

VILLEN, R. A. **Biotecnologia- história e tendências**. São Caetano do Sul: Centro Universitário Mauá de tecnologia, Escola de Engenharia Mauá, 2015. 15 p.

Glossário[2]

A

Ácido desoxirribonucleico (DNA) – Ácido orgânico composto de desoxirribonucleotídeos de adenina, guanina, citosina e timina. Material genético da maioria dos organismos vivos. No seu estado nativo, o DNA é uma dupla hélice de duas fitas antiparalelas unidas por pontes de hidrogênio entre purinas e pirimidinas complementares. É o mesmo que ácido deoxirribonucleico.

Ácido nucleico – Macromolécula constituída por nucleotídeos polimerizados. É encontrada em duas formas (DNA e RNA), as quais podem ser constituídas por uma única cadeia (fita) ou por duas, de conformação linear ou circular. O genoma dos vírus pode ser constituído por RNA ou DNA.

Ácido ribonucleico (RNA) – Ácido orgânico composto de ribonucleotídeos de adenina, guanina, citosina e uracila. Material genético de certos vírus. Molécula derivada da transcrição do DNA e que participa da biossíntese de proteínas, isto é, RNA ribossômico (RNAr), RNA mensageiro (RNAm) e RNA transportador (RNAt). É precursor, em termos evolutivos, do ácido desoxirribonucleico. Ver ácido nucleico, RNAi.

AFLP – Sigla inglesa que significa polimorfismo de comprimento de fragmentos amplificados. A técnica

[2] Disponível em: <http://cib.org.br/biotec-de-a-a-z/glossario/>.

é composta de várias etapas: restrição do DNA por duas enzimas, sendo uma de corte raro e outra de corte frequente e ligação de adaptadores às extremidades dos fragmentos; pré-amplificação dos fragmentos a partir de um par de *primers* complementares aos adaptadores, mas que contêm um nucleotídeo seletivo na posição 3'; amplificação usando-se três nucleotídeos seletivos ligados aos *primers*. Usualmente, os fragmentos são visualizados em gel de poliacrilamida submetido à eletroforese e corado com prata. Ver polimorfismo.

AGM – Alimento geneticamente modificado, derivado de um OGM.

Agrobacterium – Gênero de bactérias Gram-negativas encontradas em solos temperados. Ver *Agrobacterium tumefaciens*.

Agrobacterium rhizogenes – Agente causal da doença raiz-em-cabeleira, de ocorrência em certas espécies vegetais em razão da transferência de parte do plasmídeo ribacteriano ao genoma vegetal hospedeiro por colonização genética. Ver *Agrobacterium tumefaciens.*

Agrobacterium tumefaciens – Agente causal do tumor-do-colo em certas espécies vegetais, uma doença que leva à formação de uma galha na coroa da planta. A bactéria é atraída por compostos fenólicos secretados pela superfície ferida da planta; em seguida, um conjunto de genes bacterianos (*operon vir*) é ativado, levando à transferência de um segmento de DNA do plasmídeo Ti bacteriano para o genoma hospedeiro. O DNA bacteriano integrado à célula do vegetal

(T-DNA) sintetiza precursores de fitorreguladores (oncogenes), e o tecido afetado cresce, formando um tumor. Linhagens desarmadas de *A. tumefaciens* (sem os oncogenes) são usadas, em laboratório, para transferir genes exógenos para células vegetais e, mais raramente, para fungos.

Alelo – Forma alternativa de um gene localizado em determinado loco (ou locus) de cromossomos homólogos. Em uma célula diploide heterozigótica, há dois alelos para cada gene, pois o indivíduo herda um de cada genitor. Dentro de uma população, pode haver muitos alelos de um mesmo loco gênico (polialelia). Aqueles simbolizados por letras maiúsculas (*A*) denotam dominância, e por minúsculas (*a*), recessividade. Quando há vários alelos, esses são simbolizados por uma letra seguida de números subscritos (A_1, A_2, A_3, por exemplo).

Alelo dominante – Uma das formas de um gene e cuja expressão (fenótipo) é visualizada em ambos os indivíduos homozigóticos (usualmente simbolizados por *AA*) e heterozigóticos (*Aa*). Oposto de alelo recessivo.

Alelo letal – Forma mutante letal de um gene.

Alelo neutro – Alelo cujas frequências são mantidas por deriva, não por seleção. Ver deriva genética.

Alelo recessivo – Uma das formas alternativas de um gene e cuja expressão (fenótipo) é visualizada somente em indivíduos homozigóticos (usualmente simbolizados por *aa*). Oposto de alelo dominante.

Alelopatia – Inibição do crescimento ou da reprodução de competidores pela ação de substâncias químicas, como determinados compostos fenólicos, secretadas pelas raízes de vegetais.

Alelos múltiplos – Ocorrência de mais de dois alelos em um loco em uma população de indivíduos. O mesmo que polialelia.

Alergênico – Aquele que provoca uma resposta imune (normalmente, diz-se de proteínas). Alguns alimentos são notadamente portadores de substâncias alergênicas, como leite, ovos, crustáceos, mariscos e algumas castanhas.

Alimento funcional – Alimento que provê um benefício à saúde, além da nutrição básica, ou benefício médico, como a prevenção e o tratamento de doenças. Também chamado de nutracêutico.

Alimento GM – Alimento geneticamente modificado, ou seja, que contém em sua composição certo conteúdo de matéria-prima oriunda de organismos geneticamente modificados. Ver OGM.

Aminoácido – Composto orgânico que contém os grupos amino (-NH_2) e carboxil (-COOH). Em particular, quaisquer das unidades básicas das proteínas que tenham a fórmula NH_2-CR-COOH, na qual R difere para cada um dos aminoácidos.

Aminoácido essencial – Aminoácido que deriva do metabolismo; não é sintetizado pelo organismo. Produto da degradação de proteínas.

Amplificação de DNA – In vitro, é a obtenção de cópias de um fragmento (sequência) de DNA, usando-se a PCR e um termociclador. In vivo, é o aumento da taxa de síntese de DNA por diferentes mecanismos, i.e., amplificação gênica, redundância gênica.

Amplificação de minissatélite – Amplificação por PCR usando-se *primers* específicos e complementares às regiões que flanqueiam um minissatélite, visando à detecção de marcadores genéticos do tipo DNA *fingerprinting*. Ver minissatélite.

Amplificação gênica – Mecanismo evolutivo que leva à ocorrência de múltiplas cópias de um gene no genoma.

Análise de risco – Procedimento realizado para analisar a natureza e os efeitos adversos à saúde humana e animal ou ao ambiente. Consiste de três etapas: avaliação do risco, administração do risco e comunicação do risco.

Antibiose – Prevenção do crescimento de um organismo por meio de uma substância ou por outro organismo.

Apomixia – Reprodução na qual tomam parte os órgãos sexuais ou estruturas relacionadas, não ocorrendo, porém, a fertilização, de tal forma que a semente resultante se reproduz vegetativamente.

Arroz-dourado – Arroz que contém elevado teor de ß-caroteno, um precursor da vitamina A, em suas sementes. Obtido por engenharia genética: foram inseridos dois genes da planta narciso-silvestre e um da bactéria *Erwinia uredovora*. Em inglês, *golden rice*.

Avaliação de risco – Processo cientificamente fundamentado e que consiste nos seguintes passos: identificação dos efeitos adversos; probabilidade de ocorrência; avaliação da exposição; consequências do efeito; possíveis medidas mitigatórias; avaliação geral do risco.

B

***Bacillus thuringiensis* (Bt)** – Bactéria que produz uma toxina contra determinados insetos, particularmente os coleópteros e lepidópteros, pela formação de um cristal no intestino da lagarta. É um dos principais bioinseticidas usados na agricultura orgânica, no controle biológico de insetos-praga, de mosquitos transmissores de doenças e de pernilongos. Os genes que codificam para a produção dessa classe de proteínas tóxicas (*cry*) têm sido usados em engenharia genética para o desenvolvimento de plantas transgênicas resistentes, como o algodão e o milho-Bt, que são comercializados em vários países.

Bacilo – Bactéria em forma de bastonete.

Bactéria – Organismo procarionte, unicelular, sem núcleo distinto e que tem um cromossomo e, usualmente, um DNA episssomal designado por plasmídeo. A classificação é feita com base na exigência de oxigênio (anaeróbico vs. aeróbico), forma (esférico ou, do latim, *coccus*; bastonete ou *bacillus*; espiral ou *espirillus*) e no sequenciamento de determinados genes ou genomas completos.

Bactericida – Substância química ou droga que mata células bacterianas.

Bacteriófago (ou fago) – Vírus que infecta uma bactéria, provocando sua lise ou, alternativamente, percorre um ciclo lisogênico por ter seu genoma integrado no cromossomo bacteriano. Formas alteradas são usadas como vetores de clonagem.

Baculovírus – Classe de vírus de insetos usados para produzir vetores de expressão gênica em células eucarióticas.

Banco de germoplasma – Local onde são armazenadas coleções do material genético de uma espécie, constituídas de sementes ou outras partes da planta, como órgãos (tubérculos, por exemplo) ou embriões encapsulados. Ver recurso genético.

Base nitrogenada – Base componente dos nucleosídeos, nucleotídeos e ácidos nucleicos. São quatro as bases do DNA: as purinas A (adenina) e G (guanina) e as pirimidinas C (citosina) e T (timina, denominação usual para 5-metiluracila). No RNA, T é substituído por U (uracila). Realizar o sequenciamento de um genoma significa decifrar a sequência completa de bases.

Biblioteca de cDNA – Coleção de cDNAs obtida por clonagem de regiões expressas do genoma a partir de RNAs mensageiros, transcritos em cDNA por transcrição reversa. Ver cDNA.

Biblioteca de expressão – Biblioteca de cDNA construída para fins de sequenciamento e estudos de expressão. A extração dos RNAm se faz de forma a representar a condição de expressão que se quer estu-

dar (por exemplo, um tecido diferenciado ou a resposta de um genótipo à presença de um patógeno).

Biblioteca genômica – Biblioteca ou conjunto de clones cujos insertos são fragmentos gerados por restrição, sonicação ou nebulização do DNA genômico de um organismo.

Bio- – Prefixo usado para associar ao termo subsequente a ideia de vida, organismo vivo ou processo biológico.

Bioagricultura – Uso de variedades geneticamente modificadas para a produção de fármacos.

Biobalística – Técnica para produzir células transformadas na qual o DNA é aderido a esferas de tungstênio ou ouro, que são impelidas por pressão de gás (hélio, por exemplo), perfurando um tecido-alvo. O DNA é integrado ao genoma da célula hospedeira ou de organelas (mitocôndrias e cloroplastos), as quais são submetidas à seleção em meio de cultura contendo o agente apropriado. Tem sido usada para transformar animais, plantas e fungos. São sinônimos os termos "bombardeio de micropartículas" e "biolística". Ver transformação.

Bioburla – Fraude à vigilância e às leis ambientais em ações criminosas contra os recursos bióticos da natureza.

Biocontrole – Controle de pragas ou doenças por meios biológicos. Qualquer procedimento que usa organismos vivos deliberadamente introduzidos para conter o crescimento e o desenvolvimento de outros organismos, como a introdução de insetos predadores

ou a pulverização de esporos de fungos em uma lavoura para controlar uma praga. O mesmo que controle biológico.

Bioconversão – Conversão de uma substância química em outra por organismos vivos, ao invés de se usar a conversão por enzimas isoladas, células fixas ou processos químicos. É particularmente útil para introduzir mudanças químicas pontuais em moléculas grandes e complexas.

Biodegradação – Decomposição de substâncias complexas em outras mais simples por microrganismos.

Biodiversidade – Variabilidade presente nos organismos vivos; inclui a diversidade infra e interespecífica e entre os diversos ecossistemas, i.e., terrestres, marinhos e outros complexos ecológicos. O mesmo que diversidade biológica, diversidade ecológica.

Bioensaio – 1. Ensaio de competição entre organismos. 2. Avaliação da atividade de uma substância, medicamento ou proteína codificada por um transgene em células ou em organismos vivos.

Bioética – Ramo da ética que trata do potencial impacto do desenvolvimento das ciências biológicas nas sociedades humanas.

Bioinformática – Uso, organização e análise da informação biológica gerada por sequenciamento de DNA. Em particular, ciência que trata da organização de bancos de dados biomoleculares, utilizando softwares e microcomputadores para analisar e comparar as informações geradas por sequenciamento.

Biologia celular – Ciência que estuda a célula, seus componentes estruturais e processos, usando uma série de abordagens e técnicas, inclusive moleculares.

Biologia molecular – Biologia das macromoléculas; ciência que estuda os processos biológicos em nível molecular.

Bioma – Comunidade ecológica principal que se estende por uma área geográfica ampla e é caracterizada por um tipo dominante de vegetação.

Biomassa – 1. Matéria orgânica usada como fonte de energia ou parte dos organismos vivos utilizados para a produção de combustíveis. 2. Matéria orgânica que se forma pela conversão fotossintética da energia solar. 3. Partes verdes de uma planta.

Biometria – Ciência que trata da aplicação e do desenvolvimento de métodos e modelos estatísticos para a análise de dados em sistemas biológicos. O mesmo que bioestatística.

Biopesticida – Substância que mata organismos indesejados de modo seletivo. É substituto dos pesticidas convencionais, pois tende a ser mais seletivo e biodegradável.

Biopirataria – Registro ou uso da patente de recursos genéticos sem a autorização da fonte. O termo insinua falta de consentimento; contrabando da biodiversidade.

Biorremediação – Processo que utiliza organismos vivos para remover contaminantes, poluentes ou

substâncias não desejadas do solo, da água ou do ambiente.

Biossegurança – Matéria que estuda os riscos potenciais da biotecnologia para a saúde humana e animal, bem como para o ambiente. Às comissões de biossegurança compete regulamentar e monitorar esses ricos. Ver CTNBio.

Biotecnologia – Qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica.

Biótico – Aquilo que se refere aos organismos vivos. Plantas sob estresse biótico são aquelas submetidas à presença de um fitopatógeno, por exemplo.

Blotting – Do inglês, 1. Transferência do DNA, RNA ou proteína a uma matriz imobilizada. 2. Imobilização da matriz que leva o DNA, RNA ou proteína. Os vários tipos de *blot* são nomeados de acordo com as sondas utilizadas e o heterodúplex formado: *Southern blot* (DNA/DNA), *Northern blot* (DNA/RNAm), *Western blot* (anticorpo/proteína) e *Eastern blot* (DNA/proteína).

Bombardeio de micropartículas – Ver biobalística.

Bt – Abreviatura de *Bacillus thuringiensis*.

C

Cisgenia – Utilização de genes da própria espécie ou gênero para a transformação genética de plantas.

Cistron – Sequência de DNA que codifica um polipeptídeo específico; um gene.

Clonagem – Propagação, multiplicação a partir de um indivíduo, uma célula ou molécula, gerando uma população geneticamente idêntica.

Clonagem de cDNA – Clonagem de uma sequência codificadora de um gene, a partir da transcrição reversa de seu RNAm.

Clonagem gênica – Síntese de múltiplas cópias de um gene, o qual é inserido em um vetor, e amplificação do DNA recombinante em uma célula hospedeira apropriada.

Clone – Do grego, *klón*, broto. 1. Parte da planta que dá origem a um novo indivíduo por brotação e, por isso, é igual à planta-mãe. 2. Grupo de células ou indivíduos geneticamente idênticos e que são resultado de reprodução assexual de manipulação em laboratório. 3. Variedade derivada da seleção de um ou poucos indivíduos e que dá origem, por propagação vegetativa, a uma população geneticamente uniforme, como ocorre em cana-de-açúcar e mandioca. 4. Conjunto de células idênticas nas quais foi inserido um vetor ou um cromossomo hospedeiro. 5. Segmento de DNA (inserto) do qual se obtêm múltiplas cópias por multiplicação das células transformadas com o segmento.

Codificadora – Região do gene responsável pela síntese de um peptídeo específico. Ver código genético.

Código degenerado – Código genético que tem a propriedade de codificar para a produção de um aminoácido a partir de mais de um códon (trinca de nucleotídeos). Surge da redundância dos 64 códons que

codificam somente para a produção de 20 aminoácidos. O último nucleotídeo é, frequentemente, o que varia. Exemplificando: UUA, UUC, UUG e UUU codificam para a produção do aminoácido fenilalanina.

Código genético – Correspondência estabelecida entre as 64 possíveis trincas de ribonucleotídeos (4 nucleotídeos combinados 3 a 3 = 4^3 = 64) e os 20 aminoácidos, o códon de iniciação e os três códons de parada. Linguagem da Genética Molecular que traduz o significado das trincas de nucleotídeos. Ver códon.

Códon – Trinca ou *triplet* de ribonucleotídeos consecutivos no RNAm que representa a unidade de codificação genética, ou seja, que codifica para um aminoácido particular. Cada códon é reconhecido por um RNAt que carrega um aminoácido específico, o qual é incorporado à cadeia de polipeptídeos durante a síntese proteica.

Códon de iniciação – Trinca de ribonucleotídeos que especifica o primeiro aminoácido de uma cadeia de polipeptídeos pelo qual tem início o processo de tradução nos ribossomos. Em procariotos, AUG (^{f}metionina) ou, raramente, GUG (valina); em eucariotos, AUG (metionina).

Coenzima – Ver cofator.

Coevolução – Processo evolutivo que envolve duas espécies provocado por pressão de seleção em uma delas e que leva à mudança evolutiva na outra. Espécies de *Passiflora* coevoluíram com espécies de *Heliconius*, um grupo de borboletas que deposita seus ovos em várias partes da planta. As passifloras, por

sua vez, têm nectários extraflorais que mimetizam os ovos do lepidóptero. Coevolução é diferente de adaptação, associação simbiótica, parasítica, etc.

Cofator – Molécula orgânica ou íon inorgânico necessário à atividade catalítica de uma enzima. É o mesmo que coenzima.

Comissão do Codex Alimentarius – Organismo responsável pela definição de um conjunto de padrões internacionais para os alimentos. A Comissão do Codex determina e publica, periodicamente, uma lista de ingredientes, com seus níveis máximos permissíveis, e julga o que é seguro para o consumo humano.

Comunicação de risco – Troca interativa de informações e opiniões ao longo do processo de análise de risco (relativa a perigos, riscos e percepções de risco) entre analisadores e gerentes de risco, consumidores, pessoal da indústria, comunidade acadêmica e outros interessados.

Conjugação – 1. União de gametas ou organismos unicelulares durante a fertilização. 2. Um dos tipos de recombinação microbiana com vistas a aumentar a variabilidade genética pela transferência do plasmídeo de uma célula à outra após contato célula a célula através de uma ponte de conjugação (*pillus*).

Conjunto gênico – Informação genética de uma população; conjunto de diferentes subpopulações de uma dada espécie.

Consanguinidade – Em Genética, relação entre indivíduos que se originam a partir de um ancestral

comum. É medida por um coeficiente de consanguinidade (*F*). Ver endogamia.

Conservação ex situ – Conservação dos componentes da diversidade biológica fora de seu habitat.

Conservação in situ – Conservação dos componentes da diversidade biológica em seu habitat.

Constitutivo – Em biologia molecular, diz-se de um promotor que leva à expressão constitutiva de um gene. Ao contrário, promotores induzidos dependem de outros fatores, como herbivoria, para desencadear a expressão do gene por ele dirigido.

Construção – DNA quimérico engenheirado. Tipicamente, uma construção inclui um promotor que dirige um gene (ou genes), fusionado ou não a um gene marcador. Uma construção usada repetidamente é chamada de cassete e se presta a estudos de expressão em uma célula ou genoma hospedeiro. É o mesmo que construção de DNA, construção gênica.

Contenção – Em Biossegurança, conjunto de medidas e protocolos aplicados para minimizar o risco de organismos geneticamente modificados ao ambiente ou à saúde humana e animal.

Contenção biológica – Restrição à movimentação de organismos em laboratório. Pode-se tornar o organismo incapaz de sobreviver no ambiente externo ou fazer o ambiente externo inóspito para o organismo. Para micróbios, a opção desejável é criar organismos que requeiram o fornecimento de um nutriente específico. Para plantas e animais, é possível assegurar

que o ambiente externo seja inadequado ao seu crescimento e reprodução.

Controle biológico – Ver biocontrole.

Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) – Tratado internacional que governa a conservação e o uso de recursos biológicos do mundo; também prevê o estabelecimento de normas que regulamentem a troca internacional de organismos vivos e de OGMs.

Cossegregação – Segregação conjunta de dois caracteres, normalmente consequência da ligação gênica.

CpDNA – Designação para DNA do cloroplasto ou genoma do cloroplasto.

Criopreservação – Preservação de recursos genéticos em estado dormente, por armazenamento em temperaturas extremamente baixas, por imersão em nitrogênio líquido. Método usado para armazenar sementes, embriões somáticos ou zigóticos, grãos de pólen, microrganismos, esperma animal, células e tecidos, que são submetidos ao tratamento com crioprotetores e à desidratação, antes de serem criopreservados.

Crioprotetor – Composto que previne o dano à célula durante o processo de congelamento e descongelamento. Crioprotetores são agentes com alta solubilidade em água e baixa toxicidade, como o DMSO.

Cromossomo – Em células eucarióticas, são os corpos nucleares que contêm o material genético, incluindo os genes responsáveis pela diferenciação e atividade da célula e sequências não codificadoras.

Os cromossomos são facilmente estudados em seu estado mais condensado, que ocorre durante a metáfase da mitose ou meiose. Cada espécie tem número e morfologia cromossômica típica. Bactérias contêm só um cromossomo e cópias de DNA extracromossômicos ou plasmídeos.

Cromossomo acêntrico – Fragmento cromossômico sem centrômero.

Cromossomo artificial bacteriano (BAC) – Vetor que contém uma origem de duplicação bacteriana e é usado para clonar fragmentos grandes de DNA (até 500 kb).

Cromossomo B – Pequeno cromossomo supranumerário, heterocromático, presente em certos tipos de plantas, como o milho.

Cromossomo dicêntrico – Cromossomo que tem dois centrômeros. Forma-se, por exemplo, em consequência dos ciclos de quebra-fusão-ponte, descritos em milho.

Crossing-over – Do inglês, permuta genética. Processo pelo qual os cromossomos homólogos trocam partes na meiose pela quebra e reunião de cromátides não irmãs. Ver recombinação.

Cruzamento – Acasalamento entre indivíduos.

Cruzamento interespecífico – Hibridação entre indivíduos (genitores) pertencentes a espécies diferentes.

Cruzamento intergenérico – Hibridação entre indivíduos (genitores) pertencentes a dois gêneros distintos.

Cruzamento intraespecífico – Hibridação entre indivíduos (genitores) pertencentes à mesma espécie. É o mesmo que cruzamento infraespecífico.

Cruzamento intragenérico – Hibridação entre indivíduos (genitores) pertencentes ao mesmo gênero.

CTNBio – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, comissão técnica interdisciplinar que regulamenta a pesquisa e o uso comercial de OGMs na indústria e agropecuária brasileiras. É uma instância colegiada multidisciplinar, criada com a finalidade de prestar apoio técnico ao governo federal na formulação, atualização e implementação da Política Nacional de Biossegurança relativa a OGMs, bem como no estabelecimento de normas técnicas de segurança e pareceres técnicos referentes à proteção da saúde humana, dos organismos vivos e do meio ambiente, para atividades que envolvam a construção, experimentação, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, armazenamento, liberação e descarte de OGMs e derivados.

Cultura de tecidos – Nome genérico que se dá aos vários procedimentos de cultivo in vitro de células, tecidos e órgãos vegetais em um meio nutritivo e em condições assépticas.

D

Deleção – 1. Mutação que envolve a perda de uma base ou de uma sequência de bases. 2. Aberração cromossômica estrutural que pode levar à manifestação de uma síndrome, como a deleção do braço curto do

cromossomo 4, em humanos, a qual é diagnosticada ao microscópio ótico.

Depressão por endogamia – Redução no vigor de um indivíduo ou de uma população (avaliada pela média para um ou mais caracteres) após gerações de cruzamentos entre aparentados que leva ao acúmulo de locos em homozigose.

Deriva genética – Mecanismo evolutivo que resulta da oscilação nas frequências alélicas de uma geração a outra em uma população. Quanto menor for a população, maior é a chance de as frequências oscilarem por deriva genética. A formação de novas populações pode levar à deriva genética por efeito de amostragem, dito efeito fundador.

Dicotiledônea – Classe das Angiospermas caracterizada pelo embrião provido de dois cotilédones.

Dioica – Espécie vegetal em que flores masculinas e femininas são formadas em indivíduos diferentes.

Diploidia (2n) – Atributo de um indivíduo ou espécie que contém dois lotes completos de cromossomos.

Direito de propriedade intelectual – Direito legal que é conferido ao detentor de excluir outrem do direito de utilizar sua invenção ou descoberta sem licença para isso.

Distância de mapa – Medida de distância genética entre locos, expressa em centimorgans (cM) ou unidades de mapa; distância estimada pela fração de recombinação entre locos segregantes em uma população.

Distância genética – Medida de dissimilaridade genética entre qualquer par de indivíduos, populações, acessos ou outras categorias. É calculada com base em coeficientes (coincidência simples, coeficiente de Dice, coeficiente de Jaccard), a partir de uma matriz de dados oriundos de observações fenotípicas, frequências alélicas ou leitura de fenótipos moleculares (géis). A distância genética varia de zero (0) a um (1). É o oposto de similaridade genética.

Diversidade biológica – Ver biodiversidade.

Diversidade genética – Variação genética de uma população. É calculada com base no número médio de alelos por loco, na percentagem de locos polimórficos, na heterozigosidade média observada (proporção de indivíduos heterozigóticos) e na heterozigosidade média esperada, segundo o equilíbrio de Hardy-Weinberg. Em certas culturas, pode-se introduzir variação genética a fim de prover recombinação e potencial para seleção por meio de cruzamentos com material exótico.

DNA – Abreviatura de ácido desoxirribonucleico, um polímero formado por duas cadeias longas de desoxirribonucleotídeos pareadas na forma de uma hélice dupla. Em alguns genomas virais, há uma única fita (cadeia) de DNA. Conhecido como molécula da vida, o DNA é o material genético da maioria dos organismos e das organelas semiautônomas, i.e., da mitocôndria e do cloroplasto. A dupla hélice pode apresentar configurações diversas, ou seja, DNA B, DNA A e DNA Z.

DNA cloroplastidial – DNA de dupla fita e circular presente em múltiplas cópias no estroma do cloro-

plasto (de 20 a 40). O genoma do cloroplasto tem tamanho variável entre os vegetais (~140 kb em plantas superiores).

DNA complementar (cDNA) – Fita de DNA sintetizada pela enzima transcritase reversa in vitro a partir de um RNAm. Uma DNA-polimerase pode ser usada para criar uma fita dupla a partir do cDNA, o qual não contém íntrons, pois deriva do RNA celular processado.

DNA de cópia única – Sequência de nucleotídeos que não inclui uma proporção significativa de nucleotídeos repetidos. Ver gene.

DNA exógeno – DNA derivado de um organismo que é introduzido em outro. Também denominado DNA heterólogo (em inglês, *foreign DNA*).

DNA mitocondrial (mtDNA) – DNA circular de dupla fita presente na matriz da mitocôndria. Em mamíferos, o mtDNA representa menos de 1% do DNA total, mas, em plantas, o conteúdo é variável.

DNA molde – Em inglês, *template*; fita ou sequência senso que é transcrita em RNA. Ver fita codificadora.

DNA recombinante – Resultado da ligação, em laboratório, de fragmentos de DNA oriundos de diferentes vetores, células, organismos ou espécies.

DNA repetitivo – Sequências de DNA presentes em múltiplas cópias no genoma, algumas delas originadas de eventos de transposição. Uma proporção significativa do genoma dos eucariotos é composta de sequências ricas em pares AT ou GC ou de pequenos

motivos (unidades que se repetem), como os mini e microssatélites. É também referido como "DNA lixo". Os DNAs repetitivos são classificados segundo o grau de repetição que apresentam e quanto à sua presença ou ausência na heterocromatina ou eucromatina. Alguns têm função conhecida, como os genes que codificam RNAt e RNAr, enquanto a maioria tem função biológica desconhecida; outros são regiões reguladoras da atividade transcricional.

DNA ribossomal – Loco complexo, composto de um número de unidades repetidas que sintetizam RNA ribossomal (RNAr).

Doença genética – Todo e qualquer distúrbio que afete o material genético. Qualquer doença não infecciosa, não contagiosa que afete o material genético, em maior ou menor escala. O câncer e a hipertensão, por exemplo, são doenças genéticas.

Doença hereditária – Doenças cuja manifestação só depende dos genes do indivíduo. Pode se manifestar devido à presença de alelos mutantes (dominantes ou recessivos), alteração cromossômica, tardiamente, ou ao nascimento (congênita).

Dogma central da biologia – Conceito básico de que a informação genética flui do DNA para o RNA e desse para a proteína. O DNA, assim como o RNA viral, é capaz de se autoduplicar. As moléculas de RNA também podem sofrer transcritase reversa, originando moléculas de DNA. Ver tradução, transcrição.

Dominante – Fenótipo que se manifesta nos heterozigotos (*Aa*) e que é idêntico ao fenótipo do genitor ou linha pura dominante (*AA*). Marcador molecular que produz uma banda única no gel (RAPD, por exemplo), a qual está presente no genótipo homozigótico e heterozigótico. Ver AFLP, RAPD.

E

Ecossistema – Unidade ecológica; constitui-se de fatores bióticos e abióticos e da interação entre eles. A Mata Atlântica e o Cerrado brasileiro são exemplos de ecossistemas.

Ecótipo – População adaptada a um habitat particular. No contexto da Biologia de populações, é o mesmo que subpopulação, variedade botânica.

Efeito fundador – Efeito genético decorrente da formação de uma nova população a partir de um número pequeno de indivíduos. Ver deriva genética.

Efeito materno – Efeito da contribuição do ambiente materno (a placenta, por exemplo) no qual o embrião se desenvolve, tanto em vegetais como em animais. Difere de herança materna ou citoplasmática. Ver herança materna.

Eficiência de transformação – 1. Porcentagem de células transformadas em uma população bacteriana em função do conteúdo de DNA utilizado no ensaio (em μg). 2. Número obtido de brotos transgênicos em função do total de explantes submetidos à transformação seja por método indireto (*Agrobacterium*) ou direto (eletroporação de células, bombardeamento, sonicação).

Eficiência fotossintética – Eficiência de conversão da energia luminosa em compostos orgânicos.

Eletroforese – Técnica usada para separar misturas complexas de macromoléculas, mormente proteínas e ácidos nucleicos. Seu princípio é submeter amostras, aplicadas em pequenos poços de uma matriz porosa submersa em um tampão, a um campo elétrico. As moléculas migram a uma taxa que é dependente de sua carga elétrica e de seu peso molecular.

Eletroforese em gel de agarose – Técnica usada para separar ácidos nucleicos que são submetidos a um campo elétrico de voltagem (3 Vcm^{-1} a 5 Vcm^{-1} entre os eletrodos) e amperagem baixas (~50 mA).

Eletroforese em gel de poliacrilamida (Page) – Técnica usada para separar ácidos nucleicos e proteínas com base na migração por uma matriz inerte (a poliacrilamida), que permite distinguir fragmentos de peso molecular muito próximo, como os alelos de um loco de microssatélite. Ver microssatélite.

Eletroporação – Indução de poros temporários em bactérias, protoplastos, células ou tecidos intactos pela aplicação de um pulso elétrico, permitindo a entrada de DNA exógeno. Técnica usada geralmente na transformação de células bacterianas. Ver protoplasto, transformação.

Elisa – Ensaio imunológico baseado no uso de anticorpos para diagnosticar a presença e quantidade de moléculas específicas em uma amostra. O anticorpo primário, específico da proteína de teste, é absorvido por um substrato sólido, e uma quantia conhecida da

amostra é adicionada. Todo o antígeno da amostra é aderido ao anticorpo. Um segundo anticorpo, conjugado com uma enzima e específico para outro sítio da proteína de teste, é adicionado, e a enzima gera uma mudança de cor na presença de um reagente.

Endêmico – 1. Organismo, doença ou peste que está disseminada em uma área declarada. 2. Espécie de ocorrência única em uma dada região geográfica.

Endófito – Organismo que vive dentro de uma planta.

Endogamia – Prática ou sistema em que os acasalamentos se dão entre indivíduos aparentados; homozigose de uma população que é decorrente de autofecundação ou cruzamento entre indivíduos aparentados.

Endogâmico – População ou indivíduo que descende de um ou mais indivíduos aparentados.

Endógeno – Aquilo que é próprio da célula ou do organismo. É o contrário de exógeno.

Engenharia genética – Conjunto de técnicas de Biologia Molecular que resulta na construção de moléculas de DNA quiméricas ou recombinantes. Ver tecnologia do DNA recombinante.

Enzima – Proteína que, em baixa concentração, catalisa reações químicas específicas, mas não é consumida na reação. As enzimas são classificadas em seis grupos principais, segundo o tipo de reação que catalisam: oxidorreductases, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases. São nomeadas pela adição

do sufixo -ase ao nome de seu substrato ou tipo de reação que catalisam.

Enzima de restrição – Classe de enzimas microbianas que clivam o DNA após reconhecer uma sequência específica. É o mesmo que endonuclease de restrição. Essas enzinas podem encontrar poucos sítios (de corte raro) ou clivar todo o genoma (corte frequente).

Epigenética – Variação não hereditária e reversível, frequentemente resultado de metilação das bases do DNA que pode levar à mudança na expressão de genes, à inibição da restrição e à transposição de elementos móveis.

Epistasia – Ação entre alelos de dois ou mais locos que resulta em um fenótipo. O mesmo que interação gênica. Efeitos epistáticos na manifestação de um caráter complexo são estimados por metodologias apropriadas.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg – População cujas frequências genotípicas podem ser estimadas por p^2 *(AA), 2 pq (Aa) e* q^2 *(aa)*. Estas frequências indicam que os acasalamentos estão acontecendo aleatoriamente e, portanto, não há endogamia. Teoria demonstrada independentemente por G. H. Hardy na Inglaterra e por W. Weinberg na Alemanha em 1908. Postula que, em uma população mendeliana, na ausência de fatores evolutivos, as frequências alélicas permanecerão constantes ao passar das gerações, independentemente de um gene ser raro ou frequente.

Erosão genética – Perda de alelos e, ao longo do tempo, da diversidade genética, particularmente em populações submetidas à seleção artificial ou à extinção de indivíduos, em razão da degradação de áreas naturais.

Especiação – Divergência de natureza genética que leva ao isolamento reprodutivo das populações. Ver espécie.

Especiação alopátrica – Especiação que ocorre, pelo menos em parte, devido ao isolamento geográfico.

Especiação simpátrica – Especiação a partir de populações que coabitam a mesma região geográfica.

Espécie – Em Genética, população capaz de se intercruzar, mas que é isolada reprodutivamente de outras. Em Botânica ou Zoologia, categoria taxonômica que é identificada a partir de um tipo depositado em herbários e museus e que serve como referência para classificação.

EST – Do inglês, *expressed sequence tag*. Pequena fita de DNA que é parte de uma molécula de cDNA e pode identificar um gene ou uma sequência expressa. É usada para localizar e mapear genes e microssatélites encontrados dentro de genes. Ver cDNA.

Estabilização de enzima – Manutenção da conformação ativa de uma enzima. Pode ser obtida in vitro, provendo químicos apropriados e cofatores.

Estiolação – Alongamento anormal da haste de um vegetal. Pode ser causada por deficiência na produção

de clorofila e é típica de vegetais que crescem sob baixa ou nenhuma radiação luminosa.

Estratégia do gene candidato – Avaliação experimental na qual se aplicam conhecimentos acerca da fisiologia ou bioquímica de uma característica para identificar genes candidatos. Ver clonagem gênica.

Estratificação – Genericamente, subdivisão; processo de dividir uma condição patológica única em diferentes doenças com base em alterações moleculares subliminares.

Eucariótico – Organismo caracterizado pela presença de um núcleo envolvido por uma membrana, em que o material genético está organizado em cromossomos. São animais, plantas, fungos e algumas algas.

Evolução cariotípica – Processo de especiação acompanhado de mudanças no cariótipo, no número ou na estrutura dos cromossomos, por ganhos ou perdas de sequências de DNA.

Ex vitro – Fora do frasco ou tubo de cultura.

Exógeno – Produzido fora de, originado ou devido a causas externas. Oposto de endógeno.

Explante – Parte que é retirada de uma planta para dar início à cultura de tecidos em meio nutritivo. Sob estímulo hormonal, pode regenerar-se um broto, um embrião somático ou formar-se um calo. Ver cultura de tecidos.

Expressividade – Conceito clássico da Genética que se refere ao grau de expressão de um gene em indivíduos portadores de um mesmo genótipo para aquele gene.

F

F_1 – Primeira geração filial, derivada do cruzamento entre pais puros (ou homozigóticos) e contrastantes para uma ou várias características. Também conhecida como geração híbrida ou heterozigótica.

F_1, F_2, F_n – Em Genética, designação que se dá às gerações filiais.

F_2 – Segunda geração filial, derivada do cruzamento entre indivíduos F_1. Para cada loco, um quarto dos indivíduos tem o genótipo igual a um dos pais, metade é igual a F_1 e um quarto deles tem o genótipo igual ao do outro pai. Geração de máxima variabilidade genética.

Fatores de iniciação – Proteínas solúveis requeridas para a iniciação da tradução, que se associam à subunidade menor do ribossomo.

Fatores de terminação – Peptídeos que se associam aos códons *stop* (de terminação), finalizando a síntese, liberando a proteína e o ribossomo do RNAm.

Fita codificadora – Fita de DNA que é copiada em proteína através de um RNAm. Não há consenso sobre essa definição; prefere-se o termo "fita similar ao RNAm" (*RNA-like strand*). A fita dita *template* ou molde refere-se à sequência que é transcrita. A fita oposta ou complementar (que é similar ao RNAm) é dita codificadora, uma vez que contém os códons que serão traduzidos em proteína.

Fita dupla de DNA (dsDNA) – Polímero de nucleotídeos pareados dois a dois, formando a hélice de DNA.

Fita principal – Fita de DNA que é sintetizada continuamente durante a duplicação. É o mesmo que fita contínua.

Fita simples de DNA (ssDNA) – 1. Polímero de nucleotídeos de DNA de fita simples. 2. Fita de DNA que foi submetida à desnaturação, separação.

Fitoalexinas – Compostos químicos de baixo peso molecular com propriedades antimicrobianas produzidas pelas plantas imediatamente após sua infecção por microrganismos, tais como bactérias ou fungos, para dificultar seu crescimento e propagação.

Fitorremediação – Uso de vegetais para remover contaminantes ou poluentes do solo ou da água. Exemplificando: no Brasil, *Eichornia crassipes* é usada em lagoas para a remoção de metais pesados, como arsênico, cádmio, mercúrio, níquel e cobre.

Fixação alélica – Situação na qual apenas um alelo de determinado gene/loco está presente em uma população. Pode ocorrer como resultado de seleção, endogamia, efeito fundador e deriva.

Fixação de nitrogênio – Conversão biológica de nitrogênio atmosférico em formas oxidadas que podem ser assimiladas pelas plantas, algas verdes azuladas e alguns gêneros de bactérias, como *Rhizobium* e *Azotobacter*.

Fluxo gênico – Dispersão ou migração de genes de uma população para outra.

Fragmento de restrição – Fragmento de DNA gerado pela clivagem de uma molécula maior por uma ou mais endonucleases de restrição.

Fusão celular – Formação de uma única célula por fusão de duas diferentes. Na célula híbrida, os núcleos dos doadores podem permanecer separados ou se fundir; na divisão celular subsequente, um fuso se forma, e cada célula-filha tem um único núcleo contendo a soma dos cromossomos das células originais. É o mesmo que hibridação somática.

Fusão de protoplastos – Coalescência espontânea ou induzida de dois ou mais protoplastos oriundos de espécies ou até gêneros distintos. Técnica usada para fusionar células de fungos ou vegetais. Ver híbrido somático; protoplasto.

G

Gameta – Célula reprodutiva capaz de se fundir com outra para formar um zigoto que, por sua vez, dá origem a um novo organismo. Os gametas formam-se por um processo dito gametogênese e têm a metade do número de cromossomos. Em algumas espécies vegetais, como a batata, podem se formar gametas não reduzidos. Em animais, os gametas masculino e feminino são espermatozoide e óvulo, respectivamente. Em plantas, são o grão de pólen e a oosfera.

Ganho genético – Alteração favorável na média de um caráter em uma população, decorrente de mudanças nas frequências alélicas, devido à ação da seleção artificial. É o mesmo que progresso genético.

GeneBank – Fonte de dados de sequências de nucleotídeos e proteínas, obtidos por submissão de laboratórios ou de grandes centros, responsáveis pelo sequenciamento de genomas. De acesso ao público, o banco é mantido pelo National Center for Biotechnological Information (NCBI).

Gene – Unidade transmitida de geração a geração durante a reprodução sexual ou assexual. Sequência de nucleotídeos capaz de sofrer transcrição, ou seja, dar origem a moléculas de RNA, e que inclui as regiões líder e trailer, bem como os íntrons. Em humanos, pesquisadores confirmam a existência de 19.599 genes que codificam proteínas, e outras 2.188 sequências putativas, ou seja, genes que devem codificar proteínas.

Gene candidato – Gene cuja função é deduzida através de diferentes abordagens moleculares e que está, presumivelmente, envolvido no controle genético de uma característica simples ou complexa.

Gene candidato por mapeamento comparativo – Gene cuja função é atribuída indiretamente por mapeamento comparativo, ou seja, pode-se identificar a natureza de um QTL, associado a um marcador, quando este estiver ligado a um gene conhecido em um sistema modelo. Ver QTL.

Gene citoplasmático – Gene que está localizado no genoma dos plastídios (cpDNA) ou das mitocôndrias (mtDNA). Em procariotos, gene localizado fora do cromossomo bacteriano, i.e., nos plasmídeos. É o mesmo que gene extranuclear.

Gene GUS – Gene que codifica a enzima β-glucuronidase (GUS), cuja atividade leva à formação de um precipitado azul na presença do substrato X gluc. Esse gene não ocorre em eucariotos e, por isso, é utilizado como repórter para revelar eventos de transformação. É o mesmo que *uidA*. Ver gene repórter.

Gene letal – Ver alelo letal.

Gene marcador – Gene que apresenta segregação mendeliana, usado em estudos genéticos e em melhoramento animal e vegetal. Em melhoramento vegetal, genes que codificam para características morfológicas são usados em ensaios para estimar taxas de cruzamento em populações segregantes para o marcador.

Gene marcador de resistência – Gene marcador de seleção em transgenia, pois sua expressão permite a sobrevivência de células transformadas na presença de agentes seletivos, como antibióticos ou herbicidas. Esses genes foram usados no desenvolvimento dos primeiros organismos transgênicos.

Gene repórter – Gene cujo produto de expressão (peptídeo) pode ser detectado prontamente. É usado como marcador para confirmar a transferência de um transgene em uma célula, órgão ou tecido, pela sua expressão transiente. Ver gene GUS.

Gênero – Unidade taxonômica que agrega espécies relacionadas cuja classificação é feita com base em características morfológicas. Em anos recentes, outras evidências de natureza bioquímica, citológica ou molecular têm sido usadas para auxiliar na classificação. Nos nomes científicos, é grafado em itálico e

precede o nome da espécie: *Homo sapiens*, *Drosophila melanogaster*, *Oryza sativa*. Ver espécie.

Genes ligados – Genes situados em um mesmo cromossomo, porém separados por uma distância menor que 50 cM, ou seja, na qual a expectativa de permuta é menor que 50%.

Genética – Ciência que trata da hereditariedade e da variação. Tem início na primeira década do século XX, quando são redescobertos os trabalhos de Mendel, publicados em 1865.

Genética molecular – Área da Genética que estuda a estrutura, organização e função dos ácidos nucleicos (transcrição e tradução), bem como os processos de regulação da expressão gênica. Ciência que utiliza abordagens moleculares em análises genéticas ou estudo da herança sob a ótica molecular.

Genoma – 1. Conjunto das sequências de nucleotídeos (expressas ou não) que constituem o material genético de uma espécie, vírus ou organela. 2. Complemento cromossômico haploide (do inglês, *haploid set*) de uma espécie.

Genômica – Ciência que estuda o genoma dos organismos a partir de seu sequenciamento, com vistas a entender sua estrutura, organização e função. O sequenciamento do genoma de espécies animais, inclusive do genoma humano e dos vegetais, tem fornecido evidências para estudos evolutivos (análises filogenéticas) e das funções dos genes (genoma funcional). Ver genoma.

Genômica funcional – Ramo da Genômica que busca determinar as funções gênicas a partir da análise de sequências; ciência que utiliza os dados gerados pelos Projetos Genoma em estudos de genética fisiológica.

Genótipo – 1. Constituição alélica de um loco particular (*AA*, *Aa* ou *aa*, por exemplo). 2. Termo usado em sinonímia à raça, variedade ou acesso.

Germoplasma – Materiais genéticos de uma espécie disponível para o melhoramento, podendo incluir acessos, variedades, espécies e gêneros relacionados.

GMO – Do inglês, *genetically modified organism*. Ver OGM.

Guanina (G) – Uma das bases nitrogenadas da molécula de DNA e RNA.

GUS – Abreviatura de beta-glucuronidase. Ver gene repórter.

H

Herança citoplasmática – Herança controlada por genes não nucleares, i.e., genes situados no genoma do cloroplasto (cpDNA) ou da mitocôndria (mtDNA) dos eucariotos. É o mesmo que herança materna.

Herança materna – Herança preferencialmente transmitida pela mãe, uma vez que a contribuição do citoplasma materno é maior na formação da célula-ovo. Isso se deve ao maior tamanho do gameta feminino (óvulo, saco embrionário) em relação ao gameta masculino (espermatozoide, grão de pólen).

Herança quantitativa – Herança de caracteres mensuráveis que dependem da ação cumulativa de muitos genes e que são afetados, significativamente, pelo ambiente. É o mesmo que herança poligênica.

Herdabilidade (h^2) – Parâmetro estimado por um coeficiente entre variâncias que mede o quanto da variação fenotípica é atribuída a genes; propriedade de um caráter em determinada população. Caracteres controlados por poucos genes sofrem menor (ou nenhuma) influência do ambiente e, por isso, mostram herdabilidade alta.

Herdabilidade no sentido amplo – Herdabilidade que considera toda a variância genética, i.e., seu componente aditivo e de dominância.

Herdabilidade no sentido restrito – Herdabilidade que considera parte da variância genética, i.e., seu componente aditivo.

Hereditariedade – Semelhança entre indivíduos relacionados por descendência; aquilo que é de herança é dito hereditário.

Heterólogo – Aquilo que é de origem diferente; diz-se heteróloga a sequência de uma espécie que se presta como sonda para detectar complementaridade em outra.

Heterotrófico – Designação do organismo que não consegue sintetizar o seu próprio alimento, necessitando de substâncias orgânicas fornecidas pelo ambiente. Segundo as interações alimentares, os seres heterotróficos podem ser de dois tipos: macroconsumidores, quando obtêm os nutrientes que necessitam

do ambiente por ingestão, e microconsumidores, quando obtêm o alimento do ambiente por absorção de matéria decomposta (decompositores ou saprófitos). Todos os animais e fungos, quase todas as bactérias e algumas plantas com flor necessitam de substâncias orgânicas a partir das quais constroem os seus próprios constituintes orgânicos. Quer sejam herbívoros, carnívoros, saprófitos ou parasitas, os seres heterotróficos obtêm os seus alimentos a partir de outros organismos vivos ou mortos.

Heterozigoto – Indivíduo (ou genótipo) portador de alelos diferentes em um ou vários locos. É o oposto de homozigoto. Ver híbrido.

Hibridação – 1. Cruzamento. 2. Processo de obtenção de híbridos por polinização cruzada em plantas. 3. Acasalamento entre animais distintos, por exemplo, de diferentes raças. Ver híbrido.

Hibridação somática – Produção de híbridos por fusão de protoplastos, i.e., células somáticas isoladas de espécies (ou até gêneros) distintas. Em plantas, a hibridação somática é usada na obtenção de poliploides artificiais, visando a sua utilização comercial como porta-enxertos, tal como ocorre em *Citrus*. Recurso usado para combinar genomas de espécies sexualmente incompatíveis. Ver protoplasto.

Hibridização – 1. Da física, comunhão de moléculas. 2. Termo adotado pela biologia molecular para se referir à helicoidização de filamentos de fitas diferentes de ácidos nucleicos; associação de moléculas.

Hibridização in situ – Técnica que se presta a localizar uma sequência de nucleotídeos específica em um cromossomo, tecido ou colônia bacteriana. O DNA é hibridizado in situ com o auxílio de uma sonda previamente marcada com radioatividade ou fluorescência.

Híbrido – Aquele que deriva do cruzamento entre pais distintos, contrastantes para uma ou mais características. Em melhoramento vegetal, diz-se do genótipo ou cultivar que deriva do cruzamento entre linhagens endógamas, as quais apresentam a maioria de seus genes em homozigose; diz-se dos indivíduos da primeira geração filial de genitores cuja capacidade de combinação foi previamente estimada, com potencial para comercialização. Em melhoramento animal, o mesmo que mestiço, ou seja, aquele que deriva do cruzamento entre raças ou espécies. Em genética mendeliana, é o mesmo que heterozigoto.

Híbrido assimétrico – Híbrido interespecífico (ou intergenérico) formado pela fusão de protoplastos, sendo o núcleo de um dos genitores submetido à radiação ou ação de agentes químicos. O procedimento visa fragmentar os cromossomos do genitor doador, aumentando a chance de *crossing-over* entre os fragmentos e os cromossomos intactos da célula.

Híbrido somático – Híbrido interespecífico (ou intergenérico) oriundo da fusão de protoplastos. A planta regenerada contém a soma do número cromossômico dos genitores. É usado no melhoramento de fruteiras como porta-enxerto a fim de conferir à copa resistência a doenças de solo. É o mesmo que híbrido simétrico.

Homozigótico – Loco, genótipo ou indivíduo que tem duas cópias do mesmo alelo para determinado gene.

I

Ideótipo – Indivíduo-modelo ou ideal, em relação a tamanho, forma e outras características.

Impressão digital de DNA – Perfil ou padrão de bandas de DNA de um genótipo ou indivíduo obtido por técnicas que revelam marcadores genéticos. É o mesmo que *fingerprint*. Ver minissatélite.

***Imprinting* genômico** – Fenômeno no qual a expressão de um gene depende do genitor que o transmite.

Imunidade – 1. Em Medicina, ausência de suscetibilidade à infecção por um patógeno particular ou aos efeitos de suas toxinas. 2. Em Biologia Molecular, capacidade de um fago (ou plasmídeo) impedir que outro de mesmo tipo infecte a célula hospedeira.

Imunização genética – Transferência de um gene que codifica para a produção de um antígeno a fim de induzir uma resposta imune que protege o organismo da infecção pelo patógeno pertinente.

Indução – Ato ou processo de induzir efeito específico (transcrição de um gene, produção de uma proteína por um organismo depois de sua exposição a estímulo específico, etc.).

Indutor – 1. Em Biologia Molecular, pequena molécula que se associa a uma proteína repressora, produzindo um complexo que não pode se ligar ao operador e, assim, desencadeia a transcrição do gene procariótico. 2. Em cultura de tecidos, diz-se do papel de fitor-

reguladores, como as citocininas que induzem divisão celular, e de certas auxinas que induzem embriogênese.

Informação genética – Informação contida em uma sequência de bases de DNA ou RNA.

Iniciador – Oligonucleotídeo que se hibridiza com uma fita simples de DNA no início da duplicação da molécula pela DNA-polimerase que se liga ao seu terminal 3' livre. In vivo, o *primer* é de RNA, enquanto in vitro é de DNA. É o mesmo que oligômero. Em inglês, *primer*.

Inserção – 1. Em Genética Molecular, entrada de um nucleotídeo (ou mais) na molécula de ácido nucleico, provocando alteração no frame de leitura; um tipo de mutação de ponto. 2. Em Engenharia Genética, introdução de uma ou mais sequências de nucleotídeos em um vetor de clonagem.

Instabilidade genética – Inconsistência no fenótipo (ou genótipo) por alteração nos padrões de metilação, transposição ou reparo. Ocorre na cultura de tecidos devido ao estresse in vitro que decorre de mudanças epigenéticas.

Interação gênica – Modificação da ação de um gene por outro, ação conjunta de um ou mais genes no controle de uma característica. Ver epistasia.

Interfase – Fase do ciclo celular durante a qual ocorre a síntese de DNA e de várias proteínas e enzimas. É didaticamente dividida em períodos: G_1, S e G_2. Sob microscopia, podem-se visualizar, na interfase, o núcleo, o(s) nucléolo(s) e o citoplasma.

Interferência – Efeito de um *crossing-over* sobre a probabilidade de ocorrência de outro *crossing* em locos vizinhos. O valor da interferência (i) varia de 0 a 1, e para conhecê-lo é preciso subtrair de 1 o valor do coeficiente de coincidência.

Intraespecífico – Em uma mesma espécie, é o mesmo que infraespecífico. Cruzamento ou variação intraespecífica.

Intragenérico – Aquilo que ocorre dentro do gênero.

Introgressão – Introdução de alelos ou genes novos em uma população a partir de uma fonte exótica, inclusive de outra espécie.

Introgressão assistida por marcador – Uso de marcadores genéticos, mormente de DNA, para monitorar a introdução de um gene em uma população, em certos casos, reduzindo o número de cruzamentos para recuperar o genitor recorrente.

Isocromossomo – Cromossomo em que os dois braços são idênticos, produzido após um erro na divisão celular. A presença de um isocromossomo resulta na duplicação de todos os genes no braço duplicado do cromossomo.

Isoenzima – Variante genética de uma enzima, com igual função, mas que pode diferir em atividade, como resultado de diferenças secundárias na sequência de aminoácidos. Presta-se como marcador genético em estudos de genética de populações. As isoenzimas são visualizadas mediante sua ligação a um substrato, seguida de coloração específica, e ele-

troforese em géis de amido ou poliacrilamida. O mesmo que isoenzima.

Isogênicas – Em Genética, diz-se de linhagens que diferem para uma única característica.

Isolamento reprodutivo – Em Evolução, condição biológica ou geográfica que pode levar à diferenciação e especiação por não permitir o cruzamento.

K

Kilobase (Kb) – Comprimento de uma fita simples de ácido nucleico composto de 1.000 bases ou de fita dupla composta de 1.000 pares de bases.

L

Leis de Mendel – Duas leis que resumem a teoria da herança de Gregor Mendel. A lei da segregação dos fatores, ou alelos (1ª Lei da Genética) e a da segregação independente de dois ou mais locos (2ª Lei da Genética).

Ligação gênica (*linkage*) – Propriedade de dois ou mais locos situados em um mesmo cromossomo que, por proximidade física, tendem a ser mantidos em um mesmo gameta. A ligação pode ser quebrada pelo evento da permuta ou *crossing-over*. Denomina-se *r* ou *c* o valor de recombinação entre dois genes que é uma medida da frequência de gametas novos (recombinantes) gerados pelo *crossing-over*. A ligação é dita absoluta quando $c = 0$ e parcial quando $c \leq 0{,}5$. Quando 100% das células sofrem permuta, a segregação é como se fora independente. Ver mapeamento.

Linha pura – População formada por indivíduos geneticamente idênticos e homozigóticos.

Linhagem – 1. População de indivíduos ou células geneticamente idênticas. 2. População de células microbianas ou de origem animal, geneticamente caracterizada. 3. Em Melhoramento, população de indivíduos derivados de cruzamentos endogâmicos, ou seja, entre indivíduos aparentados. O número de autofecundações sucessivas (S_1, S_2, S_3 ... S_6) define a proporção média esperada de locos em homozigose de uma linhagem. Ver endogamia.

Linhas isogênicas – Duas linhagens geneticamente idênticas que diferem com relação a uma única característica.

Lise – 1. Quebra de substâncias e moléculas. 2. Rompimento de células por destruição de suas membranas. 3. Morte da célula bacteriana ao final do ciclo lítico de um bacteriófago.

Lisogenia – Condição na qual o material genético de um fago está integrado no genoma da bactéria hospedeira, sem causar lise. A essa etapa segue-se o ciclo lítico: o DNA viral desintegra-se, duplica-se e constrói seu envoltório; daí ocorre a lise bacteriana e a liberação de inúmeras partículas de fago. Ver bacteriófago.

Local de restrição – Sítio de reconhecimento de uma enzima de restrição.

Loco – Sítio, local de um gene em um cromossomo.

Loco de característica quantitativa – Loco associado com o controle de uma característica quantita-

tiva deduzido por procedimentos de mapeamento. Em inglês, QTL é *quantitative trait locus*. A presença de um QTL pode ser detectada comparando-se as médias fenotípicas entre as classes de indivíduos portadores de cada um dos genótipos de um marcador genético (por exemplo, M_1M_1, M_1M_2 e M_2M_2): se as diferenças entre as médias são estatisticamente significativas, diz-se que há associação entre o loco do marcador e o controle genético da característica, que é explicada pela ligação física entre o loco marcador e o QTL.

M

Macho-esterilidade – Defeito genético que previne a formação de pólen viável; ocorre devido à alteração nas membranas da mitocôndria, prejudicando o desenvolvimento do pólen. Característica encontrada (ou induzida) em muitas espécies vegetais e explorada na produção de sementes híbridas. Há genes nucleares (*rf*) que restauram a fertilidade perdida pela esterilidade citoplasmática (S).

Macromolécula – Qualquer molécula de elevado peso molecular; termo usado como sinônimo de polímero.

Mapa cromossômico – Indicação da posição relativa do centrômero e da constrição secundária (se houver), de bandas reveladas por técnicas citomoleculares e de *knobs* (em plantas). Na espécie humana, o padrão de bandamento dos 24 cromossomos é designado "mapa físico de baixa resolução".

Mapa de ligação – Diagrama linear que mostra a posição relativa dos genes em um grupo de ligação

(ou cromossomo) determinada pela fração de recombinação entre eles. É o mesmo que mapa genético.

Mapa de restrição – Arranjo dos sítios de restrição de endonucleases ao longo de uma molécula de DNA, cuja distância é indicada em pb (ou kb). Mapas de restrição são empregados na caracterização de plasmídeos e vetores de clonagem como referências para sua manipulação genética.

Mapeamento – Atribuição de sequências, marcas, genes ou locos a um mapa ou cromossomo.

Mapeamento gênico – Ver mapeamento.

Marcação por transpóson – Método de isolamento gênico que explora a interrupção da expressão de um gene pela inserção de um transpóson. Como a sequência do transpóson é conhecida, ela pode ser usada como sonda para detectar o fragmento que contém o gene-alvo.

Marcador – Loco cromossômico, gene ou sequência de DNA que mostra segregação mendeliana e se presta para análise genética de outras características ou processos em populações (ou progênies) polimórficas para o marcador.

Marcador genético – Ver marcador.

Marcador molecular – Marcador genético que explora polimorfismos na molécula de DNA. É o mesmo que marcador de DNA, marcador de DNA anônimo.

MAS – Do inglês, abreviatura de *marker assisted selection* ou seleção assistida por marcador. Seleção

de um alelo molecular (banda) fortemente ligado à característica que se quer selecionar.

Metabólito – Composto biológico de baixo peso molecular que é sintetizado por ação enzimática.

Metabólito secundário – Produto do metabolismo secundário; alguns são explorados pela indústria de fármacos e perfumes.

Metabolômica – Estudo dos metabólitos produzidos por uma espécie, nos diversos tecidos e fases de crescimento.

Microarray – Do inglês, microarranjo, arranjo de DNA imobilizado sobre uma lâmina de vidro para análises de expressão gênica. Técnica experimental que busca medir os níveis de expressão de transcritos em larga escala, ou seja, medindo muitos ou todos os transcritos simultaneamente. É utilizado na detecção e quantificação de ácidos nucleicos (cDNA ou DNA genômico), provenientes de amostras biológicas que são hibridizadas com o DNA fixado no *array*. As amostras são marcadas com fluorocromos cianina 3 (Cy3) ou cianina 5 (Cy5) quando se utilizam *microarrays* em vidro ou com o isótopo P^{33} quando os arranjos são preparados em membranas de nylon. É o mesmo que *DNA-chip*.

Microinjeção – Introdução de DNA, RNA, enzimas ou agentes citotóxicos em um tecido ou célula com o auxílio de uma agulha, monitorada ao microscópio.

Micropropagação – Produção de clones ou cópias geneticamente idênticas a partir de partes de um vegetal.

Microrganismo – Classe de organismos visível apenas ao microscópio, que inclui certas algas, bactérias, fungos, protozoários e vírus.

Microssatélite – Classe de DNA repetitivo presente no genoma dos eucariontes. Sequência de DNA que contém unidades (motivos) que se repetem em tandem: os motivos variam de 2 a 6 pb. Cada repetição em tandem se constitui em um loco de microssatélite cujos alelos se diferenciam por variações no tamanho total do microssatélite. São codominantes, multialélicos e de distribuição ampla no genoma; por isso são usados como marcadores em estudos de populações e mapeamento. São revelados por PCR em géis de agarose ou poliacrilamida. Ver PCR, minissatélite.

Minissatélite – Classe de DNA repetitivo presente no genoma dos eucariontes. Sequência de DNA que contém unidades (motivos) que se repetem em tandem: os motivos variam de 10 a 100 pb. Cada repetição em tandem se constitui em um loco de minissatélite cujos alelos se diferenciam por variações no tamanho total do minissatélite. É usado como marcador genético para *fingerprinting* em testes de paternidade. É o mesmo que VNTR (do inglês: *variable number of tandem repeats*). Ver microssatélite.

Mitocôndria – Organela semiautônoma presente nas células eucarióticas. Contém membranas (cristas mitocondriais) altamente especializadas, onde se dá a produção de trifosfato de adenosina (ATP), por fosforização oxidativa, que serve como fonte de energia para a célula. Possui seu próprio DNA. A mitocôndria contém muitas enzimas da cadeia respiratória, a maioria codificada por genes nucleares.

Modificação – Em Biologia Molecular, mudança nos nucleotídeos do DNA ou RNA após sua incorporação na molécula.

Molécula – União estável de dois ou mais átomos; algumas moléculas orgânicas contêm grande número de átomos. Ver macromolécula.

Monocotiledônea – Classe de vegetais cujo embrião tem um único cotilédone. Milho, trigo, arroz, lírio e banana são monocotiledôneas.

Morfogênese – Desenvolvimento por crescimento e diferenciação celular.

mtDNA – Abreviatura de DNA mitocondrial.

Mutação – 1. Alteração na sequência de bases do DNA quer seja por substituição, deleção ou inserção de nucleotídeos. 2. Processo de ocorrência geral em todos os seres vivos, de valor evolutivo, pois se constitui em fonte de alelos, proporcionando variabilidade. Alterações cromossômicas numéricas ou estruturais são denominadas mutações cromossômicas. 3. Processo que produz um alelo (ou fenótipo) diferente do tipo selvagem, dito mutante.

Mutação de ponto – 1. Mudança em um só nucleotídeo na sequência de bases do DNA: pode ocorrer por deleção (perda), inserção (entrada) ou transição [i.e., quando uma purina é substituída por outra purina (A→G ou G→A), ou uma pirimidina é substituída por outra pirimidina (C→T ou T→C)] ou transversão (quando uma purina é substituída por uma pirimidina e vice-versa). 2. Mutação que pode ser atribuída a um loco específico.

Mutação espontânea – Mutação não induzida, que ocorre na ausência de qualquer agente mutagênico conhecido. É provocada, basicamente, por erros durante a duplicação do DNA.

Mutação gênica – Mutação que leva à alteração de um gene. Ver mutação de ponto.

Mutação induzida – Mutação provocada por incorporação de análogos de bases (5-bromouracil ou 2-aminopurina), agentes mutagênicos físicos (luz ultravioleta e outros tipos de radiações) ou químicos (EMS, NG, HA) em laboratório ou no ambiente, elevando as taxas de mutação em relação àquela esperada espontaneamente.

Mutação silenciosa – Mutação por substituição de bases sem haver alteração no aminoácido codificado. Por exemplo: CGU, CGC, CGA, CGG, AGA e AGG codificam para a produção de arginina.

Mutação supressora – Segunda mutação, em outro sítio, que anula o efeito da primeira, restaurando o fenótipo selvagem ou a conformação da proteína original. Pode ser intragênica ou extragênica.

Mutagênese – Indução de mutações ou alterações na constituição genética de uma célula, modificando seu DNA. É diferente de transgênese.

Mutagênico – Agente ou processo capaz de induzir mutações. A radiação gama e a luz ultravioleta são mutagênicos físicos, enquanto o EMS é um mutagênico químico. A aflatoxina B_1 produzida pelo fungo *Aspergillus flavus* é uma toxina que induz mutações do tipo transversão GC→TA e pode causar

câncer. Mutagênese e carcinogênese são processos associados.

Mutante – Organismo ou alelo mutante.

N

NAD^+ – Da sigla inglesa *nicotinic adenine dinucleotide*, coenzima que participa das reações de oxidação pela aceitação de dois elétrons de uma molécula doadora e um H^+ da solução. A forma reduzida, NADH, transfere elétrons para carreadores durante a fosforilação oxidativa.

$NADP^+$ – Forma fosforilada do NAD^+; carreadora de elétrons durante a fotossíntese e outros processos biossintéticos.

Nitrificação – Processo natural pelo qual o nitrogênio da matéria orgânica é oxidado, primeiramente para nitrito (por bactérias do gênero *Nitrosomonas* ou *Nitrococcus*) e, então, para nitrato (por bactérias do gênero *Nitrobacter*).

Nitrogênio líquido – Gás de nitrogênio com ponto de ebulição de -196 °C. É comumente usado para desidratar tecidos logo antes da extração de macromoléculas ou para o armazenamento em longo prazo de células, tecidos e órgãos animais e vegetais. Ver criopreservação.

Nodulação – Formação de estruturas multicelulares e nódulos nas raízes, ocasionalmente nas hastes das leguminosas, onde ocorre associação simbiótica entre a planta e bactérias do gênero *Rhizobium*. Esse tipo de associação pode ocorrer também com gramíneas e

envolver outros microrganismos fixadores de nitrogênio.

Nódulo – 1. Cisto, estrutura globular; 2. Estrutura multicelular que se forma nas raízes de plantas leguminosas e onde há fixação do nitrogênio por agentes biológicos.

Northern blot – Técnica usada para detecção de RNAs separados previamente por eletroforese e transferidos para um suporte de nitrocelulose (*blot*) pela hibridização com uma sonda de DNA marcada.

Nucelo – Tecido que forma a parte principal do óvulo jovem e no qual o saco embrionário se desenvolve; esporângio ou órgão no qual ocorre o processo de esporogênese.

Nuclease – Classe de enzimas que degradam DNA ou RNA pela quebra das ligações covalentes que unem nucleotídeos adjacentes.

Núcleo – Organela densa presente em todas as células eucarióticas, exceto nas células vermelhas do sangue, constituída pela cromatina; o núcleo separa-se do citoplasma por um envoltório nuclear que contém poros.

Núcleos polares – Núcleos (*n*) situados no centro do saco embrionário que se fundem (*2n*) e, posteriormente, sofrem fecundação com um núcleo vegetativo do grão de pólen (*n*) para formar o endosperma (*3n*). A ploidia do endosperma pode variar em consequência do número de mitoses e de fusões nucleares que ocorrem no saco embrionário, dependendo da espécie.

Nucleosídeo – Base púrica ou pirimídica que é covalentemente ligada à pentose (um açúcar de cinco carbonos). Quando a pentose for a ribose, o nucleosídeo será um ribonucleosídeo; quando for a 2-desoxirribose, será um desoxirribonucleosídeo.

Nucleotídeo – Nucleosídeo com um ou mais grupamentos fosfatos ligados à pentose por ligação éster. Quando a pentose for a ribose, o nucleotídeo será um ribonucleotídeo; quando for a 2-deoxirribose, o nucleotídeo será um deoxirribonucleotídeo. RNA e DNA são polímeros de ribonucleosídeo 5'-monofosfatos e deoxirribonucleosídeo 5'-monofosfatos, respectivamente.

Nutricêutico – 1. Alimento funcional, i.e., possui ação metabólica ou fisiológica que beneficia a saúde, colaborando para reduzir o risco de doenças, além de suas propriedades nutricionais 2. Alimento geneticamente modificado que tem características nutricionais diferenciadas e/ou propriedades terapêuticas, como o *golden rice,* que contém elevado teor de ß-caroteno.

Nutriente essencial – Qualquer substância requerida para assegurar o crescimento e desenvolvimento normais de um organismo.

O

OGM – Abreviação de organismo geneticamente modificado.

Oligogênico – Caráter genético comandado por poucos pares de genes.

Oligonucleotídeo – Pequena sequência de RNA a partir da qual se inicia a síntese de um polímero de

ácidos nucleicos por ação de uma polimerase; na síntese in vitro de ácidos nucleicos, são usados oligonucleotídeos de DNA sintéticos. É o mesmo que *primer* ou iniciador.

Operador – Pequena sequência de DNA presente no genoma bacteriano ou viral que se liga a uma molécula repressora, controlando a transcrição de um gene adjacente. Ver operon.

Operon – *Cluster* de genes contíguos transcritos a partir de um promotor e que dá origem a um RNAm policistrônico, sob controle de um operador e um repressor; unidade genética responsável pela expressão de genes corregulados em bactérias.

Operon vir – Região do plasmídeo de *Agrobacterium* que contém um *cluster* de genes responsáveis pela virulência bacteriana. Age de forma corregulada, e sua ação resulta na transferência do segmento T-DNA para a célula vegetal.

Opinas – Aminoácidos ou carboidratos modificados. O tipo de opina produzido (nopalina, octopina, agropina, manopina, etc.) é utilizado como um dos critérios para a classificação de linhagens e espécies de *Agrobacterium*.

Organismo geneticamente modificado (OGM) – Organismo que foi transformado pela introdução e integração de um ou mais genes exógenos ou transgenes.

Organismo vivo modificado – Organismo vivo que possui uma nova combinação obtida por engenharia genética, que não ocorreria naturalmente por cruzamento ou recombinação (definição segundo a Con-

venção de Diversidade Biológica). Em inglês, *living modified organism* (LMO).

Órgão – Agregado ordenado de tecidos e células que realiza determinada função.

P

Panmixia – Ocorrência de acasalamentos ao acaso entre indivíduos de uma população, dita panmítica.

Par de bases (pb) – Unidade de comprimento de um fragmento de ácido nucleico de dupla fita. As duas fitas são mantidas por pontes de hidrogênio que unem uma purina de uma fita a uma pirimidina da outra. A complementaridade das fitas se faz pelo pareamento de G com C e de A com T no DNA (A com U no RNA).

Partes por milhão (ppm) – Unidade de concentração; 1 ppm equivale a 1 mg dissolvido em 1 litro de solução.

Patente – Permissão legal para assegurar direito de exclusividade para fabricação, uso ou comercialização de uma invenção por tempo determinado.

Patógeno – Organismo que causa doença, agente infeccioso.

PCR – Da sigla inglesa, *polimerase chain reaction*. Ver reação em cadeia da polimerase.

PCR em tempo real – Técnica baseada no uso de uma sonda fluorescente que se hibridiza com a sequência-alvo, gerando um sinal fluorescente que é acumulado durante a amplificação, proporcionalmente à concen-

tração de produtos amplificados. Sistema que permite correlacionar a intensidade de um sinal coletado com a quantidade de produto amplificado. Aplicações da PCR quantitativa em tempo real: detecção e quantificação de OGMs, análise de expressão gênica, acompanhamento de doenças infecciosas, detecção de patógenos e de SNPs (polimorfismos de nucleotídeo único).

Penetrância – Conceito da genética que se refere à proporção de indivíduos com determinado genótipo em uma população que expressa o fenótipo para um caráter de herança simples.

Peptidase – Enzima que catalisa a hidrólise de uma ligação peptídica.

Peptídeo – Pequeno polímero de até 30 aminoácidos unidos por ligações peptídicas.

Permuta – *Crossing-over* ou troca de segmentos entre cromátides homólogas durante a meiose ou mitose (permuta somática). Em consequência da permuta, ocorre a formação de gametas recombinantes.

pH_m – pH no qual 50% dos nucleotídeos de uma dada sequência de ácido nucleico de dupla fita sofrem dissociação ou desnaturação. O pH_m varia em função do conteúdo de pares GC da molécula e da concentração de sais do tampão.

Pirimidina – Grupo de bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos: citosina e timina estão presentes no DNA, e uracila substitui a timina no RNA.

Planta daninha – Planta invasora. Em agricultura, planta que invade e se desenvolve nas lavouras em local não desejado.

Plasmídeo – 1. Molécula de DNA circular presente em muitos microrganismos, como bactérias e leveduras, capaz de se duplicar autonomamente. Boa parte dos plasmídeos contém genes de resistência a antibióticos, e certos microrganismos os transferem de uma célula a outra por conjugação. 2. Importantes vetores de clonagem e expressão gênica em procedimentos de Engenharia Genética e Biologia Molecular. Ver vetor.

Plasmídeo Ri – Classe de plasmídeos conjugativos encontrados na bactéria de solo *Agrobacterium rhizogenes*. Plasmídeos Ri possuem sequências que são transferidas e integradas no genoma vegetal como parte do processo de colonização. Ver *Agrobacterium rhizogenes*.

Plasmídeo sexual – Aquele que dá início ao processo conjugativo bacteriano; episssomo.

Plasmídeo Ti – Classe de plasmídeos conjugativos encontrados na bactéria de solo *Agrobacterium tumefaciens*. Plasmídeos Ti possuem sequências que são transferidas e integradas no genoma vegetal como parte do processo de colonização. Formas desarmadas desse plasmídeo são usadas na produção de plantas transgênicas. Ver *Agrobacterium tumefaciens*, T-DNA.

Plastídio – Plasto, organelas celulares vegetais derivadas das cianobactérias que contêm seu próprio DNA e se autoduplicam. São classificados de acordo com a presença (cloroplastos e cromoplastos) ou

ausência de pigmentos (leucoplastos) ou com o tipo de substância que acumulam (amiloplastos).

Pleiotropia – Propriedade atribuída a um gene cuja expressão interfere em uma ou mais características independentes.

Polietilenoglicol (PEG) – Polímero cuja fórmula geral é $HOCH_2(CH_2OCH_2)nCH_2OH$, disponível em uma gama de pesos moleculares. Agente que promove aglutinação de células. PEG 4000 e 6000 são usados na fusão de protoplastos e para facilitar a absorção de DNA em procedimentos de transformação.

Poligênico – Caráter controlado por muitos genes de pequeno efeito.

Polimerização – Ligação química entre monômeros para formar um polímero.

Polímero – Macromolécula sintetizada pela ligação química de monômeros, por exemplo, aminoácidos, monossacarídeos e nucleotídeos, que dão origem, respectivamente, a proteínas, polissacarídeos e ácidos nucleicos.

Polimorfismo de comprimento de fragmentos amplificados (em inglês, AFLP) – Polimorfismo molecular: o DNA genômico é tratado com duas enzimas de restrição e os fragmentos ligados a adaptadores; uma parte deles é amplificada usando-se *primers* complementares aos adaptadores; uma segunda amplificação é realizada adicionando-se aos *primers* um nucleotídeo seletivo. Os perfis de AFLP são analisados em gel de poliacrilamida quanto à presença ou

ausência da banda para cada loco amplificado. Marcador genético dominante. Ver AFLP.

Polimorfismo de comprimento de fragmentos de restrição (em inglês, RFLP) – Polimorfismo molecular: o DNA genômico é tratado com uma enzima de restrição e transferido para uma membrana por *Southern blotting*. Os fragmentos são detectados por hibridização com sondas marcadas, oriundas de uma biblioteca genômica ou de cDNA. Diferenças nos comprimentos dos fragmentos surgem devido a alterações nos sítios de restrição. Três genótipos podem ser detectados por loco: presença de uma banda maior (homozigótico para um alelo), de duas bandas (heterozigótico) ou de uma banda menor (homozigótico para o outro alelo). Marcador genético codominante. Ver RFLP.

Polimorfismo de DNA amplificado ao acaso (em inglês, RAPD) – Polimorfismo molecular: o DNA genômico é amplificado via PCR usando-se iniciadores randômicos de 10 pb. Os perfis de RAPD são analisados em gel de poliacrilamida ou agarose quanto à presença ou ausência da banda para cada loco amplificado. Marcador genético dominante.

Polimorfismo de DNA satélite – Polimorfismo molecular em locos de DNA repetitivo. Ver microssatélite, minissatélite.

Polimorfismo de nucleotídeo único (em inglês, SNP) – Tipo de marcador molecular capaz de diferenciar indivíduos por meio de variações em apenas um nucleotídeo de sequências de DNA que codificam (ou não) genes. Os SNP mais comuns, encontrados em

diferentes espécies, são os de transição (em que uma base púrica é substituída por outra púrica) e de transversão (em que uma base púrica é substituída por uma pirimídica, ou vice-versa). Variação alélica detectada por sequenciamento.

Polimorfismo genético – Ocorrência de variação genética em uma população para um ou mais locos cujos alelos têm frequência inferior a 0,99. É o oposto de monomorfismo (ausência de variação ou predominância de um dos alelos cuja frequência é ≥ 0,99).

Polinucleotídeo – Polímero linear composto de nucleotídeos.

Polipeptídeo – Polímero linear composto de aminoácidos.

Polissacarídeo – Carboidrato; polímero de monossacarídeos, como o amido.

Polissomo – Associação de ribossomos para intensificar a tradução de um RNAm, visíveis sob microscopia eletrônica.

Poluição genética – Dispersão descontrolada de genes para espécies ou indivíduos nos quais esses genes não estavam presentes. Conceito associado a escape gênico a partir de OGM.

População – Em Genética, grupo ou comunidade de indivíduos que compartilham o mesmo *pool* gênico.

População mendeliana – Grupo de indivíduos da mesma espécie que se interacasalam e que por isso apresentam propriedades comuns numa dimensão

espacial (devido ao interacasalamento) e temporal (devido aos elos reprodutivos).

População panmítica – População na qual os acasalamentos ocorrem ao acaso.

ppm – Abreviação de partes por milhão.

Pressão de mutação – Taxa de mutação que acrescenta novos alelos a uma população.

Pressão de seleção – Pressão seletiva que aumenta ou diminui a sobrevivência de indivíduos portadores de determinados genótipos.

Princípio da Precaução – Estratégia pela qual qualquer possível risco associado com a introdução de uma tecnologia nova é evitado até a completa compreensão do seu efeito à saúde e ao ambiente. Em Biossegurança, pode-se adotar o Princípio da Precaução.

Procarionte – Grupo de organismos unicelulares, inclusive bactérias e algas azul-esverdeadas, nos quais o cromossomo não está incluso em um núcleo.

Progênie – Descendência.

Promotor – Sequência de DNA próxima à região codante do gene onde fatores proteicos e a RNA-polimerase se ligam para dar início à transcrição.

Promotor 35S do vírus do mosaico-da-couve-flor (CaMV 35S) – Sequência promotora isolada do gene ribossomal do vírus do mosaico-da-couve-flor largamente utilizada para expressar transgenes em plantas.

Protease – Enzima que catalisa a hidrólise de proteínas, quebrando as ligações peptídicas que unem os aminoácidos; peptidase.

Proteína – Polímero de aminoácidos; macromolécula composta de uma ou mais cadeias polipeptídicas. Têm estrutura simples ou mais complexa, assumindo conformação terciária ou quaternária.

Proteína cry – Classe de proteínas cristalinas produzidas por *Bacillus thuringiensis* e utilizadas para conferir resistência em plantas transgênicas. São tóxicas a lagartas, mosquitos, moscas e alguns tipos de besouros, mas inofensivas aos mamíferos.

Proteína heteróloga – Ver proteína recombinante.

Proteína recombinante – Proteína produzida por engenharia genética, que é codificada por um transgene, inserido em bactérias ou células eucarióticas, onde se expressa. Muitos medicamentos são proteínas recombinantes, como a vacina da hepatite B. Ver recombinante.

Proteinase – Classe de enzimas que degrada proteínas, hidrolisando algumas de suas ligações peptídicas.

Proteoma – Conjunto de todas as proteínas de um organismo.

Proteômica – Estudo das proteínas de determinado tecido, genótipo ou espécie, usando, principalmente, eletroforeses bidimensionais e informações da genômica e genômica funcional. Na primeira dimensão, as proteínas são separadas por focalização isoelétrica que distingue as proteínas em função da sua carga.

Na segunda dimensão, as proteínas são separadas por massa molecular. O gel é corado com azul de Coomassie ou com prata. Mais recentemente, a proteômica tem sido ajudada pela espectrometria de massa. Estudo do proteoma da célula.

Protocolo de biossegurança – Conjunto de procedimentos aceitos internacionalmente para proteger a saúde humana e animal e o ambiente de potenciais riscos do uso da biotecnologia e de seus produtos; Protocolo de Cartagena.

Protoplasto – Célula vegetal ou fúngica desprovida de parede celular por ação enzimática.

Pseudogene – Cópia incompleta ou que sofreu mutação de um gene que não é transcrita, embora estável no genoma.

Purina – Grupo de bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos: adenina (A) e guanina (G) são as bases púricas do DNA e do RNA.

Q

QTL – Da sigla inglesa *quantitative trait locus,* ou loco controlador de uma característica quantitativa.

R

R_1, R_2 – 1. Símbolos que denotam respectivamente, a primeira e a segunda geração de um organismo geneticamente modificado, esse designado por R_0. 2. Respectivamente, a primeira e a segunda geração de um regenerante primário da cultura de tecidos, o qual é designado por R_0. Ver T_1, T_2.

RAPD – Da sigla inglesa *random amplified polymorphic DNA* ou polimorfismo de DNA amplificado ao acaso. Ver polimorfismo genético.

Reação em cadeia da polimerase (em inglês, PCR) – Técnica da Biologia Molecular que permite a amplificação de cópias múltiplas de uma sequência específica de DNA. Envolve ciclos múltiplos de desnaturação do DNA, anelamento dos iniciadores (*primers*) e extensão da fita. Requer uma DNA-polimerase termoestável (*Taq* DNA-polimerase), Mg^{++} como cofator da *Taq*, deoxirribonucleotídeos (dNTP), iniciadores e um tampão de reação.

Recombinação – 1. Resultado da segregação ao acaso de cromossomos, durante a formação de gametas, ou da segregação mitótica em fungos. 2. Resultado da troca recíproca de DNA entre cromátides homólogas, durante a prófase da meiose I. Ver permuta, *crossing-over*.

Recombinação gênica – Resultado da permuta genética ou *crossing-over*.

Recombinante – 1. Gameta oriundo do evento de *crossing-over*. 2. Em Engenharia Genética, molécula híbrida composta de sequências de DNA oriundas de diferentes linhagens celulares, espécies, gêneros e até reinos.

Recurso genético – Material genético de valor atual ou potencial, que carrega unidades da hereditariedade.

Recurso genético vegetal (em inglês, PGR) – Material reprodutivo ou vegetativo de uma espécie. Inclui

variedades em uso e obsoletas, variedades crioulas e acessos silvestres. Ver germoplasma.

Regeneração – Em cultura de tecidos, desenvolvimento de órgãos, embriões ou plântulas a partir de um explante introduzido in vitro.

Região de terminação – Sequência de DNA que sinaliza o final da transcrição.

Região intergênica – Sequência de DNA não codante localizada entre genes; corresponde a uma proporção variável, mas considerável, do genoma dos eucarióticos, com função desconhecida. É frequente entre genes que se repetem de forma contígua, como os de RNAr e RNAt.

Regulação gênica – Controle da atividade gênica; supressão de produtos gênicos em células específicas ou em tecidos.

Remediação – Remoção de um ou mais contaminantes de um local que pode ser realizada por microrganismos ou plantas. Ver biorremediação.

Reparo de DNA – Atividade que visa corrigir erros ou lesões no DNA ou que auxilia as células a tolerarem a lesão. Mecanismo que garante a estabilidade dos genomas.

Replicase – Enzima viral necessária para a sua duplicação na célula hospedeira.

Replicon – 1. Unidade do DNA que pode ser duplicada a partir de uma única origem de replicação (ORI). Plasmídeos, cromossomos bacterianos e vírus têm uma única ORI, de forma que seu genoma inteiro

constitui um único replicon. Cromossomos de eucariotos têm origens múltiplas de replicação; portanto, têm vários replicons. 2. Molécula de DNA capaz de replicação independente.

Repressão – Capacidade de impedir a síntese de certas enzimas quando seus produtos estão presentes; genericamente, refere-se à inibição da transcrição (ou tradução) pela ligação de uma proteína repressora a um sítio específico do DNA (ou do RNAm).

Repulsão – Fase em que se encontram os alelos de um genótipo heterozigótico em que o alelo dominante de um loco e o recessivo do outro loco estão no mesmo homólogo (Ab/aB). É o mesmo que configuração trans.

Resistência – 1. Capacidade, de natureza genética, de prevenir a infecção por um patógeno. Algumas formas de resistência excluem o patógeno ou previnem sua disseminação pela liberação de toxinas, por parte do hospedeiro; outras toleram a toxina do patógeno; 2. Capacidade de resistir a um fator abiótico ou biótico. 3. Capacidade de um microrganismo ou célula de sobreviver na presença de um antibiótico.

Resposta à seleção – Diferença entre a média da população selecionada (f_s) e a média de sua descendência (f_m).

Resposta hipersensível – Reação específica de uma planta ao ataque de um patógeno: as células da planta que cercam o ponto de infecção rapidamente morrem, de forma que o patógeno não é disseminado no tecido vegetal.

Resposta imune – Conjunto de mecanismos, inclusive a síntese de anticorpos, usados por um organismo em resposta à presença de um antígeno.

Restrição – Quebra das ligações fosfodiéster dos ácidos nucleicos por ação enzimática. É o mesmo que corte; digestão, clivagem.

Retrocruzamento – Cruzamento de um indivíduo com um de seus genitores. A descendência desse cruzamento é dita geração ou progênie de retrocruzamento.

Retrotranspóson – Classe de elementos que se movimentam no genoma por meio de uma molécula intermediária de RNA que sofre transcrição reversa.

Revolução Verde – Aumento dramático da produtividade, mormente de trigo e arroz, a partir de 1950, como resultado da melhoria das práticas culturais (por exemplo, adubação e controle de pragas, dentre outras).

RFLP – Do inglês, *restriction fragment length polymorphism*, ou polimorfismo de comprimento de fragmentos de restrição.

Rhizobacterium – Bactéria cujo habitat é a rizosfera das plantas.

Rhizobium – Bactéria que estabelece relação simbiótica com plantas leguminosas com fixação de nitrogênio elementar. Ver fixação de nitrogênio.

Ribonuclease (RNAse) – Enzima que catalisa a hidrólise de RNA.

Ribose – Monossacarídeo encontrado em todo ribonucleosídeo, ribonucleotídeo e RNA. Seu análogo, 2-deoxirribose, é encontrado em todo deoxirribonucleosídeo, deoxirribonucleotídeo e DNA.

Ribossomo – Estrutura que contém RNA e proteína e que catalisa a tradução do RNAm em uma sequência de aminoácidos ou polipeptídeo.

Rizosfera – Região do solo na vizinhança imediata das raízes da planta.

RNA – Ver ácido ribonucleico.

RNA antissenso – Sequência de RNA que se hibridiza ou forma um dúplex com o RNA mensageiro que lhe é complementar, inibindo a sua tradução.

RNA interferente (RNAi) – Molécula de RNA usada para promover silenciamento gênico. RNAs de dupla fita são digeridos na célula em fragmentos de 21 pb a 23 pb, ditos *small interfering RNAs* (siRNAs). Sucessivas clivagens degradam esses RNAs em dúplex menores, de 19 pb a 21 pb, com dois nucleotídeos livres no terminal 3' (*overhangs*). Esses se ligam a uma nuclease, formando um *RNA-induced complex,* que, por sua vez, se pareia com o RNA homólogo, promovendo a sua clivagem, o que resulta no silenciamento gênico. O sistema tem potencial para uso na indústria.

RNA mensageiro – Molécula sintetizada pela RNA-polimerase a partir de uma das fitas do DNA e que é traduzida em peptídeo ou proteína. A sequência de ribonucleotídeos presente no RNAm maduro é formada por códons (trincas) que correspondem aos

aminoácidos que compõem a proteína. A tradução é mediada por moléculas transportadoras de aminoácidos (os RNAt), que possuem anticódons complementares aos códons do RNAm.

RNA-polimerase – Polimerase que catalisa a síntese de RNA a partir de uma fita molde de DNA.

RNA ribossomal – Molécula de RNA que se associa a proteínas específicas para formar os ribossomos, onde se dá a síntese proteica. Classes diferentes de rRNA são identificadas por valores de sedimentação (S).

RNA transportador – Pequena molécula transcrita a partir do DNA que tem a propriedade de se ligar a um aminoácido específico e transportá-lo ao ribossomo durante a biossíntese de proteínas.

Rota anabólica – Rota pela qual um metabólito é sintetizado a partir de pequenas moléculas com gasto de energia.

Rota catabólica – Rota pela qual uma molécula orgânica é degradada para liberar energia para vários processos celulares.

S

S_1, S_2 – Símbolos que denotam, respectivamente, a primeira e a segunda geração de uma planta ou população autofecundada (S_0). A terminologia S é mais usual quando se tratam de populações alógamas, e F no caso de autógamas.

SAGE – Do inglês, *serial analysis of gene expression*. Técnica experimental que permite anali-

sar, em detalhes, milhares de transcritos. O RNAm é extraído, transcrito reversamente em cDNA; esse é clivado e ligado à biotina, que é capturada por contas magnéticas. Seguem-se vários passos até a amplificação do DNA correspondente às sequências expressas (transcritos), via PCR, e posterior sequenciamento.

SCAR – Em inglês, *sequence characterized amplified region*. Polimorfismo molecular identificado por PCR, podendo conter DNA repetitivo, usado como ponto de referência física no genoma e também como marcador genético. Em geral, marcadores SCAR são amplificados a partir de *primers* obtidos da conversão de outros marcadores derivados da PCR, como os RAPDs. Regiões amplificadas a partir de sequências caracterizadas.

Segregação mendeliana – Geração de alelos, gametas, genótipos ou fenótipos em proporções mendelianas, i.e., segundo as regras da genética definidas para caracteres de herança simples.

Seleção artificial – Processo similar à seleção natural, porém realizado pelo ser humano; prática de escolher indivíduos de uma população para reprodução baseada em características de interesse ou favoráveis.

Seleção assistida por marcador (em inglês, MAS) – Conjunto de procedimentos baseados em marcadores de DNA para assistir à seleção. Os marcadores devem estar ligados ao(s) gene(s) de interesse.

Seleção clonal – 1. Seleção praticada em uma população de células que produzem o mesmo anticorpo.

2. Em melhoramento, prática que leva à obtenção de clones e a sua subsequente seleção.

Sequência – Ordem linear de nucleotídeo ao longo do DNA ou RNA.

Sequência codificadora – Aquela que é igual à do RNA mensageiro (salvo a substituição de T por U).

Sequência líder – Sequência de nucleotídeos de comprimento variável na extremidade 5' de uma molécula de RNAm que precede o códon (AUG) de iniciação da tradução.

Sequência reguladora – Sequência de DNA envolvida na regulação da expressão de um gene.

Sequência silenciadora – Sequência que promove, no DNA eucarionte, a condensação da cromatina em sítios específicos, bloqueando o acesso de proteínas necessárias à transcrição.

Sequenciamento de DNA – Procedimento para determinar a sequência de nucleotídeos de um fragmento de DNA. A técnica universalmente utilizada é a de Sanger, na qual uma nova molécula é sintetizada na presença de dideoxinucleotídeos ou terminadores de cadeia em quatro reações distintas. A marcação das moléculas pode ser feita com ^{32}P ou fluorocromos, possibilitando a identificação de cada base que compõe a sequência. O procedimento foi automatizado em anos recentes para cumprir os projetos de sequenciamento de genomas inteiros, com auxílio da bioinformática. Há várias plataformas de sequenciamento disponíveis, inclusive usando métodos diferentes do de Sanger, como o pirosequenciamento.

Sequenciamento genômico – Ver sequenciamento de DNA.

Sequenciamento proteico – Processo bioquímico de determinação da sequência de aminoácidos de uma proteína.

Silenciamento – Perda ou redução do nível de expressão gênica por mecanismos que atuam na molécula de DNA ou de RNA por controle pós-transcricional ou após a tradução. É o mesmo que silenciamento gênico.

Sonda – Fragmento de DNA ou RNA usado para detectar a presença de uma sequência complementar por hibridização com uma amostra de ácido nucleico. À sonda, são incorporados isótopos radioativos ou compostos que se ligam a fluorocromos para detecção da sequência complementar.

Sonda heteróloga – Sonda derivada de uma espécie que é usada para detecção de sequências complementares em outra espécie.

Southern blotting – Técnica usada para detectar sequências específicas de DNA, previamente separadas por eletroforese e transferidas para uma membrana, pelo uso de uma sonda complementar marcada.

Splicing – Processo que ocorre durante a maturação do RNAm eucariótico pelo qual ocorrem a remoção de íntrons e união dos éxons. É o mesmo que processamento.

ssDNA – Em inglês, *single strand DNA*. DNA de fita simples.

SSR – Em inglês, *simple sequence repeats*. Repetições de sequências simples. Ver microssatélite.

STR – Em inglês, *simple tandem repeats*. Repetição de sequências em tandem.

STS – Em inglês, *sequence tagged site*. Técnica que se presta à detecção de uma sequência ou loco por PCR específico, algumas vezes por conversão de um RFLP.

Substituição gênica – Em transgenia, integração de um gene exógeno (mutante) em um cromossomo por meio de recombinação homóloga, substituindo-se a cópia do gene original presente no loco; substituição de um alelo por um mutante visando estudar a função de um gene.

T

T – Abreviação de timina, pirimidina dos ácidos nucleicos.

T-DNA – Segmento de DNA do plasmídeo Ti presente em *Agrobacterium tumefaciens*, que é transferido e integrado ao genoma da célula vegetal hospedeira e responsável pela síntese de precursores de reguladores de crescimento e opinas pela planta infectada.

T4-DNA ligase – Ligase produzida pelo fago T4, utilizada em biologia molecular para catalisar a ligação de duas moléculas de DNA de dupla fita.

T_1, T_2 – Respectivamente, símbolos que denotam a primeira e a segunda geração de um transformante primário, que é designado por T_0.

Taq DNA-polimerase – Polimerase termoestável que permite a amplificação de DNA in vitro. Foi isolada da bactéria *Thermus aquaticus* em 1971, nas águas termais do Parque Nacional Yellowstone, nos Estados Unidos. Ver PCR.

Tecnologia do DNA recombinante – Conjunto de técnicas utilizadas para manipular ácidos nucleicos, gerando moléculas recombinantes, ou seja, quiméricas. É o mesmo que Engenharia Genética.

Temperatura de desnaturação do DNA – Temperatura na qual as fitas da molécula de DNA se desnaturam ou dissociam. Em inglês, T_m (*melting temperature*). A T_m é determinada pelo comprimento da molécula, pela sua composição de bases e pela concentração de sais do tampão. Sequências ricas pares GC têm T_m mais altas. Agentes como álcalis fortes também são usados para desnaturar moléculas. Ver pH_m.

Terminador – 1. Sequência de DNA abaixo da região codante de um gene que é reconhecida pela RNA--polimerase como um sinal para concluir a síntese de RNAm. 2. Em Biotecnologia, método de esterilização para prevenir o uso da semente obtida da planta transgênica no plantio da safra seguinte.

Teste de DNA – 1. Uso da PCR para diagnosticar a presença de um contaminante, patógeno ou alelo particular. 2. É o mesmo que teste de paternidade.

Teste de paternidade – Técnica que consiste em observar e comparar o DNA de diferentes indivíduos, estabelecendo-se relações de parentesco. Em cada

teste, a comparação é feita em vários locos (de minissatélites ou microssatélites), analisando-se a variação no DNA dos indivíduos estudados, o que permite estabelecer a paternidade com probabilidade superior ou igual a 99,99%.

Teste de progênie – Avaliação da progênie para estimar o valor genotípico do genitor; seleção com base no desempenho da geração filial ou progênie.

Tolerância – Reação a determinado estresse biótico ou abiótico.

Tolerância à doença – Capacidade de uma planta de conviver com um patógeno.

Tolerância a herbicida – Capacidade de uma planta de conviver com a aplicação de herbicidas. Transgenes de tolerância a herbicidas têm sido introduzidos em grandes culturas, como soja, algodão, canola e milho.

Totipotência – Atributo ou propriedade da célula de se dividir e desenvolver uma estrutura nova e diferenciada ou um organismo completo.

Toxina – Composto deletério produzido por uma célula ou organismo que inibe o crescimento ou até causa a morte de outro.

Tradução – Biossíntese de polipeptídeos na qual a sequência de aminoácidos é determinada pelo RNAm, mediada por tRNA e realizada nos ribossomos.

Transcrição – Biossíntese de RNA a partir de uma sequência-molde de DNA pela RNA-polimerase.

Transcrição reversa – Biossíntese de DNA a partir de uma sequência de RNA, pela transcritase reversa.

Transcritase reversa – Enzima capaz de sintetizar uma fita de DNA a partir de uma molécula de RNA.

Transdução – Transferência, por meio de um vetor viral, de uma sequência de DNA entre células bacterianas.

Transformação – Introdução e integração de DNA em uma célula hospedeira, descrita em bactérias em 1932. Processo usual em laboratórios após o desenvolvimento da Engenharia Genética. É o mesmo que transformação genética.

Transformação mediada por *Agrobacterium tumefaciens* – Processo de transferência de DNA para a célula vegetal via *Agrobacterium tumefaciens*.

Transformante – Célula ou organismo que foi alterado geneticamente pela integração de um transgene. Ver T_1, T_2.

Transgene – Gene exógeno integrado em um genoma hospedeiro por evento de transformação.

Transgênese – Introdução de um gene exógeno em células animais ou vegetais.

Transgênico – Indivíduo no qual um transgene foi integrado ao seu genoma.

Translocação – 1. Movimento de nutrientes ou de produtos de metabolismo. 2. Troca de segmentos entre cromossomos não homólogos.

Transposição – Processo pelo qual um transpóson se insere em outro local do genoma, podendo ser mediado por uma molécula de RNA intermediária. Ver retrotranspóson.

Transpóson – Elemento genético transponível.

Transpóson composto – Elemento que possui genes não relacionados ao processo de transposição (resistência a antibióticos, por exemplo) na região central que, por sua vez, é delimitada por genes que controlam as atividades de transposição.

Tratado Internacional sobre Recursos Genéticos Vegetais – Primeiro acordo voluntário internacional, adotado em 1983, que trata da questão de recursos genéticos para a agricultura.

Trinca – Grupo de três nucleotídeos do DNA ou RNA. Ver códon.

tRNA – Ver RNA transportador.

U

U – Abreviação de uracila, pirimidina constituinte do ácido ribonucleico.

Unicelular – Organismo constituído por uma única célula, como os procarióticos.

Unidade de transcrição – Sequência de DNA que contém sinais para a iniciação e terminação da transcrição.

Universal – Atributo do código genético, uma vez que as trincas, ou os códons, são traduzidas no mesmo aminoácido, salvo raras exceções.

V

Vacina de DNA – Vacina que consiste na injeção de um fragmento específico de DNA para estimular uma resposta imune.

Vacina de peptídeo – Cadeia curta de aminoácidos que pode induzir à produção de anticorpos contra um agente infeccioso específico.

Vacina recombinante – Vacina produzida a partir de um OGM.

Variabilidade – Variação biológica entre indivíduos da mesma espécie. Em populações naturais, a variabilidade deve-se, principalmente, aos fatores ambientais e genéticos.

Variação – Em Biologia, ocorrência de dissimilaridade, diferença entre indivíduos de uma população, entre populações ou entre quaisquer entidades.

Variação contínua – Variação que obedece a uma distribuição contínua, i.e., na qual não se identificam classes discretas. Em Genética, a característica que mostra variação contínua é dita quantitativa.

Variação descontínua – Variação que obedece a uma distribuição discreta, em classes. Em Genética, o caráter que mostra variação descontínua é dito qualitativo.

Variação genética – Variação atribuída ao genótipo.

Variação somaclonal – Alteração de natureza genética ou epigenética decorrente de procedimentos de cultura in vitro.

Variação transgressiva – Em Genética, variação que inclui, nas gerações segregantes, indivíduos que apresentam medidas (características) fora dos extremos definidos pelos pais.

Variância genética aditiva – Em Genética Quantitativa, variância genética associada ao efeito médio de substituição do alelo dominante *A* pelo recessivo *a*.

Variância genética dominante – Em Genética Quantitativa, variância genética resultante da dominância do alelo *A* sobre o alelo recessivo *a*.

Variante – Ideotipo. Em Genética, indivíduo que difere em um ou mais caracteres em uma população. Se essa diferença for devida a uma mutação, o indivíduo passa a ser denominado mutante.

Variedade – 1. Entidade infraespecífica que tem características próprias. 2. Em melhoramento, população que acumula genes favoráveis, fruto de seleção, e que é usada comercialmente.

Variedade essencialmente derivada – Variedade muito semelhante à original, obtida pela seleção de um mutante ou após gerações de retrocruzamento com a original.

Variegação – Ocorrência, dentro de um tecido, órgão ou organismo, de um mosaico de coloração nas folhas ou flores. A variegação pode ocorrer por infecção

viral, deficiência nutricional ou instabilidade genética causada por transpóson.

Vetor – 1. Organismo que transmite um patógeno. 2. Pequena molécula de DNA (plasmídeo, fago, cromossomo artificial) que pode ser usada para introduzir DNA em uma célula hospedeira. Vetores devem ter origem de replicação e conter sítios de clonagem para a inserção do DNA exógeno, entre outras características.

Vetor de clonagem – Veículo de clonagem; pequena molécula de DNA autorreplicativa na qual o DNA exógeno é inserido. Há vários tipos: plasmídeos, cosmídeos, fagos e cromossomos artificiais de bactéria (BAC) e levedura (YAC). Os vetores de clonagem podem ser usados como vetores de transformação para inserir DNA exógeno em uma célula hospedeira.

Vetor de expressão baculovírus (BEV) – Método para a produção in vitro de proteínas recombinantes complexas de eucarióticos. Um baculovírus geneticamente criado é introduzido em células de insetos cultivadas, as quais expressam a proteína recombinante.

Virulência – Atributo ou habilidade de causar doença em um hospedeiro; patogenicidade.

Vírus – Partícula infecciosa composta de uma cápsula proteica e um ácido nucleico (DNA ou RNA) que depende de um organismo hospedeiro para sua replicação.

X

X_1, X_2 – Símbolos que denotam, respectivamente, a primeira e a segunda geração obtidas a partir de uma planta irradiada X_0.

Xênia – Manifestação fenotípica de determinado caráter de um indivíduo já no tecido materno, como o efeito do gameta masculino, no pólen, no embrião e no endosperma da semente.

Xenobiótico – Composto químico que não é produzido e tampouco pode ser degradado por organismos vivos.

Xenogenia – Transplante realizado com órgãos ou tecidos do doador de uma espécie diferente do receptor.

Y

YAC – Do inglês, *yeast artificial chromosome*. Cromossomo artificial de levedura, um vetor de clonagem para expressão de genes em um organismo eucariótico unicelular.

Z

Z-DNA – Forma de DNA na qual a hélice dupla é torcida à esquerda, em vez de à direita. O DNA adota a conformação Z quando purinas e pirimidinas se alternam em cada fita (por exemplo, 5'CGCGCGCG 3').

Títulos lançados

1998

Nº 1 – A pesquisa e o problema de pesquisa:
quem os determina?
Ivan Sergio Freire de Sousa

Nº 2 – Projeção da demanda regional de grãos no Brasil: 1996 a 2005
Yoshihiko Sugai, Antonio Raphael Teixeira Filho, Rita de Cássia Milagres Teixeira Vieira e *Antonio Jorge de Oliveira,*

1999

Nº 3 – Impacto das cultivares de soja da Embrapa e rentabilidade dos investimentos em melhoramento
Fábio Afonso de Almeida, Clóvis Terra Wetzel e
Antonio Flávio Dias Ávila

2000

Nº 4 – Análise e gestão de sistemas de inovação em organizações públicas de P&D no agronegócio
Maria Lúcia D'Apice Paez

Nº 5 – Política nacional de C&T e o programa de biotecnologia do MCT
Ronaldo Mota Sardenberg

Nº 6 – Populações indígenas e resgate de tradições agrícolas
José Pereira da Silva

2001

Nº 7 – Seleção de áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola, usando-se algoritmos genéticos
Jaime Hidehiko Tsuruta, Takashi Hoshi e *Yoshihiko Sugai*

Nº 8 – O papel da soja com referência à oferta de alimento e demanda global
Hideki Ozeki, Yoshihiko Sugai e *Antonio Raphael Teixeira Filho*

Nº 9 – Agricultura familiar: prioridade da Embrapa
Eliseu Alves

Nº 10 – Classificação e padronização de produtos, com ênfase na agropecuária: uma análise histórico-conceitual
Ivan Sergio Freire de Sousa

2002

Nº 11 – A Embrapa e a aqüicultura: demandas e prioridades de pesquisa
Júlio Ferraz de Queiroz, José Nestor de Paula Lourenço e *Paulo Choji Kitamura (Eds.)*

Nº 12 – Adição de derivados da mandioca à farinha de trigo: algumas reflexões
Carlos Estevão Leite Cardoso e *Augusto Hauber Gameiro*

Nº 13 – Avaliação de impacto social de pesquisa agropecuária: a busca de uma metodologia baseada em indicadores
Levon Yeganiantz e *Manoel Moacir Costa Macêdo*

Nº 14 – Qualidade e certificação de produtos agropecuários
Maria Conceição Peres Young Pessoa, Aderaldo de Souza Silva e *Cilas Pacheco Camargo*

Nº 15 – Considerações estatísticas sobre a lei dos julgamentos categóricos
Geraldo da Silva e *Souza*

Nº 16 – Comércio internacional, Brasil e agronegócio
Luiz Jésus d'Ávila Magalhães

2003

Nº 17 – Funções de produção – uma abordagem estatística com o uso de modelos de encapsulamento de dados
Geraldo da Silva e *Souza*

Nº 18 – Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazônia
Afonso Celso Candeira Valois

Nº 19 – Possibilidades de uso de genótipos modificados e seus benefícios
Afonso Celso Candeira Valois

2004

Nº 20 – Impacto de exportação do café na economia do Brasil – análise da matriz de insumo-produto
Yoshihiko Sugai, Antônio R. Teixeira Filho e *Elisio Contini*

Nº 21 – Breve história da estatística
José Maria Pompeu Memória

Nº 22 – A liberalização econômica da China e sua importância para as exportações do agronegócio brasileiro
Antônio Luiz Machado de Moraes

2005
Nº 23 – Projetos de implantação do desenvolvimento sustentável no Plano Plurianual 2000 a 2003 – análise de gestão e política pública em C&T
Marlene de Araújo

2006
Nº 24 – Educação, tecnologia e desenvolvimento rural – relato de um caso em construção
Elisa Guedes Duarte e *Vicente G. F. Guedes*

2007
Nº 25 – Qualidade do emprego e condições de vida das famílias dos empregados na agricultura brasileira no período 1992–2004
Otávio Valentim Balsadi

Nº 26 – Sistemas de gestão da qualidade no campo
Vitor Hugo de Oliveira, Janice Ribeiro Lima, Renata Tieko Nassu, Maria do Socorro Rocha Bastos, Andréia Hansen Oster e *Luzia Maria de Souza Oliveira*

2008
Nº 27 – Extrativismo, biodiversidade e biopirataria na Amazônia
Alfredo Kingo Oyama Homma

Nº 28 – A construção das alegações de saúde para alimentos funcionais
André Luiz Bianco

Nº 29 – Algumas reflexões sobre a polêmica agronegócio versus agricultura familiar
Ana Lúcia E. F. Valente

Nº 30 – Agricultura familiar versus agronegócio: a dinâmica sociopolítica do campo brasileiro
Sérgio Sauer

Nº 31 – O conteúdo social da tecnologia
Michelangelo Giotto Santoro Trigueiro

Nº 32 – Dimensões, riscos e desafios da atual expansão canavieira
Tamás Szmrecsányi, Pedro Ramos, Luiz Octávio Ramos Filho
e *Alceu de Arruda Veiga Filho*

Nº 33 – Procedimentos de sustentabilidade no sistema
de produção de grãos
Carlos Magri Ferreira

Nº 34 – A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico:
implicações conceituais e jurídicas
Altair Toledo Machado, *Juliana Santilli* e *Rogério Magalhães*

2009
Nº 35 – As indicações geográficas como estratégia mercadológica para
vinhos
Rogério Fabrício Glass e *Antônio Maria Gomes de Castro*

Nº 36 – Embrapa Brasil: análise bibliométrica dos artigos na Web of
Science (1977–2006)
Roberto de Camargo Penteado Filho e *Antonio Flavio Dias Avila*

Nº 37 – Estudo das citações dos artigos da Embrapa na Web of Science
de 1977 a 2006
Roberto de Camargo Penteado Filho e *Antonio Flavio Dias Avila*

2010
Nº 38 – Rumo a uma sociologia da agroenergia
Ivan Sergio Freire de Sousa

Nº 39 – Fatores de influência no preço do milho no Brasil
Carlos Eduardo Caldarelli e *Mírian Rumenos Piedade Bacchi*

2011
Nº 40 – Questões críticas em validação de métodos analíticos
Elisabeth Borges Gonçalves, Ana Paula Guedes Alves
e Paula Alves Martins

Nº 41 – Agricultura de montanha: uma prioridade latente na agenda da
pesquisa brasileira – *Amazile López, Adriana Maria de Aquino* e
Renato Linhares de Assis

Nº 42 – Agricultura familiar: é preciso mudar para avançar
Zander Navarro e *Maria Thereza Macedo Pedroso*

2012
Nº 43 – Fatores limitantes à expansão dos sistemas produtivos de palma na Amazônia
Marivânia Garcia da Rocha e *Antônio Maria Gomes de Castro*

2015
Nº 44 – Modelo conceitual para transferência de tecnologia na Embrapa: um esboço
Alberto R. Cavalcanti

2016
Nº 45 – Assentamentos rurais no Brasil: uma releitura
Paulo Freire Mello

Instruções aos autores

Processo editorial: submissão de originais e informações gerais

Processo editorial

Os originais submetidos à série *Texto para Discussão* passam, a princípio, por uma avaliação vestibular na editoria. Formula-se, nessa etapa, um juízo de admissibilidade depois de conferido se o artigo atende aos requisitos formais para sua admissão no processo editorial. Posteriormente, mediante correspondência a Editoria comunica o resultado ao(s) autor(es).

No caso de admissão nessa etapa vestibular, os originais são submetidos à avaliação de editores associados (pareceristas), que, após analisarem tanto a forma quanto o conteúdo do artigo, enviam à editoria o resultado da avaliação.

De posse da avaliação dos pareceristas, a editoria elabora um comunicado síntese endereçado ao autor, ou ao primeiro autor, cientificando-lhe a decisão, que consistirá em uma das três possibilidades a seguir: **aprovação plena**; **aprovação parcial**, com recomendação de ajustes e/ou de correções; ou **rejeição**.

No caso de aprovação parcial, depois de feitos as correções e os ajustes solicitados pela editoria, o autor, ou primeiro autor, devolve-lhe o trabalho para verificação da pertinência das modificações processadas. Se aprovada, a nova versão do artigo é repassada para a revisão de textos e referências.

O artigo revisado retorna então para a editoria, que define se ela própria valida a revisão, ou se é o caso de enviá-la ao autor, ou ao primeiro autor, para que ele(s) valide(m) as alterações, as sugestões e as recomendações feitas pelos revisores. Caso a validação seja encaminhada ao(s) autor(es), este(s) deve(m) retornar a versão validada para a editoria, com as respectivas posições.

Cabe à editoria fazer uma nova verificação da versão revisada validada; manifestar-se a respeito dela, se necessário; e, posteriormente, repassar todo o material para finalização e impressão gráfica.

Orientações relativas à preparação e à apresentação dos originais

Quanto à **forma** – Independentemente do número de autores, da complexidade ou da extensão do tema em enfoque, para ser editado na série o artigo original deve ser único e inédito.

O texto deve ser digitado em Word, em papel no formato A4, com margens superior e lateral direita de 3 cm, e inferior e lateral esquerda de 2,5 cm. O espaçamento entre linhas e o de recuo de parágrafo devem ser ambos de 1,5 cm. Além disso, o artigo deve ser redigido em fonte Times New Roman, e em corpo 12; com número de páginas (numeradas sequencialmente em algarismos arábicos) limitado entre 30 e 200 (já com a inclusão de tabelas, figuras e referências).

Autores que operam programas de edição de texto diferentes do padrão Microsoft (como o BrOffice.org) devem ter o cuidado de gravar o material a ser enviado para submissão no formato documento (*.doc).

Quanto ao **estilo** – O texto deve ser escrito em linguagem técnico-científica. Não deve ter a forma de um relatório e tampouco de um artigo de opinião destinado à mídia, por exemplo.

Devem ser enviadas, à editoria, quatro cópias impressas do arquivo original, assim como o seu arquivo eletrônico gravado em CD (preferencialmente).

No arquivo eletrônico, e em uma das cópias impressas, deve constar o nome completo e demais dados que possibilitem a identificação do(s) autor(es). Nas outras três cópias impressas, no entanto, esses elementos devem ser excluídos.

Quanto à **especificação de autoria** – No rol de autores, o nome completo de cada um deles deve ser separado por vírgulas, e limitar-se a um máximo de 160 (cento e sessenta) caracteres, incluídos os espaços entre palavras. Portanto, se necessário, os próprios autores devem abreviar seu nome e sobrenome de modo a respeitar esse limite.

As nota(s) de rodapé (uma para cada autor), que deve(m) constar da primeira página do artigo, deve(m) apresentar a **qualificação dos autores**. Tal(is) nota(s) deve(m) ser vinculada(s) ao nome do(s) autor(es) e conter: formação e grau acadêmico, tipo de vínculo institucional (se for o caso), endereço postal completo e endereço eletrônico.

Na primeira nota de rodapé, vinculada ao titulo geral, a editoria recomenda registrar informação sobre a procedência do artigo, caso ele tenha se originado de um trabalho anterior: monografia, dissertação, tese, livre docência, pós-doutoramento, projeto de pesquisa encerrado ou em andamento, entre outros.

Quanto à **estrutura** – O artigo deve conter, ordenados, os seguintes elementos: título geral, autoria, resumo e termos para indexação, título em inglês, *abstract* e *index terms*, introdução, desenvolvimento (em que o conteúdo deve ser hierarquizado em subtítulos), conclusões e referências (bibliográficas, eletrônicas, pictográficas, entre outras, que contenham, exclusivamente, as fontes citadas).

As partes "desenvolvimento" e "conclusões" devem estar claramente definidas; entretanto, não precisam, necessariamente, ser assim intituladas.

Especificações importantes

Título: Deve ser claro e objetivo, sintetizar o conteúdo e ser grafado com, no máximo, 83 (oitenta e três) caracteres, incluídos os espaços entre palavras.

Resumo: Deve vir na primeira página, logo abaixo do título e da indicação de autoria, e ser grafado com, no máximo, 300 (trezentas) palavras, incluindo-se artigos, preposições e conjunções.

Deve ser redigido com frases curtas, claras e objetivas, que enfoquem o objetivo central do trabalho, os métodos empregados na pesquisa (se for o caso), além de seus resultados e conclusões. É altamente recomendável evitar, no resumo, citações bibliográficas, agradecimentos e siglas.

Termos para indexação: Logo após o resumo devem vir citados de 3 (três) a 5 (cinco) termos para indexação, que possam ser empregados, se necessário, na composição da ficha de catalogação. Deve-se evitar a seleção de palavras que já constem do título do artigo e da série, bem como do nome dos autores.

Title, abstract e index terms: Logo após a apresentação, em português, do título, do resumo e dos termos para indexação, deve vir a tradução de todos esses elementos para o idioma inglês.

Notas de rodapé: Devem ser em número reduzido e constar da mesma página de sua chamada, cuja indicação deve ser feita por número em algarismo arábico e sobrescrito. Recomenda-se que seu texto – que deve vir grafado no pé da página, sob um fio – seja de natureza substantiva (e não bibliográfica).

Citações: Tanto as diretas quanto as indiretas devem ser feitas em conformidade com normas da ABNT.

Referências: São indicações de dados completos de obras citadas ao longo do artigo, as quais devem ser elaboradas em conformidade com normas da ABNT.

Figuras: São gráficos, desenhos, mapas, fotografias, lâminas ou outras formas pictográficas usadas no trabalho, as quais devem ser produzidas em escala de cinza. Devem ser numeradas em algarismos arábicos e em ordem sequencial, trazer legenda elucidativa em que, além das especificações próprias, contenham também título, fonte e/ou, se for o caso, crédito (nome de fotógrafo, ilustrador, etc.). Nos gráficos, as designações das variáveis dos eixos X e Y devem ter iniciais maiúsculas, e devem ser seguidas das unidades entre parênteses.

Tabelas: Devem ser produzidas em escala de cinza, e, se for o caso, com diferenciação com cores; e ser numeradas em algarismos arábicos. Além disso, devem ter tanto sua chamada quanto sua inserção em ordem sequencial no texto, e conter fonte e títulos (geral e de cada coluna).

Orientações para o envio dos artigos

O documento de encaminhamento dos originais para submissão, análise e seleção na série deve ser em forma de **carta,** assinada pelo autor, ou pelo primeiro autor, na qual devem constar:

- Título do trabalho.
- Nome completo do(s) autor(es), seguido da indicação dos seguintes dados: formação e grau acadêmico, tipo de vínculo institucional (se for o caso), endereço institucional completo e endereço eletrônico.
- Concordância expressa do(s) autor(es) em relação à submissão do trabalho.
- Declaração de que o trabalho é original e de que não foi submetido à edição em outra publicação, quer seja impressa, quer seja eletrônica.

- Autorização para que, na condição de detentora dos direitos patrimoniais de artigo editado da série *Texto para Discussão*, assim como de garantidora de direitos morais de seu(s) autor(es), a Embrapa possa:

  a) Reproduzi-lo por qualquer meio, a qualquer tempo, em qualquer suporte físico, no todo ou em parte.

  b) Divulgá-lo e publicá-lo.

  c) Utilizá-lo de forma onerosa ou não, sem limite de quantidade de exemplares, de impressão ou de edição.

  d) Disponibilizá-lo na internet.

  e) Autorizar terceiro a praticar quaisquer dos atos relacionados nos itens anteriores.

Os artigos devem ser encaminhados para o seguinte endereço:

Série *Texto para Discussão*
Editoria
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)
Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD)
Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4451
Fax: (61) 3448-4887
textoparadiscussao@embrapa.br

Impressão e acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

O papel utilizado nesta publicação foi produzido conforme a certificação do Bureau Veritas Quality International (BVQI) de Manejo Florestal.

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Texto para Discussão

Ministério da
Agricultura, Pecuária e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 12822