

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA CIÊNCIA

HELENA MARIA SALLA

ESTUDOS CTS E TRANSGENIA: ANÁLISE DE
MATERIAIS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO

BAURU - SP
2016

HELENA MARIA SALLA

**ESTUDOS CTS E TRANSGENIA: ANÁLISE DE
MATERIAIS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado submetida como pré-requisito final para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós Graduação em Educação para Ciência da Faculdade de Ciências, UNESP/Campus Bauru sob a orientação do Prof. Dr. Danilo Rothberg.

BAURU - SP

2016

Salla, Helena Maria.

Estudos CTS e transgenia: análise de materiais didáticos do ensino médio / Helena Maria Salla, 2016

219 f. il.

Orientador: Danilo Rothberg

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2016

1. Estudos CTS. 2. Livro didático. 3. Transgênicos. 4. Letramento científico. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



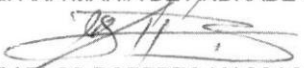
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE HELENA MARIA SALLA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS.

Aos 25 dias do mês de fevereiro do ano de 2016, às 09:30 horas, no(a) Sala 01 do Prédio da Pós-graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. DANILO ROTHBERG - Orientador(a) do(a) Departamento de Ciências Humanas / UNESP - FAAC- Campus Bauru, Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. CARLOS ROBERTO MASSAO HAYASHI do(a) Centro de Educação e Ciências Humanas, Departamento de Ciências da Informação / Universidade Federal de São Carlos, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de HELENA MARIA SALLA, intitulada **ESTUDOS CTS E TRANGENIA: ANÁLISE DE MATERIAIS DIDÁTICOS PARA O ENSINO MÉDIO.**

Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. DANILO ROTHBERG


Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA


Prof. Dr. CARLOS ROBERTO MASSAO HAYASHI

HELENA MARIA SALLA

**ESTUDOS CTS E TRANSGENIA: ANÁLISE DE
MATERIAIS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, Área de concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Danilo Rothberg
UNESP – Campus Bauru

Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira
UNESP – Campus Bauru

Prof. Dr. Carlos Roberto Massao Hayashi
Universidade Federal de São Carlos

Bauru, 25 de fevereiro de 2016

RESUMO

Os materiais didáticos utilizados pelos professores de Biologia são fundamentais no planejamento e realização de suas aulas. Em particular no Ensino Médio, a educação científica com ênfase nas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) poderá ser alcançada com materiais adequados, voltados para o letramento científico do aluno. Esta pesquisa caracterizou a contextualização do tema da transgenia no âmbito de materiais didáticos da disciplina de Biologia em relação a pressupostos dados pelos Estudos CTS. Os objetivos específicos foram: a) identificar a existência de perspectivas relevantes no âmbito dos Estudos CTS no conteúdo didático acerca de alimentos transgênicos; b) interpretar como as abordagens sobre produção, distribuição e consumo de alimentos transgênicos presentes nos materiais analisados podem contribuir para a formação da cidadania; c) sugerir, a partir da identificação de oportunidades de aperfeiçoamento do conteúdo didático dos materiais didáticos e das contribuições da literatura especializada, aspectos a serem contemplados pelos materiais analisados a fim de proporcionar uma formação para o exercício da cidadania no contexto dos Estudos CTS. A metodologia utilizada foi a análise de conteúdo, com o estabelecimento de 18 categorias de avaliação de cinco coleções de livros didáticos de Biologia. Os resultados sugerem que as coleções de livros analisadas apresentam predominantemente uma abordagem dos benefícios do desenvolvimento de transgênicos, proporcionando poucas relações com conteúdos CTS envolvidos.

Palavras-chave: Estudos CTS, letramento científico, livro didático, transgênicos.

ABSTRACT

Course materials used by biology teachers are a fundamental part of the design and support of their classes. In secondary schools in particular, science education with emphasis on the relationships between Science, Technology and Society (STS) can be achieved with adequate materials, focused on the scientific literacy. This study characterized the contextualization of approaches related to genetically modified organisms within biology teaching materials concerning assumptions given by the STS studies. The specific objectives were: a) to identify the existence of relevant perspectives in the context of the STS studies in the educational content about transgenic food; b) to interpret how production, distribution and consumption of transgenic food are represented in the analyzed materials and how it could contribute to citizenship education; c) to suggest, benefiting from the identification of opportunities for the improvement of educational content in the teaching materials and the contributions of the specialized literature, issues to be addressed in the analyzed material in order to provide education for citizenship within the context of STS studies. The methodology used was content analysis with the establishment of 18 assessment categories to be analyzed in five collections of materials of biology. The results suggest that the analyzed collections of books predominantly focused on the benefits of the development of genetically modified organisms, providing few relationships with related STS content.

Keywords: STS studies , scientific literacy, teaching materials, genetically modified organisms.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

COLTED - Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

FAE – Fundação de Assistência ao Estudante

FENAME –Fundação Nacional de Material Escolar

FNDE – Fundação Nacional do Desenvolvimento da Educação

INL – Instituto Nacional do Livro

PISA – Programa de avaliação internacional de estudantes

Plidef – Programa do livro didático para o Ensino Fundamental

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

Prouni – Programa Universidade para todos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Ser Protagonista”.p. 60

Tabela 2: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 2, da coleção “Bio”p. 68

Tabela 3: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Conexões com a Biologia”p. 75

Tabela 4: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 4 das apostilas de Biologia do “Sistema Ético”.p.82

Tabela 5: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3 da coleção “Biologia hoje”p.87

Tabela 6: Resultado da análise dos dados dos livros selecionados para o Ensino de Biologia no Ensino Médio.....p.95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reprodução do quadro “Biologia se discute”, Capítulo 8, Livro Ser Protagonista, Volume 3, 2013, p. 117.....	p.63
Figura 2: Reprodução do quadro Saiba mais, Capítulo 8, Livro Ser Protagonista, Volume 3, 2013, p. 120.....	p.64
Figura 3: Reprodução de figuras do Capítulo 9, Livro “Bio”, Volume 2, 2013, p. 265.....	p.70
Figura 4: Figura 4: Reprodução de atividade do Capítulo 9, Livro Bio, Volume 2, 2013, p. 271.....	p.72
Figura 5: Reprodução de quadro complementar sobre pesquisas no livro “Conexões com a Biologia”, Volume 3, 2013, p.77.....	p.77
Figura 6: Reprodução do quadro “Valores e Atitudes” do livro “Conexões com a Biologia”, Volume 3, 2013, p.91.....	p.79
Figura 7: Reprodução de parte do texto da aula BC13/14, Volume4, Sistema Ético, 2013, p.27.....	p.83
Figura 8: Reprodução de parte do texto da aula BC13/14, Volume 4,Sistema Ético, 2013, p. 28.....	p.84
Figura 9: Reprodução da figura 7.1, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.93.....	p.88
Figura 10: Reprodução do quadro Biologia tem história, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.96.....	p.89
Figura 11: Reprodução do quadro “Trabalho em equipe”, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.106.....	p.91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Ser Protagonista”.....p.66

Gráfico 2: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 2, da coleção “Bio”p.73

Gráfico 3: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Conexões com a Biologia”.....p.79

Gráfico 4: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 4 das apostilas de Biologia do “Sistema Ético.....p.85

Gráfico 5: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3 da coleção “Biologia hoje”p.93

Gráfico 6: Número de categorias presentes resultantes da avaliação de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia em cinco coleções selecionadas de livros didáticos para o Ensino de Biologia.....p.94

Gráfico 7: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia na parte teórica de cinco coleções selecionadas de livros didáticos para o Ensino de Biologia.....p.98

Gráfico 8: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia na parte de atividades de cinco coleções de livros didáticos para o Ensino de Biologia.....p.98

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre esteve presente me apoiando na realização desta pesquisa, em especial ao meu pai, Carlos Tadeu Salla, pelo seu apoio e incentivo a minha formação profissional desde o início da graduação, sua compreensão e auxílio foram fundamentais para que eu alcançasse todos meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Drº Danilo Rothberg por toda colaboração, paciência, atenção, disponibilidade e aprendizado proporcionado a partir da realização desta pesquisa.

Ao Cursinho Ferradura Mirim, por ter sido durante todos esses anos um espaço de grande aprendizado, possibilitando diferentes atividades que culminaram com o meu crescimento como professora e pesquisadora, além da gratidão a todos meus colegas de extensão e meus alunos que sempre me ensinaram muito no dia-a-dia.

Aos meus colegas da graduação e pós-graduação que sempre foram presentes nas incontáveis discussões sobre educação, na divisão das possíveis preocupações e na fundamental convivência em Bauru, em especial a Isabela Beraldo pelo auxílio pessoal e acadêmico desde o meu ingresso até a finalização desta pesquisa.

Aos professores membros da banca examinadora pelas contribuições a esse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	p.11
2. REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	p.16
2.1 NATUREZA DA CIÊNCIA.....	p.16
2.2 LETRAMENTO CIENTÍFICO.....	p.24
2.2.1 Importância social da educação científica.....	p.24
2.2.2 Letramento ou alfabetização?	p.25
2.2.3 Avaliação em larga escala.....	p.28
2.3 ESTUDOS E EDUCAÇÃO CTS.....	p.33
2.3.1 Estudos CTS.....	p.33
2.3.2 Educação CTS.....	p.35
2.4 LIVRO DIDÁTICO	p.39
2.4.1 Relevâncias do livro didático na sala de aula.....	p.39
2.4.2 Trabalhos sobre livro didático e o Ensino de Ciências.....	p.44
2.5 ENSINO DE BIOTECNOLOGIA.....	p.47
3. METODOLOGIA.....	p.51
3.1 Escolha do material analisado.....	p.52
3.2 Estabelecimento das categorias de análise.....	p.53
4. RESULTADOS.....	p.59
4.1 Livro 1: Ser Protagonista, Edições SM, volume 3, 2013.....	p.59
4.2 Livro 2: Bio, Editora Saraiva, volume 2, 2013.....	p.67
4.3 Livro 3: Conexões com a Biologia, Editora Moderna, volume 3, 2013.....	p.74
4.4 Livro 4: Apostilado Ético (Cursinho), Editora Saraiva, volume 4, 2013.....	p.81
4.5 Livro 5: Biologia Hoje, Editora Ática, volume 3, 2013.....	p.86
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	p.94
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	p.100
7. REFERÊNCIAS.....	p.104
ANEXO 1	p. 111
ANEXO 2.....	p. 113
ANEXO 3: Livro 1: Ser Protagonista, Edições SM, volume 3, 2013.....	p. 115
ANEXO 4: Livro 2: Bio, Editora Saraiva, volume 2, 2013.....	p. 135

ANEXO 5: Livro 3: Conexões com a Biologia, Editora Moderna, volume 3, 2013.....p. 159

ANEXO 6: Livro 4: Apostilado Ético (Cursinho), Editora Saraiva, volume 4, 2013.....p. 184

ANEXO 7: Livro 5: Biologia Hoje, Editora Ática, volume 3, 2013p. 205

1. INTRODUÇÃO

Os Estudos Sociais em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) enfatizam a relevância de formar cidadãos que sejam aptos a engajar-se nos contextos democráticos de formulação, execução, avaliação e monitoramento de políticas públicas. Essa formação poderá ser alcançada por meio de aperfeiçoamentos que incluem currículos e materiais voltados para o letramento científico dos cidadãos.

A presença de elementos que proporcionem letramento científico nos materiais didáticos pode contribuir para facilitar a compreensão do papel da produção de ciência e tecnologia como meio de inclusão social e sustentabilidade. Temas de áreas como biotecnologia, em particular, em função de sua complexidade que envolve aspectos éticos, políticos e econômicos, podem ser explorados didaticamente a fim de fundamentar a percepção sobre as esferas de decisão pública subjacentes à pesquisa científica.

Os materiais didáticos são amplamente utilizados pelos professores em sala de aula, como material de apoio para o preparo e execução de atividades pedagógicas e, por isso, podem conter aspectos que incentivem discussões acerca da influência que o desenvolvimento científico e tecnológico exerce sobre a sociedade.

Nesse sentido, esta Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), foi delineada a partir do objetivo geral de caracterizar a contextualização do tema da transgenia em materiais didáticos da disciplina de Biologia no Ensino Médio em relação a pressupostos dados pelos Estudos CTS.

Os objetivos específicos são:

- a) identificar a existência de perspectivas relevantes no âmbito dos Estudos CTS no conteúdo didático acerca de alimentos transgênicos;
- b) analisar como as abordagens sobre produção, distribuição e consumo de alimentos transgênicos presentes nos materiais analisados podem contribuir para a formação da cidadania;
- c) sugerir, a partir da identificação de oportunidades de aperfeiçoamento do conteúdo didático dos materiais didáticos e das contribuições da literatura especializada, aspectos a serem contemplados pelos materiais ana-

lisados a fim de proporcionar uma formação para o exercício da cidadania no contexto dos Estudos CTS.

Em busca de uma justificativa para o surgimento das questões problematizadoras que nortearam a delimitação do meu problema de pesquisa, comento aspectos da minha trajetória acadêmica.

Durante a graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas (2009-2012), atuei como professora do Cursinho Pré-vestibular Ferradura Mirim, continuando a participação neste projeto durante a realização do mestrado, de forma voluntária, totalizando seis anos como professora da disciplina de Biologia, nas turmas de extensivo e semi-extensivo no período noturno, no referido cursinho.

O Cursinho Ferradura Mirim é um projeto de extensão da Faculdade de Ciências da Unesp em Bauru, vinculado a Pró-Reitoria de Extensão (Proex) que, desde 2008, mantém um convênio com diversas faculdades da Unesp para a existência dos cursinhos. O Cursinho Ferradura Mirim existe desde 2006, através da iniciativa de professores do Departamento de Educação que iniciaram uma turma de auxílio pré-vestibular na comunidade Favela Ferradura Mirim. Após esse período, o cursinho funcionou em escolas públicas da região e, a partir de 2011, passou a existir apenas dentro do campus da Unesp em Bauru. Atualmente, o Cursinho Ferradura Mirim oferece 280 vagas, sendo 200 vagas no campus da Unesp em Bauru, nos períodos da manhã, tarde e noite e 80 vagas na cidade de Agudos, através de uma parceria com a prefeitura local (MARQUES, ZANATA e SALLA, 2015).

Durante os seis anos como professora de Biologia, pude desenvolver diversas práticas voltadas à aprendizagem significativa dos conteúdos pelos alunos, incluindo experiências de colocar em prática o que estava sendo aprendido na faculdade e na pós-graduação, aprimorando, desta maneira, meu perfil como educadora. A experiência como professora do Cursinho me possibilitou uma aproximação com a área da pesquisa em educação e, desta maneira, questões que eram levantadas na prática docente puderam se transformar no meu problema de pesquisa do mestrado.

O tema dos transgênicos é abordado seguindo o material utilizado no Cursinho Ferradura Mirim como o último tema a ser lecionado, após diversos conteúdos pragmáticos já terem sido trabalhados, como genética ou citologia. No entanto, o tema dos transgênicos é transversal, também abordado por professores de outras disciplinas, como redação ou geografia.

Em 2014, ainda no primeiro ano de mestrado, realizei com os alunos da turma noturna uma atividade antes de iniciar a aula programada para o tema. Comprei diversos produtos transgênicos no mercado e espalhei na frente da sala, desde óleo de soja a sucrilhos ou bolachas. Os alunos foram então questionados se consumiam aqueles produtos ali expostos, e grande maioria da turma, na época aproximadamente 80 alunos, afirmou consumir os produtos expostos. Após essa parte, perguntei a eles se eram a favor da pesquisa e produção de transgênicos e se consumiam alimentos transgênicos, e a sala ficou dividida, não havendo grande contraste visual como na questão anterior. Após essa atividade, muitos alunos afirmaram não saber identificar no rótulo dos alimentos se eles eram de origem transgênica ou não, e diversos outros questionamentos foram surgindo.

Em 2015, eu repeti esta atividade, aplicando um questionário simples para o levantamento de alguns dados, na tentativa de encaminhar a análise do material didático, que é o meu objeto de pesquisa. O questionário, disponível no Anexo 1, era fechado e o aluno assinalava o grau de concordância ou discordância com as seis afirmações abaixo:

1. Geralmente considero mais as aulas de biologia e menos os meios de comunicação, incluindo a internet, como fonte de informações sobre transgênicos.
2. Eu sei identificar por meio das informações no rótulo dos produtos no supermercado quais alimentos são transgênicos.
3. Os organismos transgênicos podem causar impacto sobre a biodiversidade dos ecossistemas onde forem introduzidos.
4. O desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos atende mais aos interesses das indústrias e menos os interesses dos consumidores.
5. O cultivo dos alimentos transgênicos pode aumentar a utilização de agrotóxicos.
6. O consumo de alimentos transgênicos pode trazer riscos à saúde do consumidor.

A análise da resposta dos alunos possibilitou elucidar algumas dúvidas em relação a conhecimentos básicos dos alunos sobre o tema, como, por exemplo, qual fonte de informação era preferida por eles. Dos 72 alunos que responderam o questionário na aula, 50% concordaram parcial ou totalmente com a afirmação de número 1, ou seja, levava mais em consideração as aulas de Biologia do que outros

meios como fonte de informação, sendo a outra metade neutra ou em discordância. Já para a questão de número 2, 44,4% afirmaram saber corretamente identificar os produtos transgênicos no supermercado. Para as questões de número 3 e 4, quase 90% em ambas se mostraram favoráveis à afirmação. Já para as questões 5 e 6, mais de 50% concordaram com ambas.

A tabela com as respostas dos alunos e os gráficos de análise dos resultados da aplicação desse questionário podem ser verificados no Anexo 2.

Durante a realização desta e outras atividades em sala de aula, os alunos do Cursinho, que são 100% oriundos da rede pública de ensino, sempre recorriam ao material didático em busca de respostas, mesmo antes de perguntar a mim no papel de professora. Essa dependência do livro didático, assim como a avaliação de sua qualidade e utilização pelo professor, se transformaram então no objeto dessa pesquisa de mestrado, que estendeu a coleta de dados a outros livros didáticos, distribuídos pelo Programa Nacional do Livro Didático, totalizando cinco coleções de livros didáticos, selecionadas para esta pesquisa por sua ampla disponibilidade entre instituições de ensino contatadas.

No Capítulo 2, apresentamos o levantamento bibliográfico que fundamentou o estabelecimento dos critérios de análise do material didático. A seção 2.1 abordou a importância da inclusão de elementos sobre a natureza do conhecimento científico para o aluno, assim como as principais concepções encontradas sobre o tema. A inclusão de aspectos históricos que auxiliem a compreensão da natureza do conhecimento científico por parte dos alunos é um dos meios para a consolidação de currículos e materiais voltados para o letramento científico, assunto discutido na seção 2.2. Na seção 2.3 serão apresentados os Estudos Sociais em CTS e a sua abordagem educacional, em busca de compreender quais mudanças na conjuntura política e econômica das populações fizeram com que a sociedade iniciasse discussões acerca das consequências do desenvolvimento científico e tecnológico, bem como a forma com que essas discussões podem ser incluídas na formação básica educacional. Já na seção 2.4, são enfocados a importância da produção de livros de qualidade para o ensino, a trajetória histórica do livro didático no Brasil e o levantamento de trabalhos sobre livros didáticos, além do Ensino de Ciências e os Estudos CTS. A seção 2.5 examina a importância do ensino deste tema na educação básica.

Os aspectos metodológicos utilizados na pesquisa são apresentados no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresenta os resultados da análise de conteúdo das cinco co-

leções de materiais didáticos selecionadas para a pesquisa. A discussão dos resultados está no Capítulo 5 onde foi possível através da análise comparativa entre as coleções analisadas encontrar padrões de presença e ausência de determinadas categorias.

No Capítulo 6, apresentamos as considerações finais do trabalho. Foi possível verificar que as coleções de livros analisadas, em geral, possuem perspectivas relevantes no âmbito dos Estudos CTS para o tema da transgenia. Mas um grande número de informações relacionadas aos Estudos CTS foi abordada em quadros complementares e não no texto principal, o que sugere o enfoque secundário a esses assuntos. E a abordagem predominante foi a de evidenciar os alegados benefícios do desenvolvimento desta tecnologia, em detrimento do tratamento de potenciais riscos e polêmicas envolvidos.

Verificamos nessa pesquisa que o livro didático de Biologia, no enfoque sobre o tema da transgenia, apresenta oportunidades de aperfeiçoamento para que contribua em sala de aula para a formação crítica do aluno.

Nos Anexos 3, 4, 5, 6 e 7, reproduzimos na íntegra os capítulos dos livros utilizados para a realização desta pesquisa.

2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

2.1 Natureza da ciência

Esta seção analisa como a inclusão de aspectos da Natureza da Ciência no material didático utilizado para o ensino de ciências pode contribuir para fomentar a compreensão da relação da sociedade com questões tecnocientíficas e epistemológicas. Também enfoca as reflexões sobre a Natureza da Ciência no ensino a partir do estudo de trabalhos que levantam as concepções do assunto por parte de alunos e professores.

O acesso à educação para todos os cidadãos está assegurado na Constituição brasileira. “A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (BRASIL, 1988, art.205). No entanto, para Machado (2002), apesar de o conceito de formação cidadã estar sempre no cerne dos discursos educacionais, envolve um processo ainda em construção. “É necessário preencher o espaço entre o discurso e a ação, semeando projetos, que visem efetivamente à construção da cidadania através da educação” (MACHADO, 2002 p.7).

A formação cidadã do indivíduo pode ser alcançada através da educação científica, já que diferentes estratos sociais são afetados pela ciência, e a sua compreensão estará ligada à interpretação e análise das relações entre ciência e sociedade. As consequências da atividade científica influenciam toda a sociedade e, por isso, seu enfoque não diz respeito apenas aos cientistas (SANTOS;MORTIMER, 2001). A atividade científica é influenciada por interesses sociais e políticos, não podendo ser considerada neutra, e seu desenvolvimento está relacionado com aspectos econômicos, culturais e ambientais.

Desta maneira, o ensino de ciências nas escolas se torna fundamental para que os alunos compreendam os processos e fatores que podem influenciar o desenvolvimento científico e tecnológico. Porém, sabe-se que o ensino de ciências acontece, com frequência, de forma descontextualizada, superficial e não estimula o interesse dos alunos no processo científico (SANTOS, 2007), já que as instituições de ensino básico no Brasil tendem a simplificar os conteúdos de ciências às abor-

dagens que seriam mais necessárias para a resolução de provas de seleção para o ingresso ao ensino superior.

Nas escolas, o objetivo do ensino de ciências tem sido priorizar o “produto final da atividade científica (fatos, conceitos, teorias, modelos, leis, etc.)” (BASTOS, 1998, p.7), omitindo-se o processo pelo qual os cientistas construíram o conhecimento científico, a conjuntura política e econômica da época, as possíveis dificuldades encontradas e demais fatores que possam, de alguma forma, ter influenciado a atividade científica.

A interação entre os setores científicos, tecnológicos e sociais deve ser estudada no interior das escolas, local onde, segundo Scarpa (2009), a cultura científica é acessada pela cultura escolar e molda a apropriação dos seus argumentos por meio da linguagem. A autora sustenta a ideia de que a distância presente entre as duas culturas poderá diminuir se o ensino de ciências for contextualizado, abordando a natureza do conhecimento científico.

Segundo Praia et al (2007), os currículos atuais estão sendo construídos com base nos conceitos científicos que supostamente devem ser aprendidos pelo aluno, e não nos processos de construção da ciência. A visão limitada que os alunos apresentam acerca da natureza do conhecimento científico se torna um problema epistemológico, já que os professores de ciências são os transmissores dessa visão, pois tendem a não praticar os métodos científicos e apenas transmitir aspectos fragmentados da construção do conhecimento.

Essa abordagem de ciência que ainda é identificada em processos de ensino e aprendizagem da educação básica e do ensino superior reforça a importância da inclusão da Natureza da Ciência para a compreensão mais abrangente da educação científica, contribuindo desta maneira para a formação cultural do indivíduo e a construção da cidadania e da democracia (BASTOS, 1998; TOBALDINI et al., 2011).

O ensino descontextualizado pode desenvolver uma concepção distorcida, segundo a qual a ciência “é apenas um corpo organizado de conhecimentos, ignorando que por detrás dos conhecimentos existe um processo dinâmico de construção que é influenciado por vários fatores” (SCHEID et al., 2007, p. 168).

Pesquisas sobre as concepções de alunos e professores acerca da Natureza da Ciência indicam evidências de que o ensino de ciências nem sempre adquire a contextualização adequada.

Scheid et al.(2009) realizaram uma pesquisa a fim de verificar as concepções acerca da natureza da ciência na formação inicial e indicam que muitos estudantes não possuem uma imagem de ciência condizente com os objetivos da educação científica. A maioria dos estudantes que participaram do estudo (70%) entende que a ciência é um corpo organizado de conhecimentos, desconsiderando a existência de um processo dinâmico inserido em um contexto sócio-histórico-cultural.

Gil-Perez et al. (2001) buscaram sistematizar, a partir de trabalhos científicos da área, quais são as principais concepções acerca de ciência e como o ensino básico está contribuindo para sua transmissão. É possível verificar sete grandes visões deformadas acerca das ciências que aparecem nos trabalhos analisados:

- a) Visão empírico-indutivista e ateórica, segundo a qual a observação e a experimentação são o principal eixo da produção de hipóteses e conhecimento (empirismo extremo);
- b) Visão rígida, exata, que impõe o método científico como uma sequência de passos que, se seguidos, levarão o cientista ao sucesso em seus resultados. É uma visão dogmática da ciência;
- c) Visão aproblemática e ahistórica (ou dogmática e fechada), segundo a qual a omissão dos aspectos históricos faz com que os alunos não compreendam que todo problema científico parte de perguntas, dificuldades ou problemas;
- d) Visão analítica, segundo a qual a ciência se apresenta seccionada e os conhecimentos não se unificam, não apresentam relação um com o outro;
- e) Visão acumulativa de crescimento linear, segundo a qual a evolução da ciência acontece de forma linear, sem levar em consideração os processos de mudança de uma teoria para outra;
- f) Visão individualista, elitista e masculina;
- g) Visão socialmente neutra, segundo a qual a ciência não se relaciona com a tecnologia e a sociedade, compondo uma imagem descontextualizada.

Harres (1999), em uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que analisam as concepções acerca da Natureza da Ciência, levanta que as mais recorrentes inadequadas concepções são:

A consideração do conhecimento científico como absoluto; a ideia de que o principal objetivo dos cientistas é descobrir leis naturais e ver-

dades; lacunas para entender o papel da criatividade na produção do conhecimento; lacunas para entender o papel das teorias e sua relação com a pesquisa; incompreensão da relação entre experiências, modelos e teorias (HARRES, 1999, p.198).

Estes trabalhos sugerem que muitos professores e estudantes ainda carregam uma visão descontextualizada de ciência. É possível concluir que se transmite “uma imagem empirista da ciência, apoiada fortemente no papel da observação e na produção do conhecimento através de um método único: o método científico” (HARRES, 1999, p.205).

Diante da problemática apresentada, diversas pesquisas buscam solucionar os problemas identificados no ensino de ciências através da inserção de discussões históricas e epistemológicas relacionadas à natureza do conhecimento científico (SCHEID, 2006).

A atividade científica influencia o meio físico e social onde está inserida, assim como é influenciada pelos problemas sociais e o momento histórico do qual faz parte (PRAIA et al., 2007). Currículos que levem em consideração a Natureza da Ciência contribuirão para que o aluno compreenda mais satisfatoriamente os pressupostos da natureza do conhecimento científico (BASTOS, 1998).

O professor de ciências deverá proporcionar ao aluno a compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência. Isso será possível caso ele ofereça condições para que o aluno não se restrinja ao conhecimento fixo que está colocado no material didático, de maneira superficial. A formação do professor para que esse objetivo seja alcançado deverá estar acrescida de discussões filosóficas e históricas relevantes para tal objetivo (SCHEID et al., 2007).

Estimular a reflexão sobre estas questões através de atividades pedagógicas exige ir além das visões de que os conhecimentos científicos são absolutos e que a ciência existe para a resolução apenas de problemas práticos. É necessário buscar a compreensão dos métodos científicos (leis ou hipóteses, por exemplo) e sobre como a ciência se relaciona e é influenciada por outros fatores como o contexto social, político e econômico.

A contextualização da natureza da atividade científica valoriza o trabalho do cientista no processo de pesquisa e o avanço do conhecimento, e indica aspectos de influência externa como a coletividade do trabalho científico e as implicações sociais da ciência (SOLBES e TRAVER, 2001).

Outros motivos podem ser apontados como justificativas para a contextualização da Natureza da Ciência no ensino:

- a) “Mostrar que os conhecimentos científicos atuais não são verdades eternas, mas construções realizadas num contexto social definido” (GAGLIARDI e GIORDAN, 1986, p.254);
- b) “Promover uma discussão sobre os mecanismos de produção e reprodução do conhecimento em nível do próprio aluno e em nível da sociedade” (GAGLIARDI, 1988, p. 294);
- c) Demonstrar aos alunos os diferentes tipos de interesse e de conflitos de interesse que podem se estabelecer pelo controle e utilização dos saberes que a ciência produz (BASTOS, 1998);
- d) Evidenciar o impacto cultural do conhecimento científico além somente do próprio conhecimento, além de tornar o ensino de ciências mais atrativo e motivante, modificando programas de ensino estritamente direcionados para aspectos técnicos (BASTOS, 1998);
- e) “Caracterizar a ciência como parte integrante da herança cultural das sociedades contemporâneas” (BASTOS, 1998, p.37).

A ciência precisa ser considerada pelos alunos como um processo dinâmico que acontecerá dentro de uma comunidade científica, influenciada por fatores culturais, ideológicos, sociais e históricos. As discussões acerca da Natureza da Ciência buscarão que o aluno conheça o processo através do qual a ciência é construída, levando em consideração fatos históricos e sociais e relacionando como esses fatos podem ter contribuído para a construção de novos conhecimentos (TOBALDINI et al., 2011).

A Natureza da Ciência pode ser compreendida como um conjunto de saberes e práticas que estão envolvidos na construção do conhecimento científico (LEDERMAN, 1992). Da mesma maneira que não é possível restringir a ciência a uma definição tida como correta, o estudo da Natureza da Ciência apresentará algumas con-

trovérias. Os pesquisadores da área discordam quanto à escolha dos conteúdos da Natureza da Ciência que serão incluídos na educação científica (VAZQUEZ-ALONSO et al., 2007).

Segundo Acevedo et al. (2005), entendem-se como questões relativas à Natureza da Ciência, por exemplo: o que é ciência? Qual é o funcionamento interno e externo da ciência? Como ocorre o processo da construção do conhecimento científico? Quais são os valores envolvidos no conhecimento científico? Qual a natureza da comunidade científica? Quais relações estabelecem entre si a sociedade e o sistema tecnocientífico? E qual a contribuição dessas relações para a cultura e o progresso da sociedade?

A inclusão da Natureza da Ciência nos currículos que objetivam o letramento científico e tecnológico (assunto que será abordado na seção 2.2) e a compreensão desses elementos é fundamental para a participação dos cidadãos nas decisões que orientam o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Lederman (2004) afirma que a Natureza da Ciência é uma expressão que possui certa divergência na comunidade científica quanto ao seu significado, porém, de maneira geral irá se referir aos valores e suposições inerentes ao conhecimento científico e o seu desenvolvimento. Nesse sentido, o autor apresentou sete pontos que julga importantes para a definição do que é a Natureza da Ciência e a sua inclusão no ensino.

- 1) Separação entre observação e inferência: distinção necessária e importante, já que a observação é a descrição de fenômenos naturais a partir dos nossos sentidos, e mesmo que haja vários observadores para determinado fenômeno, eles chegarão facilmente a um consenso do que está sendo observado. Já a inferência são fenômenos que não podem ser observados pelos nossos sentidos, como a gravidade, por exemplo: sabemos que ela é responsável pela queda livre de um corpo, mas não se enxerga a gravidade, infere-se sobre a sua existência.
- 2) Diferenciação entre leis e teorias científicas: é necessário que o aluno compreenda que são formas importantes e diferentes de conhecimen-

to: enquanto as leis são descrições da relação entre fenômenos observáveis, as teorias são as explicações para esses fenômenos.

- 3) O conhecimento científico é baseado em observações do mundo natural.
- 4) Embora o conhecimento seja lastreado empiricamente, ele envolve aspectos da criatividade e imaginação humana, já que os fenômenos naturais são explicados por modelos teóricos, que são inferências a partir de dados observados.
- 5) O conhecimento científico é, pelo menos parcialmente, subjetivo. Essa subjetividade é explicada nos termos de teorias já aceitas pela comunidade científica, segundo as quais cientista coleta e analisa seus dados munidos de pré-conceitos.
- 6) O conhecimento científico está sujeito a alterações, já que suas teorias e leis são mutáveis caso haja novas teorias ou leis que sejam explicações melhores para determinado fenômeno.
- 7) A ciência está embebida em aspectos sociais e culturais. A ciência é afetada e afeta a sociedade na qual está inserida devido a diversos fatores como a conjuntura política da época, fatores socioeconômicos, estruturas de poder, influência filosófica e religião e, por isso, o conhecimento científico não é imparcial, e o desenvolvimento da ciência deve ser compreendido como tal.

A problematização nas salas de aula de ensino de ciências poderá desenvolver a tomada de atitudes científicas por parte dos alunos, além da aprendizagem de determinados conteúdos específicos. Seu objetivo é incentivar a compreensão do processo de construção e o caráter social do conhecimento científico. Segundo Carvalho (2005), é necessário interpretar o ensino e a aprendizagem de ciências como um processo de enculturação científica, já que os alunos poderão praticar valores e regras científicos, além de utilizar sua linguagem.

A inclusão da Natureza da Ciência no ensino poderá aproximar as visões acerca de ciência que os estudantes e professores possuem da realidade da produção e distribuição do conhecimento científico, e essa aproximação é fundamental

para a compreensão de que o trabalho dos cientistas não ocorre à margem da sociedade em que vivem (PRAIA et al., 2007).

2.2 Letramento Científico

O objetivo desta seção é indicar os pressupostos da implantação de currículos e materiais voltados para o letramento científico na formação para a cidadania. Para tal, é necessário o estudo dos significados da expressão *letramento científico*, de forma a justificara escolha dessa expressão ao invés da recorrente utilizada alfabetização científica. Por fim, realizaremos a análise e discussão do letramento científico em documentos de avaliações oficiais como o framework do PISA (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) e a matriz de referência do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio).

2.2.1 Importância social da educação científica

A educação científica e tecnológica de uma nação é um dos pontos cruciais para o seu desenvolvimento. É amplamente recomendada nos documentos oficiais de organizações nacionais e internacionais a necessidade do investimento nessa área. Segundo a Declaração de Budapeste (1999), documento de princípios divulgado pelos organizadores da Conferência Mundial sobre a Ciência, o ensino de ciências é imprescindível para que um país possa atender as demandas básicas de sua população.

A educação científica é uma das principais formas de se alcançar uma formação educacional que priorize a cidadania. A sociedade deve ser envolvida nas decisões sobre ciência e tecnologia, e isso será viabilizado através da submissão da atividade científica às instâncias democráticas (SANTOS e MORTIMER, 2001). Por isso,

(...) torna-se importante discutir os diferentes significados e funções que se têm atribuído à educação científica com o intuito de levantar referenciais para estudos na área de currículo, filosofia e política educacional que visem analisar o papel da educação científica na formação do cidadão (SANTOS, 2007, p. 475).

Através de professores bem formados, a escola será o local para aquisição do letramento científico e dessa forma será proporcionado ao aluno o acesso à cidadania através de sua inclusão social. O letramento científico poderá auxiliar os

cidadãos no momento da tomada de decisões e incentivar sua participação em discussões e decisões que envolvam a ciência e a tecnologia (PRAIA et al., 2007).

~~O crescente desenvolvimento científico, econômico e tecnológico alterou as demandas para o ensino de ciências, já que o conhecimento não é mais detido exclusivamente na escola. O fluxo do conhecimento foi alterado pela industrialização, e o ensino de ciências deverá sofrer modificações para não se tornar ultrapassado.~~

~~Não temos dúvidas do quanto a globalização confere novas realidades à educação. Talvez, para uma facilitação, pudéssemos dirigir nosso olhar para duas direções. Primeira, o quanto são diferentes as múltiplas entradas do mundo exterior na sala de aula; e a outra direção, o quanto essa sala de aula se exterioriza, atualmente, de uma maneira diferenciada (CHASSOT, 2003, p.89).~~

O objetivo da educação científica deverá ser o de proporcionar aos alunos oportunidades nas quais eles analisem os problemas globais e tentem propor soluções, com a intenção de vencer o reducionismo conceitual com a compreensão dos processos de causa e efeito, a apropriação dos conteúdos e a argumentação acerca dos aspectos apresentados e sua conexão com fatores sociais, políticos, tecnológicos e econômicos (PRAIA et al., 2007). Os objetivos da educação científica poderão ser alcançados através da inclusão de currículos que priorizem o letramento científico.

Neste momento se faz necessária uma definição do que será considerado como letramento científico neste trabalho, bem como uma retomada histórica acerca do seu aparecimento na língua portuguesa em contraposição ao conceito da alfabetização científica.

2.2.2 Letramento ou Alfabetização?

A alfabetização e o letramento são processos complementares que mantêm entre si uma relação complexa (MORTATTI, 2004). O letramento é uma vertente da alfabetização que começou a ser discutido em decorrência da ampliação do termo original a partir de 1980 (PORT, 2014), devido a sua recente introdução na língua portuguesa. Por isso, podem acontecer confusões com a sua utilização, muitas vezes relacionadas à relação entre o que é letramento e o que é alfabetização.

Se considerarmos que letramento é a capacidade de incorporar habilidades de leitura e escrita em práticas sociais, para que um indivíduo possa se desenvolver social e culturalmente, então, a aquisição do letramento e da alfabetização deverá acontecer simultaneamente na fase escolar.

Os estudos sobre o letramento, desse modo, não se restringem somente àquelas pessoas que adquiriram a escrita, isto é, aos alfabetizados. Buscam investigar também as consequências da ausência da escrita a nível individual, mas sempre remetendo ao social mais amplo, isto é, procurando, entre outras coisas, ver quais características da estrutura social têm relação com os fatos postos (TFOUNI, 1995 p. 21).

A palavra letramento, segundo Soares (2003), começou a ser utilizada no Brasil resultante da necessidade de definir a ação de ensinar e aprender as práticas sociais de leitura e de escrita. Soares afirma ainda que “um indivíduo alfabetizado não é necessariamente um indivíduo letrado, pois ser letrado implica em usar socialmente a leitura e escritura e responder as demandas sociais”(SOARES, 2003, p. 12).

O processo de alfabetização irá objetivar a aquisição da escrita pelo indivíduo, ou de um grupo de indivíduos, enquanto o letramento irá levar em consideração os aspectos sócio-históricos da aprendizagem de um sistema escrito por uma sociedade (TFOUNI, 1995). Assim,

uma pessoa alfabetizada, que sabe ler e escrever, pode não ser letrada, caso não faça uso da prática social de leitura, ou seja, apesar de ler, não é capaz de compreender o significado de notícias de jornais, avisos, correspondências, ou não é capaz de escrever cartas e recados. Isso é o que se tem chamado de analfabetismo funcional (SANTOS, 2007 p.478-479).

Para os conceitos de alfabetização e letramento, encontramos na literatura a diferenciação de que os dois processos englobam objetivos diferentes e são complementares, porém não significam a mesma coisa. Para as expressões de alfabetização científica e letramento científico, apesar de muitas vezes nas pesquisas em ensino de ciências serem utilizadas como sinônimos, também iremos considerar que apresentam significados diferentes.

A alfabetização científica apresenta um significado mais restrito e por isso opta-se pelo uso do termo letramento científico quando o objetivo é priorizar a função

social da educação científica (SANTOS, 2007). Por exemplo, um cidadão alfabetizado cientificamente conhece os termos científicos, sabe o que significam as palavras utilizadas em ciências, ou seja, domina o vocabulário, mas desconhece significados e aplicabilidades. Já o indivíduo letrado compreende a cultura científica, e a aplicação social dos termos.

Poderíamos pensar na alfabetização científica, como sendo referente à aprendizagem dos conteúdos e da linguagem científica. Por outro lado, o letramento científico se refere ao uso do conhecimento científico e tecnológico no cotidiano, no interior de um contexto sócio-histórico específico (MAMEDE e ZIMMERMANN, 2005 p.2).

A alfabetização e o letramento científico são utilizados para traduzir a expressão *scientific literacy* (TEIXEIRA, 2013), expressão essa que possui seus primeiros registros de utilização na língua inglesa a partir de 1950 (LAUGKSCH, 2000).

[...] a expressão *scientific literacy* estabelece vínculos entre ciência, leitura e escrita, colocando as três em um mesmo patamar de imprescindibilidade. [...] Aprender ciências deveria ser algo tão imprescindível quanto aprender a leitura e a escrita, uma apropriação desejável para todos os seres humanos, a ser estabelecida como um fenômeno de massa (TEIXEIRA, 2013, p.801).

Considerando as definições clássicas para o conceito do letramento científico, Santos (2007) indica que um indivíduo devidamente letrado será capaz de entender princípios básicos de fenômenos do cotidiano e tomar decisões relativas à ciência e tecnologia às quais estejam pessoalmente ou não relacionados. O indivíduo letrado teria capacidade de, “por exemplo, preparar adequadamente diluições de produtos domissanitários, compreender satisfatoriamente as especificações de uma bula de medicamento, adotar profilaxia para evitar doenças básicas” (SANTOS, 2007, p. 480).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ministério da Educação (PCN) (BRASIL, 2000) utilizam o termo letramento para identificar o produto da participação em práticas sociais que necessitem da leitura e da escrita. Nesse sentido, não existe um indivíduo iletrado, ou seja, com grau zero na escala do letramento, se assim pudermos chamar, pois em seu dia-a-dia esse indivíduo já aprende parte dessas práticas e as compreende mesmo sem dominar processos científicos e tecnológicos.

O objetivo do letramento científico será ensinar ao aluno os conteúdos necessários em ciência para que ele possa realizar uma leitura crítica dos fenômenos científicos do cotidiano, fazer com que o aluno adquira conhecimento e reflexão para a prática social responsável, compreender as implicações do uso da ciência na sociedade e abordar os saberes científicos de forma contextualizada.

O ensino de ciências contextualizado poderá proporcionar a

inclusão do indivíduo na vida social, de uma maneira ativa e não meramente na qualidade de espectador. Ressalta-se a compreensão da ciência como prática social, o que nos leva a discutir suas condições de produção, divulgação e aplicação, bem como a possibilidade de controle sobre a ciência e a tecnologia que a sociedade detém (MA-MEDE; ZIMMERMANN, 2005 p.2).

É importante ressaltar o papel da escola na aquisição de parte dos conhecimentos levantados aqui como objetivos do processo de letramento científico. A escola deverá ser um dos meios através do qual o aluno irá adquirir esses conhecimentos, exercendo assim o seu papel de letrar a população em ciência e tecnologia.

Para atingir o letramento científico, é fundamental que sejam considerados três aspectos: natureza da ciência, linguagem científica e aspectos socioeconômicos. A inclusão da natureza da ciência irá relacionar os aspectos históricos, filosóficos e sociológicos para a compreensão de uma ciência contextualizada, fruto da atividade humana, coletiva e diversamente influenciada por suas partes. Já a linguagem é importante para compreender a ciência, já que o aluno deverá aprender a ler e escrever sua língua. É necessário que o aluno saiba retirar dos textos as informações científicas e, através da argumentação, possa fazer inferências sobre o assunto com o objetivo de compreender o papel do argumento científico na elaboração de teorias (SANTOS, 2007).

2.2.3 Avaliações em larga escala

Avaliações de larga escala realizadas no Brasil como o PISA (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) e o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) são possibilidades de verificar se os objetivos propostos pela educação científica estão sendo alcançados e avaliar se os estudantes compreendem os conceitos e

as inter-relações da ciência e da tecnologia e sua implicação na sociedade, em outras palavras, se os alunos estão letrados cientificamente.

O PISA, Programa Internacional de Avaliação de Estudantes, lançado em 1997, testa habilidades aos 15 anos de idade em leitura, matemática e ciência em diversos países do mundo. Essa avaliação tem o objetivo de fornecer dados importantes para medidas político-educacionais a partir do julgamento das habilidades que são relevantes para a vida adulta.

Segundo o *framework* do PISA (OECD, 2013), um aluno letrado cientificamente terá capacidade de:

- a) Entender a ciência como uma forma de investigação e conhecimento humano;
- b) Compreender que ciência e tecnologia modelam nossos ambientes culturais, intelectuais e materiais;
- c) Envolver-se como um cidadão reflexivo em questões relacionadas à ciência;
- d) Absorver e empregar o conhecimento científico para identificar questões, explicar fenômenos científicos e tirar conclusões baseadas em evidências sobre questões científicas.

As competências avaliadas no PISA irão se relacionar com outros três aspectos na avaliação do letramento científico: o reconhecimento do contexto científico, o interesse na ciência e a compreensão da relevância desse conhecimento. Além disso, as competências são amplas e levam outros pontos em consideração, como a utilidade pessoal e a responsabilidade social do conhecimento e aspectos cognitivos e afetivos de competências dos alunos em ciência. Ao avaliar as competências científicas, o PISA prioriza questões para as quais o conhecimento científico poderá contribuir e irão envolver os alunos, agora ou no futuro, na tomada de decisões.

Desde 2003, o PISA é aplicado no Brasil, e sua evolução mostra números interessantes. Na temática de ciência, em 2012, os estudantes brasileiros fizeram em média 405 pontos, ficando abaixo de países como a Argentina e o México; 61% dos alunos no Brasil apresentam fraco aproveitamento em ciências, e apenas 0,3% tem o melhor desempenho, ou seja, eles podem identificar, explicar e aplicar o co-

nhecimento científico e conhecimento sobre ciência em uma variedade de situações de vida complexas, segundo o relatório. Por outro lado, o desempenho médio no Brasil melhorou desde 2006 em anualmente 2,3 pontos, passando de 390 pontos para 405 pontos em 2012. Outro aumento pode ser verificado na porcentagem de alunos que ficaram acima do nível básico na proficiência em ciência, que desde 2006 aumentou 7,3 pontos percentuais.

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) foi criado em 1998 com o objetivo de avaliar os egressos da educação básica, ao término da terceira série do Ensino Médio, a fim de contribuir para a melhoria da qualidade da educação nacional. A partir de 2009, quando teve o formato de sua prova alterado, passou a ser utilizado por instituições de ensino superior como mecanismo de seleção para o ingresso, e atualmente é utilizado por institutos e universidades federais através do SISU (Sistema de Seleção Unificada), universidades estaduais para complementação de nota de seus vestibulares, e no Programa Universidade para Todos (ProUni). O conteúdo das provas do ENEM é dividido em quatro áreas do conhecimento: Linguagens, códigos e suas tecnologias, Matemáticas e suas tecnologias, Ciências da Natureza e suas tecnologias e Ciências Humanas e suas tecnologias. Através da análise de sua matriz de referências, é possível identificar competências nas quais o conceito de letramento científico se faz presente (INEP, 2012).

A matriz de referência (INEP, 2012) do ENEM classifica cinco eixos cognitivos comuns a todas as áreas do conhecimento, nos quais estarão inseridas as competências específicas. São eles: dominar linguagens, compreender fenômenos, enfrentar situações problema, construir argumentação e elaborar propostas. Analisando-se a matriz de referências da prova de Ciências da Natureza e suas tecnologias, podemos aqui apontar ao menos seis competências nas quais o conceito do letramento científico aqui definido é relacionado. São elas:

- a) Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico;
- b) Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas;
- c) Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum;

- d) Reconhecer benefícios, limitações e aspectos éticos da biotecnologia, considerando estruturas e processos biológicos envolvidos em produtos biotecnológicos;
- e) Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental;
- f) Avaliar propostas de alcance individual ou coletivo, identificando aquelas que visam à preservação e a implementação da saúde individual, coletiva ou do ambiente.

Um indivíduo letrado cientificamente deverá ser capaz de compreender os conceitos científicos e aplicar esses conceitos sob uma perspectiva científica, porém o currículo atual e as escolas devem sofrer alterações para que o letramento científico seja alcançado pelas crianças em nível escolar. Segundo Santos (2007), “as escolas têm avaliado muito mal seus estudantes, com exames que não envolvem aspectos básicos do que se espera do letramento científico” (SANTOS, 2007, p.486)

O letramento científico irá estabelecer um vínculo entre a escrita, a leitura e a ciência, e é imprescindível para a vida em sociedade a partir do suposto de que a escrita e a leitura são bens culturais (TEIXEIRA, 2013). As competências do ENEM “b” e “c” acima relacionadas se referem à utilização do conhecimento e informação científica com situações do dia-a-dia nas quais poderá vir a ser utilizado esse conhecimento científico. Por exemplo, um indivíduo, ao comprar um remédio na farmácia, poderá utilizar a bula para retirar informações médicas como posologia e contra-indicações ou informações bioquímicas de composição e ação, e para isso será fundamental a compreensão da linguagem científica para a interpretação dos dados fornecidos, que será possível com o letramento científico desse cidadão (SANTOS, 2007).

Já a competência “e” do ENEM pretende avaliar como o conhecimento científico adquirido através do letramento científico poderá auxiliar no diagnóstico e possível solução de problemas de diversas ordens, social, econômica ou ambiental. Os professores que tiverem como objetivo atingir o letramento por meio da educação científica contemplando a competência “e” poderão mudar sua postura no sentido de incluir em suas aulas discussões que envolvam problemas ambientais ou sociais, considerando aspectos culturais, econômicos, políticos e éticos engajando assim os

alunos por meio de ações concretas (SANTOS e MORTIMER, 2001). Desta maneira, a reflexão acerca desses aspectos poderá proporcionar aos alunos a reflexão de atitudes concretas para a proposição de soluções para problemas de ordem ambiental, tecnológica ou de outra natureza, como é referido nas competências “a” e “f”.

2.3 Estudos Sociais em Ciência, Tecnologia e Sociedade e a educação

Esta seção aprofunda conhecimentos acerca dos Estudos em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) a fim de compreender de que maneira seus aspectos podem ser incluídos na educação, bem como o processo histórico de seu crescimento e quais as implicações e dificuldades para a implementação de materiais que orientem o objetivo da educação básica para a formação para a cidadania.

2.3.1 Estudos CTS

Os Estudos CTS surgiram na emergência de questionar o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, denunciando suas consequências para a sociedade, já que o avanço tecnológico não se mostrava mais um processo linear e progressivo. Nos países desenvolvidos, a partir de meados dos anos 1960 e início dos anos 1970 (LINSINGEN, 2008) surgiram trabalhos que refletiam “o sentimento de que o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico não estava conduzindo, linear e automaticamente, ao desenvolvimento do bem-estar social” (AULER e BAZZO, 2001 p.1).

O campo CTS surge no contexto histórico das chamadas reações acadêmica, administrativa e social em oposição a uma imagem ou concepção herdada da ciência e da tecnologia e se desenvolve como um movimento crítico frente à concepção clássica de ciência. Esta reação se produz na etapa de mudança institucional da ciência e no contexto da Segunda Guerra Mundial (...) (HAYASHI et al., 2008, p.43).

A publicação dos livros *Primavera Silenciosa* (Rachel Carson, 1962) e *A estrutura das revoluções científicas* (Thomas Kuhn, 1962) se tornaram um marco para o início das reflexões sobre as consequências do desenvolvimento científico e tecnológico (LINSINGEN, 2008; AULER e BAZZO, 2001). As obras “potencializaram as discussões sobre as interações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS). Dessa forma, C&T passaram a ser objeto de debate político. Nesse contexto, emerge o denominado movimento CTS” (AULER e BAZZO, 2001 p.1).

Dessa maneira, os Estudos CTS se mostravam “um campo de trabalho de caráter crítico com relação à tradicional imagem essencialista da ciência e da tecnologia” (LINSINGEN, 2008, p.3). O desenvolvimento desenfreado da ciência e da

tecnologia não seria visto mais como sinônimo do progresso da sociedade, já que não iriam, “necessariamente, resolver problemas ambientais, sociais e econômicos. Postula-se a necessidade de outras formas de tecnologia. A alternativa não consiste em ‘mais C&T’, mas “‘num tipo diferente de C&T’, concebidas com alguma participação da sociedade” (AULER e BAZZO, 2001, p.2).

A relação estreita entre o desenvolvimento social e a capacidade técnica e científica tem se tornado uma questão muito debatida, retomada e reforçada com a evolução do debate em torno do desenvolvimento sustentável, a partir da década de 1980. Se, por um lado, os governos viram a C&T como uma fonte potencial de benefícios econômicos (oriundos da biotecnologia, nanotecnologia, fármacos, etc.), por outro, desde a consolidação global do debate ecológico, tem visto a C&T como fonte imprescindível de soluções para o problema (HAYASHI et al., 2008, p.30-31).

Segundo Santos (2011), os problemas ambientais e econômicos incentivaram a comunidade científica e a sociedade a construir outro modelo de ciência e tecnologia, na qual a lógica capitalista do lucro independente que prioriza o consumismo não poderia mais ignorar as suas implicações no ambiente social e físico. Os Estudos CTS surgiram “no contexto de crítica ao modelo desenvolvimentista com forte impacto ambiental e de reflexão sobre o papel da ciência na sociedade” (SANTOS, 2011, p.21).

É inevitável, portanto, que haja um levantamento das contradições geradas a partir do desenvolvimento da ciência e da tecnologia. “Passados mais de quarenta anos do início do movimento de ‘desencantamento’ científico-tecnológico, a lista de problemas atribuídos à ciência e à tecnologia parece crescer mais que suas inegáveis benesses” (LINSINGEN, 2008, p.5). Desta forma, a reflexão sobre as questões que envolvam a ciência e a tecnologia na sociedade poderá auxiliar na compreensão de suas relações e “ajudar a desenvolver uma maior consciência sobre as nossas circunstâncias sociais, alargando assim a nossa capacidade de compreensão e intervenção em decisões que nos afetam” (CACHAPUZ, 2011, p.50).

Os Estudos Sociais em CTS poderiam ser definidos como uma área situada na crescente complexidade de caracterizar o mundo moderno, devido ao fato de que nossa cultura é moldada pela mesma ciência e tecnologia que a influencia (HAYASHI et al., 2008). “Em suma, os estudos sociais da C&T examinam as forças polí-

ticas, econômicas e sociais que, de modo complexo, interagem para moldar a C&T que, recursivamente, molda e afeta a sociedade” (HAYASHI et al., 2008, p.40).

O questionamento sobre a natureza do conhecimento científico e a busca do conhecimento dos caracteres múltiplos que podem influenciar o desenvolvimento da ciência e da tecnologia são objetivos dos Estudos CTS, que também buscam evidenciar a relevância da participação do público nos processos de tomada de decisão para o desenvolvimento. (HAYASHI et al., 2008) “É necessário criar oportunidades para os cidadãos participarem em decisões importantes sobre a natureza substantiva da ordem tecnológica que os afeta ou pode vir a afetar” (CACHAPUZ, 2011, p.64).

As pesquisas em ensino de ciências voltadas para o campo dos Estudos CTS tiveram amplo aumento a partir destas reflexões. Cachapuz et al. (2008) realizaram um trabalho de estado da arte de 152 artigos publicados em três principais revistas da área de pesquisa em ensino de ciências durante o período de 1993 até 2002 para analisar sua evolução. “A linha de pesquisa identificada com estudos do domínio da Ciência-Tecnologia-Sociedade mais do que triplica o seu número de ocorrências; um tal salto quantitativo de um para o outro quinquênio não ocorreu em nenhuma outra linha” (CACHAPUZ et al., 2008, p.33).

2.3.2 Educação CTS

A cidadania inclui a participação efetiva dos indivíduos na sociedade, de maneira que o cidadão necessita de informações acerca dos problemas sociais que o afetam para construir um posicionamento diante das possíveis soluções (SANTOS e SCHNETZLER, 2010). O acesso a essas informações poderá acontecer por meio de uma formação educacional voltada para o pensamento crítico e o exercício da cidadania. “A orientação CTS e o pensamento crítico (PC) afiguram-se, hoje, como elementos basilares em currículos de ciências e da matemática numa perspectiva de literacia, visando à formação de cidadãos capazes de pensar e agir criticamente sobre questões sociais de âmbito científico e tecnológico” (TENREIRO-VIEIRA e VIEIRA, 2011, p. 418).

O ensino de ciências voltado para a formação de cidadãos críticos capazes de opinar sobre situações que envolvam ciência e tecnologia vem sendo objetivo de trabalhos na área dos Estudos CTS (SANTOS e SCHNETZLER, 2010).

“Percebe-se assim que um autêntico ensino de CTS seria aquele que apresenta uma visão crítica sobre as implicações sociais da Ciência, no sentido das relações de poder e das implicações mais amplas da tecnologia em termos de suas consequências socioambientais em uma perspectiva de justiça social” (SANTOS e SCHNETZLER, 2010 p. 73-74).

A educação CTS visa “colaborar para formar cidadãos capazes de opinar com conhecimento de causa e responsabilidade social sobre os diversos problemas do nosso tempo e servir de elemento motivador para os alunos” (ALONSO et al., 2002), e por isso deve desenvolver uma cultura de participação da sociedade (AULER e BAZZO, 2001).

A ênfase curricular no ensino de ciências tem mudado em função de contextos sócio-históricos e de acordo com recursos ambientais disponíveis em determinadas épocas, incluindo a vertente CTS (SANTOS, 2007). Através de um currículo com esses aspectos, o aluno poderá ser capaz de compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e questionar o modelo de desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

A implantação dos Estudos CTS nos currículos para o ensino de ciências também influenciou a elaboração de materiais didáticos, sua aplicação e avaliação e a realização de alterações nos cursos de formação inicial dos professores.

O ensino baseado nos pressupostos dos Estudos CTS irá objetivar principalmente:

- a) “Desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos” (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.5);
- b) Promover uma formação que possibilite aos indivíduos tomarem decisões responsáveis acerca da qualidade de vida em uma sociedade impregnada de ciência e tecnologia (ACEVEDO DÍAZ, 1996);
- c) “Auxiliar o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciên-

cia e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões” (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.5);

- d) “Colaborar para formar cidadãos capazes de opinar com conhecimento de causa e responsabilidade social sobre os diversos problemas do nosso tempo e servir de elemento motivador para os alunos” (ROMERO et al., 2002, p.6).

A capacitação dos alunos para compreender as relações CTS, bem como fazer uso do conhecimento científico e tecnológico na solução de problemas do dia-a-dia com responsabilidade social, vem sendo considerada pelas reformas educacionais contemporâneas como um objetivo do ensino de ciências, que poderá ser alcançado a partir do letramento científico e tecnológico (SANTOS e SCHNETZLER, 1998).

No entanto, um dos desafios encontrados por pesquisadores e professores é garantir que a abordagem de um currículo pautado nas vertentes CTS irá auxiliar o cidadão em sua tomada de decisões. O ensino pautado nos pressupostos CTS irá “assegurar ao indivíduo a formação que o habilitará a participar como cidadão na vida em sociedade. Isso implica um ensino contextualizado, no qual o foco seja o preparo para o exercício consciente da cidadania” (SANTOS e SCHNETZLER, 2010, p.49).

Um processo de tomada de decisão envolve a aquisição de conhecimentos para identificar o problema em questão e aprender a analisar custos, benefícios e alternativas para sua resolução. Segundo Santos e Mortimer (2001), os modelos tecnocráticos de tomada de decisão se guiam pela crença de que o domínio absoluto de conceitos técnicos indicará o caminho correto a seguir. Mas é preferível no contexto dos Estudos CTS, segundo os autores, a adoção do modelo pragmático político, segundo o qual outros aspectos, como valores culturais e éticos, seriam levados em consideração em uma interação entre especialistas e cidadãos para se chegar a um consenso. Portanto, “dever-se-ia buscar um modelo de participação democrática em que os cidadãos tivessem um trabalho de controle sobre quem decide, podendo usar mecanismos de pressão para que a decisão política seja tomada levando em conta os seus interesses” (SANTOS e MORTIMER, 2001, p. 102).

O objetivo da educação científica é “contribuir para preparar o cidadão a tomar decisões, com consciência do seu papel na sociedade, como indivíduo capaz de provocar mudanças sociais na busca de melhor qualidade de vida para todos” (SANTOS e SCHNETZLER, 2010, p.56), a fim de proporcionar uma educação que “promova o desenvolvimento pessoal dos alunos e lhes permita pensar por si próprios, enfrentar a vida e participar ativa e adequadamente no planejamento e resolução dos problemas e necessidades sociais, de forma a viabilizar o desenvolvimento de modos de vida mais justos e democráticos” (TENREIRO-VIEIRA e VIEIRA, 2011, p.419-420).

Segundo Auler (2008), as iniciativas para incluir esses aspectos dos Estudos CTS nos currículos ainda são isoladas, não sendo traduzidas em programas institucionais. Os assuntos a serem trabalhados por sua relevância social possuem uma complexidade que não é abarcável apenas pelas disciplinas convencionais, e por isso o currículo deverá sofrer alterações, como a inclusão da interdisciplinaridade e de conhecimentos sobre a democratização dos processos de tomada de decisão envolvendo ciência e tecnologia.

2.4 Livro didático

Esta seção revisa os estudos da área na literatura em busca da compreensão da importância que o livro didático apresenta na ação docente e na sala de aula, além de realizar um levantamento histórico do livro didático no Brasil, compreendendo os atuais parâmetros de fabricação, distribuição e avaliação dos livros e um levantamento de trabalhos que relacionam o livro didático e o ensino de Biologia nos últimos anos, além de sua relação com a prática de ensino.

2.4.1 Relevâncias do livro didático na sala de aula

O livro didático é um importante material para o professor em sua prática docente e para o aluno em seu processo de aprendizagem. “O livro didático pode ser um grande auxiliar do professor na sua tarefa de contribuir para a formação e informação de seus alunos” (SÁ e SANTIN FILHO, 2009, p. 159), e por isso deverá ser um material de qualidade, adquirido pelo Estado para os alunos da rede pública, se constituindo muitas vezes como o único material de apoio para os professores e alunos no dia-a-dia escolar.

A formação inicial e continuada do professor poderá influenciar na importância que irá depositar no material didático, assim como a escolha das atividades a serem realizadas. “Os livros didáticos apresentam desde conteúdos a serem desenvolvidos até formas de ensino e de avaliação que podem ser adotadas pelo professor. Quando a formação desses docentes não é adequada, o livro se torna norteador do conteúdo a ser ensinado” (MASSABNI, 2000, p.16). No entanto, não é o objetivo deste trabalho questionar a formação dos professores para a utilização deste material, e sim a qualidade do material à disposição.

Um livro didático de qualidade deverá ser completo de maneira a englobar todo o conteúdo necessário, incentivar o aluno a buscar novas informações e principalmente objetivar a formação do aluno como um cidadão (SÁ e SANTIN FILHO, 2009). Deverá conter atividades em várias dimensões, para:

o desenvolvimento do raciocínio, da participação efetiva do aluno no seu aprendizado, que estimule a tomada de decisões, que tenha

preocupação em resgatar os conceitos prévios, valorizando-os, que tenha articulação entre os assuntos abordados, que seja de leitura agradável e que tenha boa abordagem conceitual, enfim, que se torne um instrumento de ensino dinâmico e instigante (SÁ e SANTIN FILHO, 2009, p. 159).

Entretanto, não podemos esperar que apenas um livro de boa qualidade gere aprendizado significativo. Diversos fatores poderão influenciar a compreensão de conteúdos. Segundo Zabala (1998), os processos educativos são complexos e por isso não é fácil reconhecer todos os fatores que podem influenciá-los. “A estrutura da prática obedece a múltiplos determinantes, tem sua justificação em parâmetros institucionais, organizativos, tradições metodológicas, possibilidades reais dos professores, dos meios e condições físicas existentes, etc.” (ZABALA, 1998, p.16).

Diante dos fatores que podem influenciar a prática, como currículo, infraestrutura da escola e das salas de aula e material didático, o professor deverá ter uma formação inicial e continuada que possibilite a autonomia para realizar sua prática educativa, utilizando de materiais como fonte, mas não deverá depender exclusivamente destes.

A complexidade da tarefa educativa nos exige instrumentos e recursos que favoreçam a tarefa de ensinar. Em todo caso, são necessários materiais que estejam a serviço de nossas propostas didáticas e não o contrário; que não suplantem a dimensão estratégica e criativa dos professores, mas que a incentivem (ZABALA, 1998, p.175).

No entanto, a qualidade acerca desses materiais deverá ser levada em consideração. Segundo Zabala (1998), os livros didáticos são criticados quando assumem uma postura unidirecional, sem apresentar ideias externas à linha de pensamento estabelecida, alimentando assim estereótipos culturais. “Dada sua condição de produto, estão mediatizados por uma infinidade de interesses. São livros que reproduzem os valores, as ideias e os preconceitos das instancias intermediárias, baseadas em proposições vinculadas a determinadas correntes ideológicas e culturais” (ZABALA, 1998, p.174). A postura dogmática do livro pode inibir questionamentos que seriam saudáveis à criação cultural e científica.

A questão é compreender porque os livros didáticos assumem esse papel de transmissor do conhecimento científico de maneira fechada, sem possibilitar ao lei-

tor questionar as informações ali contidas, sendo uma das ferramentas da manutenção de uma concepção limitada de ciência.

Se considerarmos que os livros didáticos podem ser, de certa forma, equiparados aos manuais descritos por Kuhn (1998), podemos afirmar que esses livros são formas de registro da ciência normal para a manutenção de seus paradigmas.

Iremos considerar como ciência normal aquela que está em vigor em determinada época. Definida por Kuhn (1998) como “parcialmente determinada através da inspeção direta dos paradigmas” (KUHN, 1998, p.69), a “ciência normal significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas” (KUHN, 1998, p.29). Por isso, o objetivo da ciência normal não é o de produzir novas verdades através da observação de fenômenos, novos ou observados por outro referencial, já que normalmente os fenômenos que não se ajustam aos limites do paradigma em vigor nem são vistos ou notados (KUHN, 1998).

Para descobrir a relação existente entre regras, paradigmas e a ciência normal começaremos considerando a maneira pela qual o historiador isola os pontos específicos de compromissos que acabamos de descrever como sendo regras aceitas. A investigação histórica cuidadosa de uma determinada especialidade num determinado momento revela um conjunto de ilustrações recorrentes e quase padronizadas de diferentes teorias nas suas aplicações conceituais, instrumentais e na observação. Essas são os paradigmas da comunidade revelados nos seus manuais, conferências e exercícios de laboratório (KUHN, 1998, p.67).

Portanto, é através da leitura dos manuais “que os futuros cientistas aprenderão seu ofício” (KUHN, 1998, p.71), já que esses irão limitar e definir “implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores de praticantes da ciência” (KUHN, 1998, p. 30). Os manuais científicos irão conter o registro das realizações passadas pelos pesquisadores da área; eles contêm “o corpo da teoria aceita, ilustram muitas (ou todas) as suas aplicações bem sucedidas e comparam essas aplicações com observações e experiências exemplares” (KUHN, 1998, p. 29).

Bachelard (1996) também faz críticas aos livros didáticos, quando afirma que a formação do espírito científico irá ser dificultada caso sejam levadas em conside-

ração somente as experiências anteriores, já que essas nem sempre são uma base segura. Os livros apresentam

a ciência como ligada a uma teoria geral. Seu caráter orgânico é tão evidente que será difícil pular algum capítulo. Passadas as primeiras páginas, já não resta lugar para o senso comum; nem se ouvem as perguntas do leitor. *Amigo leitor* será substituído pela severa advertência: preste atenção, aluno! O livro formula as suas próprias perguntas. O livro comanda. (BACHELARD, G. 1996, p.31).

Outros registros na literatura de trabalhos na área também levantam características preocupantes. O livro didático nas últimas décadas determinou decisivamente quais conteúdos seriam trabalhados nas salas de aula, “condicionando as diversas estratégias de ensino de grande número de professores” (SÁ e SANTIN FILHO, 2009, p. 160); nem sempre seus conteúdos são devidamente atualizados (MEGID NETO e FRANCALANZA, 2003); e mantêm atividades que induzem o aluno a desenvolver uma visão de ciência compartimentalizada e alienada das consequências de seu desenvolvimento para a sociedade (PRETTO, 1995).

Os livros escolares também não modificaram o habitual enfoque ambiental fragmentado, estático, antropocêntrico, sem localização espaço-temporal. Tampouco substituíram um tratamento metodológico que concebe o aluno como ser passivo, depositário de informações desconexas e descontextualizadas da realidade (MEGID NETO e FRANCALANZA, 2003, p.151).

O livro didático é um “importante instrumento fundamental na prática pedagógica de professores nos processos de ensino e aprendizagem” (SÁ e SANTIN FILHO, 2009, p. 160), e por isso não poderá

continuar como fonte de conhecimentos (por vezes equivocados) a serem transmitidos pelo professor a fim de serem memorizados e repetidos pelos alunos. O livro didático, longe de ser uma única referência de acesso ao conteúdo disciplinar da escola, tem que ser uma “fonte viva de sabedoria”, capaz de orientar os processos do desenvolvimento da personalidade integral das crianças (NUNEZ et al., 2003, p. 1).

A atual conjuntura de escolha, avaliação e distribuição do livro didático no Brasil poderá ser mais bem compreendida se trouxermos aspectos que nortearam sua história.

Durante o regime militar (1964-1985), devido à parceria realizada com os Estados Unidos na criação da Colted (Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático), a influência do material didático americano foi criticada por supostamente assegurar o controle do mercado livreiro do Brasil, o que era visto como uma maneira de controle ideológico. Em 1971, a Colted foi substituída pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Fundamental (Plidef) (FREITAG et al., 1993), por sua vez substituído em 1985 pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

A avaliação pedagógica dos exemplares a serem adquiridos pelo programa começou a ser realizada em 1996 com critérios eliminatórios e classificatórios (MEGID NETO e FRANCALANZA, 2003).

Nos anos 1938, 1969, 1984 foram criadas comissões/comitês especialmente encarregados de avaliar a qualidade dos livros didáticos produzidos pelas editoras particulares. De início, havia a mera intenção de autorizar o livro para o uso (ou não) na rede pública (...) (e) posteriormente atribuiu-se a tais comissões a função de avaliação e seleção (FREITAG et al., 1993, p.40).

O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) apresenta ciclos trienais de obtenção de exemplares novos. As escolas escolhem seus livros baseando-se no guia produzido pelo programa a partir da avaliação das obras (BRASIL, 2014). Em 2014, foram atendidos com o PNLD aproximadamente 29 milhões de alunos no ensino fundamental e médio com mais de 140 milhões de livros entregues, totalizando um investimento de aproximadamente um bilhão e 330 milhões de reais¹.

No Brasil, a maneira como a escolha dos livros didáticos é realizada pelo professor sugere que ele está democraticamente escolhendo os livros que deseja adquirir para os seus alunos, porém o processo de escolha já se iniciou anteriormente na confecção do guia, que já inclui um número reduzido de obras. Esse guia é disponibilizado às escolas com resenhas sobre a obra, e é indicado que o professor se baseie nessas resenhas para realizar sua escolha. Outro fator que deverá ser levado em conta é a grande quantidade de livros didáticos que o Estado passou a adquirir para a escola, dificultando o trabalho de seleção, tornando-o mais complexo e

¹ Fonte: FNDE. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-dados-estatisticos>. Acessado em: 26/08/2015.

exigente à medida que essa escolha também representa uma responsabilidade social e política dos avaliadores (NUNEZ et al, 2003).

2.4.2 Trabalhos sobre livro didático e o ensino de ciências

Xavier, Sá Freire e Moraes (2006) avaliaram a presença da Nova (moderna) Biologia “integração entre as novas tecnologias do DNA e novas aplicações em Genética, que inclui a Biotecnologia e a Biologia Molecular” (XAVIER, SÁ FREIRE e MORAES, 2006, p. 277) nos livros didáticos para o Ensino Médio. Os resultados obtidos mostraram que apesar de os livros serem ferramenta fundamental na sala de aula, central na dinâmica das atividades, de maneira geral estão pouco atualizados em relação aos temas da Nova Biologia. Foram analisados 12 livros didáticos e, no exemplar de maior incidência, a Nova Biologia ocupou 3,8% do conteúdo total do livro, enquanto a genética clássica, usualmente incluída nos livros, ocupou até 20% do espaço.

Vasconcelos e Souto (2003) realizou um trabalho que propôs a partir do tema *insetos* dentro da problemática da Zoologia, uma avaliação para os livros de ciências do Ensino Fundamental na tentativa de auxiliar as reflexões dos professores no momento de escolha dos livros didáticos que pretendem trabalhar. Os critérios utilizados seguiram os Parâmetros Curriculares Nacionais (1998). Os autores levantam questões importantes como: as mudanças recentes nos livros didáticos e a necessidade da boa formação do professor que irá trabalhar com o livro, além da importância da avaliação das obras, onde seu modelo proposto poderá auxiliar.

Batista et al. (2010), analisaram as abordagens sobre virologia nos seis livros didáticos mais utilizados em Aracaju (SE), no Ensino Médio. Os diversos critérios analisados englobaram desde a presença de figuras ilustrativas com legendas adequadas até a avaliação de exercícios que contribuíam com a aprendizagem significativa. O resultado demonstrou que “existem erros conceituais que interferem no processo de aprendizagem, em que os alunos adquirem um conhecimento equivocado” (BATISTA et al., 2010, p.157). Os livros não incentivam o estudo do tema e

“não estão completamente aptos para serem usados como material de apoio” (BATISTA et al., 2010, p.157).

Cândido et al., (2012) analisaram a abordagem contextual do conteúdo de ligações químicas em dois livros didáticos . Os autores utilizaram seis indicadores baseados nos critérios de avaliação do PNLD2012 e indicam que a abordagem do tema é contextualizada de maneira geral, com a maioria dos indicadores contemplados.

Uma das principais funções do livro didático é incentivar novas práticas pedagógicas que incentivem o aluno para o desenvolvimento e o exercício de uma postura crítica frente os assuntos apresentados. Esse objetivo poderá ser contemplado com a inclusão de discussões CTS nos livros didáticos. O livro não deverá ser um “mero depósito de informações (e propositor de exercícios de adestramento e memorização)”, e sim um material que “forme e que informe, mas que também cause dúvidas, convidando os alunos a frequentarem outros veículos educativos, a fim de saciá-las” (SÁ e FILHO, 2009, p. 166).

O tema do livro didático, em particular para o caso dos manuais escolares de Ciências no Ensino Fundamental, deve considerar explícita ou implicitamente as concepções de Ciência, de Ambiente, de Educação, de Sociedade, das relações entre Ciência/Tecnologia/Sociedade, entre tantas outras concepções de base pertinentes ao campo da Educação em Ciências, as quais determinam a própria concepção de livro didático e de sua relevância educacional(MEGID-NETO e FRANCALANZA, 2003, p.148).

No entanto, a partir de estudos que analisam materiais didáticos, é possível afirmar que os livros estão deixando a desejar na inclusão dos Estudos CTS no seu conteúdo:

as atividades propostas não permitem desenvolvimento de criticidade, de espírito de busca, de atitudes para atividades em grupo, de raciocínio. Não permitem a exposição e debates de ideias, a análise sob diferentes pontos de vistas para os fenômenos ocorridos, não existem sugestões de trabalhos em equipes, que incentivem o respeito a opiniões alheias, que desenvolvam um espírito de cooperação e de respeito entre os estudantes, e que, por fim, possibilitem a tomada de decisões (SÁ e FILHO, 2009, p. 165).

A inclusão de discussões acerca das relações entre a Ciência, a Tecnologia e Sociedade no livro didático possibilitará que o professor inclua esses temas em suas práticas pedagógicas diárias, sendo parte fundamental da consolidação da educação para a cidadania. “É de grande valia que os livros didáticos se apóiem em tais pilares na tentativa de atingir a todos os objetivos por que prima a educação atual” (SÁ e FILHO, 2009, p. 165), se tornando desta maneira um livro mais completo para utilização do professor.

2.5 Ensino de Biotecnologia

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), o ensino de biologia deve conceder bases para que o aluno possa:

subsidiar o julgamento de questões polêmicas, que dizem respeito ao desenvolvimento, ao aproveitamento de recursos naturais e à utilização de tecnologias que implicam intensa intervenção humana no ambiente, cuja avaliação deve levar em conta a dinâmica dos ecossistemas, dos organismos, enfim, o modo como a natureza se comporta e a vida se processa (BRASIL, 1998, p.14).

Um dos problemas mais freqüentes apontados pelos professores no ensino da Biologia no Ensino Médio são os conteúdos de genética, pois além de exigirem diversos conhecimentos em áreas como a biologia molecular e a citologia, requerem que os alunos possuam raciocínio lógico para interligar esses conhecimentos (MOREIRA, 2001; COSTA, 2000). Segundo Bonzanini (2005), a abordagem da Biotecnologia no Ensino Médio assume grande responsabilidade, pois o domínio dos conteúdos básicos é imprescindível para a compreensão das novas informações produzidas pelas pesquisas, que podem provocar alterações nas relações humanas:

O final do século XX foi marcado por inúmeras descobertas da Engenharia Genética, tais como as pesquisas do projeto genoma humano, a clonagem e o estudo das células-tronco, provocando intensos debates e inquietando diferentes setores da sociedade. Os impactos dessas descobertas alcançam não somente a sociedade, como a mídia e a escola e, consequentemente, o ensino de Ciências e Biologia sofre alterações e ganha novas questões para serem discutidas (BONZANINI, 2005, p.14).

Diariamente, através dos meios de comunicação, a população tem acesso a informações sobre os avanços científicos na área da genética, porém a compreensão dos alunos, professores e público em geral ainda deixa a desejar quanto aos seus fenômenos e desenvolvimento (SILVEIRA; AMABIS, 2003). Fato esse que pode resultar da recente inclusão dos conteúdos de Biologia Molecular, Genética e Biotecnologia nos currículos dos cursos de graduação, e assim a formação da maioria dos professores não é suficiente para atender as questões levantadas pelos alunos (LORETO e SEPEL, 2006). “O professor não tem segurança para ordenar e conduzir discussões sobre temas complexos e polêmicos como [...] cultivo de célu-

las tronco, clonagem terapêutica ou reprodutiva, alimentos transgênicos ou terapia gênica” (LORETO; SEPEL, 2006, p. 5).

Bizzo (1994) levanta uma questão acerca da aprendizagem desses conceitos pelos alunos, que no processo de formação de sua cidadania devem ser preparados para saber opinar eticamente sobre os progressos científicos da área. “A clonagem de embriões, a engenharia genética e o projeto genoma humano estão a questionar os educadores da atualidade; estarão os estudantes de hoje preparados para enfrentar essas discussões amanhã?” (BIZZO, 1994, p. 121). Para se posicionar diante dos avanços científicos e tecnológicos da Genética, os alunos precisam de uma base do conhecimento sobre o assunto, que será fornecida a eles através da escola por meio da educação científica (LORENZETTI, 2000). Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio levantam a importância da abordagem desses assuntos pelos professores nas aulas de biologia.

O desenvolvimento da Genética e da Biologia Molecular, das tecnologias de manipulação do DNA e de clonagem traz à tona aspectos éticos envolvidos na produção e aplicação do conhecimento científico e tecnológico, chamando à reflexão sobre as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (BRASIL, 1998, p.14).

As novas abordagens em Genética (clonagem, organismos transgênicos e etc.) são encontradas nos livros didáticos de forma inadequada e com erros conceituais (JUSTINA et. al, 2000; JUSTINA e BARRADAS, 2003; BONZANINI, 2005) e, apesar de sua inclusão desde os anos 1990, por vezes não recebem a devida atenção no ensino pois os professores não possuem uma formação teórica e prática atualizada para abordá-los em sala de aula (LORETO e SEPEL, 2006).

Mesmo antes de compreender quais eram os processos químicos ou biológicos que aconteciam na fermentação, o homem já utilizava a Biotecnologia no processo de fabricação de vinhos e pães, e com o acúmulo de conhecimentos e desenvolvimento da área definiu-se que quaisquer técnicas que “utilizam o DNA recombinante para gerar produtos ou serviços” (BORÉM e SANTOS, 2003, p.17) serão consideradas como Biotecnologia.

A criação e o desenvolvimento da tecnologia dos organismos geneticamente modificados e dos transgênicos fazem parte dessa grande área da ciência.

A primeira variedade de uma espécie vegetal produzida pela engenharia genética a atingir o mercado consumidor foi desenvolvida pela empresa americana de biotecnologia CalgeneCo, localizada em Davis, Califórnia. A variedade de tomate “FlavrSavr” lançada no mercado no dia 21 de maio de 1994 (BORÉM e SANTOS, 2003, p.48).

A variedade “FlavrSavr” continha dois genes externos. O primeiro produzia enzimas responsáveis pela quebra de moléculas de celulose, e o segundo conferia resistência da planta ao antibiótico canamicina (BORÉM e SANTOS, 2003, p.48). Já as primeiras plantas transgênicas desenvolvidas com a característica de tolerância a herbicidas foram produzidas pela empresa Monsanto. “Estas variedades são conhecidas como *RoundupReady*, uma vez que são tolerantes ao herbicida glifosato, cujo nome comercial é Roundup” (BORÉM e SANTOS, 2003, p.76).

Para cultivos em grandes áreas, as primeiras plantas geradas contendo genes para resistência a herbicidas e insetos foram soja, algodão, milho e canola. No Brasil, quatro variedades de soja transgênica foram registradas inicialmente, pela Monsoy, cuja resistência era a um produto secante que a própria empresa comercializava. (TAKAHASHI, MARTINS e QUADROS, 2008, p. 4)

Apesar de seu rápido avanço, a tecnologia da produção dos transgênicos sofre grande questionamento de alguns setores da sociedade.

Os benefícios desses produtos para a sociedade tem sido enfatizados pelos defensores da biotecnologia.[...] No entanto, os contrários à biotecnologia tem apresentado uma lista de preocupações que evidenciam forte apelo para a sociedade. Algumas das críticas aos transgênicos incluem: só atendem a interesses das multinacionais, não favorecem a agricultura auto-sustentável, só são direcionadas ao grande produtor e criam dependência de outros produtos das multinacionais. (BORÉM e SANTOS, 2003, p.85-86).

A compreensão dos cidadãos acerca do desenvolvimento dessas tecnologias é dificultada à medida que um grande número de inovações acontece em um período curto de tempo (TAKAHASHI, MARTINS e QUADROS, 2008). Essa tecnologia parece ser “cada vez mais difícil de ser entendida pelo cidadão ‘normal’ que, na

grande maioria das vezes, é usuário passivo dos avanços dessa área (TAKAHASHI, MARTINS e QUADROS, 2008, p. 3)”.

Pedrancini et al., (2008) investigaram as concepções de alunos do Ensino Médio sobre transgênicos e quais seriam suas opiniões sobre suas aplicações e implicações. Através da aplicação de questões dissertativas para 100 alunos da terceira série do Ensino Médio, foi possível identificar que os alunos já haviam ouvido falar sobre transgênicos, e em sua maioria a fonte era a mídia e não o ambiente escolar. Os alunos apresentaram grande dificuldade em esclarecer corretamente alguns termos relacionados ao tema.

Takahashi, Martins e Quadros (2008) também investigaram como alunos e professores de Ensino Médio se posicionavam criticamente a respeito dos alimentos transgênicos, através da aplicação de um questionário para 30 alunos e 20 professores que abordava pontos como a fonte das informações sobre os transgênicos, opiniões de consumo próprio e definições do que são alimentos transgênicos.

Os resultados indicaram que a principal fonte de informações sobre os transgênicos era a mídia, e o conhecimento por parte dos alunos apresentava diversas lacunas, já que, quando questionados sobre a ingestão de alimentos transgênicos, muitos alunos afirmavam consumi-los, mas em outra questão afirmavam desconhecer qualquer tipo de alimento transgênico.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho pode ser dividida em três etapas: levantamento bibliográfico, estabelecimento das categorias a serem analisadas e análise dos livros com sua posterior interpretação dos resultados. O estabelecimento das categorias a serem utilizadas na análise de conteúdo dos livros se deu a partir do levantamento de referenciais teóricos de ensino de ciências e Estudos CTS, de trabalhos que realizaram análise de livros didáticos e dos critérios de avaliação do Guia do PNLD (BRASIL, 2014).

A análise de conteúdo, segundo Bardin (1977), pode ser definida como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1977, p.48).

Segundo Bardin (1977), a técnica da análise de conteúdo possui seus primeiros registros a partir dos anos iniciais do século XX em estudos quantitativos na área jornalística nos Estados Unidos. Passou a ser utilizada nas pesquisas em ensino de ciências a partir de 1970 (GUEDES, 1992). Atualmente é uma técnica de análise empregada em diversas áreas: historiadores investigam cartas do período da Segunda Guerra Mundial, e publicitários estudam significações de uma campanha para determinado produto. “A análise de conteúdo (seria melhor falar de análises de conteúdo) é um método muito empírico, dependente do tipo de fala a que se dedica e do tipo de interpretação que se pretende como objetivo” (BARDIN, 1977, p.32).

A análise de conteúdo requer o estabelecimento de categorizações em três polos cronológicos: pré-análise, em que o pesquisador escolhe e organiza o material a ser analisado; exploração do material, da qual o pesquisador faz inferências para a formulação de categorias de acordo com os objetivos da investigação; e interpretação dos resultados, quando o pesquisador volta aos marcos teóricos pertinentes para que os dados brutos sejam lidos de maneira a serem significativos e válidos (BARDIN, 1977).

O momento da escolha dos critérios de classificação depende daquilo que se procura ou que se espera encontrar. O interesse não está na simples descrição dos conteúdos, mesmo que esta seja a primeira etapa necessária, para se chegar à interpretação, mas em como os dados poderão contribuir para a construção do conhecimento após serem tratados (OLIVEIRA et al., 2003, p.4).

Essa metodologia, segundo Oliveira et al. (2003), fornecerá meios para que a análise seja mais do que uma simples verificação do que está posto no conteúdo; fundamentando um tratamento dos dados que terá o objetivo de “categorizar para introduzir uma ordem, segundo certos critérios, na desordem aparente” (OLIVEIRA et al, 2003, p. 4).

3.1 Escolha do material analisado

O material didático escolhido para análise é composto de cinco coleções de livros didáticos para o Ensino Médio, sendo quatro coleções disponíveis para escolha de compra das escolas segundo o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), em 2015, utilizados pela rede estadual de ensino na cidade de Bauru e uma coleção do material apostilado utilizado nos cursinhos comunitários da UNESP, proveniente de licitação anual de compra. Devido às diferentes organizações didáticas, o tema dos transgênicos é encontrado em diferentes volumes.

As coleções analisadas foram:

- Livro 1: Coleção Ser Protagonista Biologia, Edições SM, volume 3, 2013;
- Livro 2: Bio, Editora Saraiva, volume 2, 2013;
- Livro 3: Conexões com a Biologia, Editora Moderna, volume 3, 2013;
- Livro 4: Apostilado Ético (Cursinho), Editora Saraiva, volume 4, 2013;
- Livro 5: Biologia Hoje, Editora Ática, volume 3, 2013.

3.2 Estabelecimento das categorias de análise

O Programa Nacional do Livro Didático disponibiliza aos professores e gestores das escolas atendidas pelo programa um guia que é um documento que poderá auxiliar na escolha da obra. O Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) contém uma introdução dos critérios que foram avaliados nas obras, os pré-requisitos obrigatórios para que uma coleção de livros pudesse ser avaliada e um resumo das resenhas realizadas pelos avaliadores.

O papel principal do Guia é apresentar as principais características das coleções aprovadas, por meio das resenhas que o compõem. Ao expor os critérios de avaliação que orientam o Programa Nacional do Livro Didático, bem como as idéias sobre as novas diretrizes curriculares que orientam o ensino médio, o ensino de Biologia e a formação de professores (BRASIL, 2014, p.8).

O Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) sustenta que a avaliação não ignorou a realidade da educação básica na sociedade contemporânea, ou seja, teria considerado as demandas atuais da educação, dando atenção as rápidas mudanças que ocorrem na ciência e tecnologia, na cultura e artes e no trabalho.

Segundo o Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014, p. 15), alguns critérios de avaliação do material são:

- Utiliza a contextualização e a interdisciplinaridade como premissas básicas para a organização didático-pedagógica dos assuntos e o desenvolvimento das atividades;
- Observância de princípios éticos necessários à construção da cidadania e ao convívio social republicano;
- Desenvolve os conteúdos e apresenta as atividades de forma contextualizada, considerando tanto a dimensão histórica da produção do conhecimento quanto a dimensão vivencial dos estudantes, no que se refere à preparação para a vida e para o mundo do trabalho;
- Organiza os conhecimentos biológicos com base em temas estruturadores, como origem e evolução da vida; identidade dos seres vivos e diversidade biológica; transmissão da vida, ética e manipulação genética, interação entre os seres vivos e desses com o ambiente; qualidade de vida das populações humanas;
- Auxilia na construção de que os conhecimentos biológicos e as teorias em Biologia se constituem em modelos explicativos elaborados em determinado contexto, superando visão a-histórica;

- Possibilita a participação nos debates de temas contemporâneos que envolvam conhecimentos biológicos;
- Possibilita o reconhecimento das formas pelas quais a Biologia faz parte das culturas e influencia a visão de mundo;
- Contribui para que os conhecimentos biológicos sirvam para reconhecer formas de discriminação racial, social, de gênero, bem como para a formação de atitudes, posturas e valores que eduquem os cidadãos no contexto étnico-racial para a construção de uma sociedade democrática.

Foram estabelecidas, a partir dos critérios do Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) e do referencial teórico apresentado, incluindo as possibilidades exploradas pela literatura especializada que revisamos, 18 categorias de análise para os livros didáticos selecionados, a saber:

1. O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?

Descrição: Esta categoria registra se estão incluídos nos materiais textos que contextualizem os transgênicos na atualidade para o aluno relacionar os conteúdos com seu cotidiano, por exemplo, com notícias veiculadas nos meios de comunicação.

2. O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra se são comentados fatos históricos acerca de produção, distribuição, pesquisas ou legislação que possam contribuir com a compreensão do tema pelo aluno e com a compreensão de como esse conhecimento foi desenvolvido.

3. Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à compreensão de que a ciência não é neutra e imparcial, e se o material contém textos ou atividades que discutam a presença de interesses políticos e econômicos no desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos.

4. O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à compreensão do papel do cientista na construção do conhecimento científico.

5. O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?

Descrição: Esta categoria registra a presença de sugestões de jornais ou revistas ou filmes ou qualquer outra fonte de informação que possam possibilitar a melhor compreensão do tema como um tema complexo.

6. O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos sobre aspectos como os benefícios de lavouras mais produtivas, diminuição dos impactos ambientais ou o aumento da produtividade com a utilização de alimentos transgênicos.

7. O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados aos alegados benefícios advindos da disseminação de transgênicos, como a menor emissão de gases poluentes por espécies transgênicas.

8. O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à utilização de transgênicos em outros setores industriais como têxteis ou químicas.

9. O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à produção de medicamentos e vacinas a partir de espécies transgênicas.

10. O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados a alimentos, remédios, produtos e animais transgênicos com a sociedade no qual estão sendo produzidos e utilizados.

11. O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à lei de Biossegurança ou outras implicações legais para pesquisa, produção, testes de mercado, distribuição, rotulagem e consumo.

12. O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à entrada dessa tecnologia no país, a demanda de produção e outros fatores como clima ou a alegada necessidade da redução de áreas de cultivo em um país com grande extensão territorial.

13. O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à obrigatoriedade da rotulagem em diferentes países, além da transparência nos processos de produção para que o consumidor possa ter o direito de escolher se deseja ou não consumir produtos de ordem transgênica.

14. Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados à existência de outros produtos que competem com os alimentos transgênicos e quais os incentivos ou dificuldades dadas aos produtores.

15. O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o consequente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados a aspectos como a dispersão dos genes modificados introduzidos para outras culturas a partir da relação entre diferentes espécies durante a reprodução natural dessas espécies no meio ambiente e outras consequências para os ecossistemas modificados.

16. O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados a aspectos como o desenvolvimento de espécies transgênicas para diminuir o uso de agrotóxicos ou a exclusividade do agrotóxico produzido pela mesma empresa que manufatura sementes transgênicas.

17. O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados a aspectos como a produção de novas espécies como processo artificial de fecundação.

18. Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?

Descrição: Esta categoria registra a presença de conteúdos relacionados a pesquisas sobre o tema e quais os resultados encontrados sobre possíveis riscos do consumo de produtos transgênicos para a saúde humana.

As categorias 1, 2, 3 e 4 buscaram identificar aspectos discutidos na seção 2.1, avaliando se o material analisado contextualiza o tema da transgenia em relação à evolução histórica do conhecimento científico e aos interesses envolvidos na produção da ciência.

As categorias 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, e 17 trazem questionamentos da área de Estudos CTS sobre como poderia ser o enfoque do aprendizado de temas transversais, considerando a contextualização do tema, a tomada de decisões e os valores envolvidos no tema, além de questões econômicas, políticas, sociais e éticas.

As categorias 5, 12, 14, 15, 16 e 18 apuram aspectos como a presença de fontes complementares e conteúdos como a dispersão dos genes no meio ambiente, o uso de agrotóxicos ou a saúde do consumidor, além da questão dos alimentos orgânicos.

A análise foi realizada separadamente sobre a abordagem teórica – denominada ‘teoria’ nas tabelas com os resultados das análises – e a seção de atividades – denominada ‘atividade’ nas tabelas – de cada um dos livros. A determinação de variáveis para a análise de conteúdo sob cada uma das 18 categorias formuladas beneficiou-se do conhecimento trazido pela literatura especializada que foi revisada na seção 2.4 deste trabalho. Para cada uma das categorias, foi registrado se o critério descrito estava presente (S) ou ausente (N) na abordagem teórica do tema dos transgênicos e na seção correspondente de atividades de cada um dos cinco livros didáticos analisados. As variáveis para cada uma das 18 categorias são:

1. Presença significativa (S1);
2. Presença pictórica (imagens) (S2);
3. Presença gráfica ou por meio de tabelas (S3);
4. Presença em quadro complementar (S4).

Quando a categoria estivesse presente (S) foi ainda classificada em relação à quatro variáveis. A variável S1 foi adotada quando a presença da categoria se fizesse de forma significativa naquele determinado material, ou seja, quando a abordagem ao tema se deu por meio do texto principal teórico ou de exercícios, ocupando grande parte das seções e recebendo a devida importância no material. A variável S2 foi adotada quando a presença do critério de determinada categoria se deu por meio pictórico, de imagens, um recurso importante para ilustrar determinados processos biológicos e cenários ambientais. Já os gráficos e tabelas, recursos fundamentais para introduzir dados e possíveis estatísticas, por exemplo, foram avaliados por meio da variável S3. Por fim, a variável S4 foi adotada quando a presença da categoria ocorreu por meio de quadros complementares ao texto principal dos materiais analisados.

4. RESULTADOS

Apresentaremos a seguir os dados oriundos da análise da amostra de livros selecionados.

4.1 Livro 1: Ser Protagonista, Edições SM, volume 3, 2013.

A coleção “Ser Protagonista” é dividida em três volumes e o assunto dos transgênicos é abordado no Volume 3, que contém 311 páginas. A editora da coleção é Tereza Costa Ozório.

A primeira unidade do livro que inicia o volume para a terceira série do Ensino Médio traz como título “Genética” e é composta por oito capítulos. A transgenia é apresentada somente no Capítulo 8, de título “Biotecnologia”. Na introdução da unidade, é apresentada uma fotografia de várias variedades e cores de espigas de milho. A seção “Para começar” questiona: “As espigas de milho da fotografia são variedades da espécie *Zea mays*. O que essas espigas têm em comum? Na sua opinião, como surgiram as variedades de milho?” (OZÓRIO, 2013, p. 11).

A Tabela 1 apresenta os resultados da avaliação do Livro “Ser Protagonista”, realizada conforme os critérios metodológicos que estabelecemos.

Tabela 1: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Ser Protagonista”

Categoria/Critério	Teoria	Atividade
1-O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?	S2	S1
2-O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?	N	S1
3-Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?	S4	S1
4-O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?	N	N
5-O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?	N	S4
6-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?	N	S3
7-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?	N	N
8-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?	N	N
9-O material apresenta ou levanta a discussão acerca os benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?	S1	S1
10-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?	S4	S1
11-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?	S4	S1
12-O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?	N	N
13-O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?	S4	S1
14-Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?	N	N
15-O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o conseqüente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?	S4	S3
16-O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?	S1	S3
17-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?	N	S4
18-Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?	N	S1

Segundo o Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014), a coleção “Ser Protagonista” é composta por obras que apresentam ao aluno uma versão da ciência como fruto da construção humana, sujeito a mudanças e relacionada com aspectos sociais, históricos, culturais e tecnológicos.

A interdisciplinaridade e contextualização dos conteúdos, o desenvolvimento de competências e habilidades, a ênfase nas relações entre ciência, tecnologia e sociedade, a compreensão do caráter histórico do conhecimento científico, a proposição de processos avaliativos e de atividades que estimulem a iniciativa e a formação crítica constituem os elementos da abordagem pedagógica e metodológica utilizados na composição da obra (BRASIL, 2014, p. 77).

A abordagem sobre transgenia no Capítulo 8, Volume 3, da coleção “Ser Protagonista” obteve a classificação S2 na categoria de análise 1. Isso porque houve primeiramente a contextualização do tema dos transgênicos através de uma extensa fotografia de um consumidor no supermercado escolhendo diferentes pacotes de feijão na introdução do Capítulo (p. 110). Na página 117, o livro traz duas fotografias mostrando o cultivo *in vitro* de soja transgênica, uma plantação e a semente resultante que será a parte comestível desse alimento.

Para o tema dos transgênicos, foram reservadas quase duas páginas, que contêm: explicação teórica sobre os organismos geneticamente modificados; histórico; ilustrações sobre soja transgênica; e dois quadros complementares.

Essa abordagem condiz com a avaliação feita pelo guia, que sustenta que as obras dessa coleção exploram aspectos históricos da produção do conhecimento científico e aspectos da vivência dos estudantes, principalmente em textos complementares e seções de aprofundamento.

Dados da História da Ciência são apropriados tanto no texto principal para o esclarecimento da produção de conceitos biológicos quanto em textos complementares. Do mesmo modo, se faz presente uma preocupação com a historicidade dos conteúdos e conceitos abordados. O entrelaçamento de conhecimentos biológicos, sociedade e tecnologia está presente, especialmente nos textos complementares (BRASIL, 2014, p. 74).

A abordagem sobre transgenia no Capítulo 8, Volume 3, da coleção “Ser Protagonista” apresentou cinco quesitos encontrados em quadros complementares,

como “Biologia se discute” (Figura 1), no qual foram abordadas informações referentes às categorias de análise 3, 10, 11 e 13.

Este material foi classificado como S4 na categoria3, que avalia o direcionamento para discussões sobre o interesse envolvido no desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos. O quadro complementar “Biologia se discute” levanta dados importantes sobre o avanço nessa área da pesquisa científica e as discussões geradas acerca do risco desses produtos, para a saúde e para o meio ambiente, por meio da hibridização das espécies transgênicas inseridas no mercado. Além disso, o quadro aborda a legislação sobre o assunto e os órgãos de regulamentação e comissões, e a influência dos diferentes setores da sociedade, como políticos e empresários, no desenvolvimento dessa tecnologia. Por isso, nas categorias 10, 11 e 15, que elas avaliam a presença de discussões sobre a relação com as questões sociais, políticas e a dispersão dos genes introduzidos e o seu impacto na biodiversidade, respectivamente, o material recebeu classificação S4.

Nas Figuras 1 e 2, apresentamos dois quadros complementares deste livro, “Biologia se discute” e “Saiba mais”, em que diversas categorias foram abordadas. O quadro “Biologia se discute” levanta questões sobre os riscos à saúde pelo consumo de transgênicos, além do potencial de hibridização com outras espécies e sua possível dispersão no meio ambiente. Também são abordados os órgãos reguladores e a Lei de Biossegurança. Já o quadro complementar “Saiba mais” traz a figura de um recipiente de óleo de soja com a sinalização do rótulo, perguntando ao aluno se ele saberia identificar o símbolo destacado. Desta maneira, propôs a discussão sobre o direito do consumidor na escolha do consumo desses alimentos e da regulamentação legal sobre o assunto, o que é avaliado na categoria 13, e por isso o material recebeu a classificação S4 nesse item.

Biologia se discute

O debate em torno dos transgênicos

A discussão sobre os possíveis riscos ao ambiente e à saúde representados pelos OGMs vem crescendo com os avanços tecnológicos para o desenvolvimento desses produtos.

Entre os riscos considerados da inserção de genes no genoma de um organismo está o da produção de novas proteínas alergênicas ou de substâncias que provoquem efeitos tóxicos não identificados em testes preliminares. Também são avaliadas as possibilidades de que os OGMs possam prejudicar outras espécies, ou de que genes que confirmam resistência a herbicidas possam emigrar para o genoma de ervas daninhas por hibridização entre as espécies.

Para evitar que problemas desse tipo aconteçam, os países vêm adotando protocolos de biossegurança para controle e vigilância antes de autorizar a liberação de OGMs no ambiente.

No Brasil, a regulamentação para produção e comercialização de transgênicos é estabelecida pela Lei de Biossegurança, implementada em 2005. Essa lei determina que as variedades de transgênicos sejam analisadas e aprovadas por duas comissões antes de serem produzidas em escala comercial: a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS).

Além de passar pela aprovação dessas comissões, os produtos transgênicos devem atender às exigências de mais quatro órgãos: a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

O debate na sociedade em torno dos transgênicos está dividido e envolve representantes de diferentes setores, além da comunidade científica, como políticos, empresários e religiosos.

Figura 1: Reprodução do quadro “Biologia se discute”, Capítulo 8, Livro Ser Protagonista, Volume 3, 2013, p. 117.



Figura 2: Reprodução do quadro Saiba mais, Capítulo 8, Livro Ser Protagonista, Volume 3, 2013, p. 120.

O Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) ainda destaca que, nessa coleção, algumas seções como “Ciência, Tecnologia e Sociedade”, “Biologia se discute” e “Ação e cidadania” favorecem “a participação do/a aluno/a, os debates de temas contemporâneos e o desenvolvimento de práticas pedagógicas dinâmicas pelo/a professor/a” (BRASIL, 2014, p. 77).

A abordagem sobre transgenia no Capítulo 8, Volume 3, da coleção “Ser Protagonista” recebeu a classificação S1 na categoria 9, pois os benefícios para saúde a partir da tecnologia dos transgênicos são abordados no texto nas páginas 116 e 117. Os autores trazem diversos exemplos para demonstrar esses benefícios, como a produção do fator anti-hemofílico a partir do leite de vacas e cabras transgênicas e a utilização de ratos transgênicos para testes em laboratórios de pesquisa sobre diversos tipos de câncer. Outra categoria que recebeu classificação S1 neste livro foi a de número 16. A relação dos transgênicos com a utilização de agrotóxicos foi abordada no corpo do texto nas páginas 116 e 117, nas quais são apresentadas espécies resistentes a herbicidas produzidas por essa tecnologia.

Nas atividades, de maneira geral, há discussões acerca dos alimentos transgênicos que não haviam sido desenvolvidas na parte teórica. Sete exercícios abordaram o tema dos transgênicos, incluindo questionamentos sobre os interesses subjacentes à produção científica, o impacto e os benefícios sobre o cultivo dos transgênicos, o histórico da biotecnologia, o impacto na biodiversidade e a rotulagem.

As categorias 1, 2 e 3 receberam a classificação S1, pois foram abordadas no corpo do texto de exercícios. O livro traz textos e perguntas que contextualizam o tema para o aluno, além de conter dados sobre a evolução histórica do conhecimen-

to e proporcionar discussões sobre o interesse do desenvolvimento da tecnologia em questão.

O quadro complementar da página 127 “Para explorar” traz sugestões de livro, site e filme para que o aluno se aprofunde nos temas abordados,. Por isso, na categoria 5 recebeu a classificação S4.

O exercício 5, da página 121, direciona o aluno a observar um gráfico sobre as características incorporadas a plantas transgênicas, como tolerância a herbicidas, insetos e fungos, e a responder duas questões sobre vantagens econômicas e desvantagens em geral no plantio e consumo dessas plantas. As categorias 6, 15 e 16, que se referem a aspectos como os benefícios relacionados à agricultura, a dispersão dos genes introduzidos e o impacto na biodiversidade e o uso de agrotóxicos, respectivamente, receberam a classificação S3, pois foram abordadas por esse exercício.

Já as categorias 9, 10, 11, 13 e 18 receberam a classificação S1, já que estiveram presentes no corpo do texto dos exercícios 2, 12 e 14. Esses exercícios discutiram benefícios e riscos dos transgênicos para a saúde, sua relação com questões sociais e políticas e o exercício 14, em específico, trouxe a questão da rotulagem.

Por fim, como última atividade do capítulo, o livro traz o “Projeto um: Biotecnologia na mídia: exposição e análise de reportagens sobre biotecnologia”. Os alunos são instruídos a buscar textos em diversas fontes que discutam questões éticas e legais, entre outras, sobre o tema, propondo a apresentação aos colegas na forma de mural. Por isso, o livro obteve a classificação S4 na categoria 17.

O Gráfico 1 permite a visualização das características da abordagem sobre transgenia do livro “Ser Protagonista” conforme categorias de análise de conteúdo.

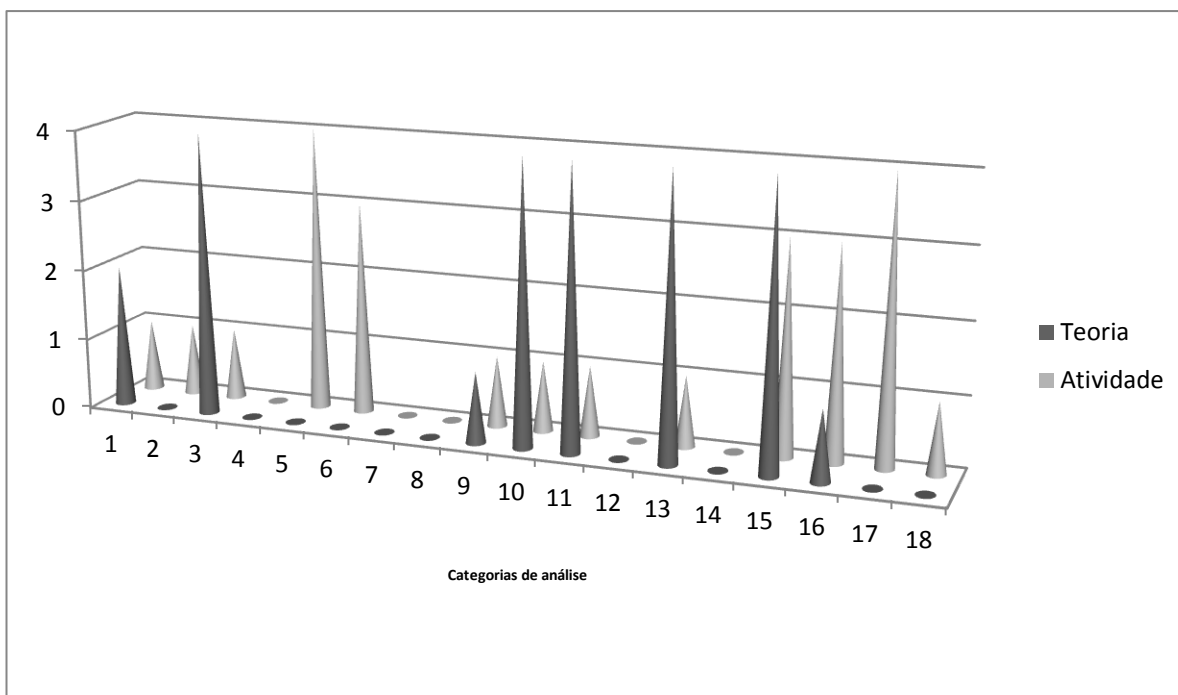


Gráfico 1: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Ser Protagonista”.

Podemos verificar segundo o Gráfico 1 que as categorias 4, 7, 8, 12 e 14 estiveram ausentes nas atividades do livro analisado e também não foram encontradas na parte teórica. Já as categorias de análise 2, 5, 6, 17 e 18 não estiveram presentes apenas na parte teórica do material. Na parte teórica foi possível verificar que cinco de oito categorias presentes foram encontradas na forma S4, de quadro complementar.

4.2 Livro 2: Bio, Editora Saraiva, volume 2, 2013

A coleção “Bio” é dividida em três volumes, e o tema dos transgênicos é abordado no Volume 2, que contém 320 páginas. Os principais autores dessa coleção são Sônia Lopes e Sérgio Rosso.

O livro “Bio”, da editora Saraiva, segundo o Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) valoriza a interdisciplinaridade, a pesquisa como estratégia pedagógica, o levantamento de temas contemporâneos e a contextualização. No material estão presentes seções como “Colocando em foco” e “Tema para discussão”, as quais “se destacam por considerar tanto a dimensão histórica da produção do conhecimento quanto a dimensão vivencial dos/as estudantes” (BRASIL, 2014, p. 35).

A Tabela 2 apresenta os resultados da avaliação do Livro “Bio”, realizada conforme os critérios metodológicos que estabelecemos.

Tabela 2: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 2, da coleção “Bio”.

Categoria/Critério	Teoria	Atividade
1-O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?	S1	S1
2-O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?	N	N
3-Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?	N	S4
4-O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?	N	N
5-O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?	N	S1
6-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?	S1	S4
7-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?	N	S4
8-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
9-O material apresenta ou levanta a discussão acerca os benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
10-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?	N	S1
11-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?	N	N
12-O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?	N	S4
13-O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?	N	N
14-Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?	N	N
15-O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o conseqüente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?	N	S1
16-O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?	N	S4
17-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?	N	N
18-Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?	N	S4

Nessa coleção, o assunto Transgênicos é abordado no Volume 2, Unidade 2: Genética, nos capítulos 5 e 9, sendo que no Capítulo 9 ele é aprofundado. O quadro complementar “Pense nisso” introduz algumas questões sobre o assunto nos dois capítulos como a variedade de espécies de milho e a relação da genética com isso e a definição de um organismo transgênico.

No Capítulo 5, a diferenciação entre o que é considerado engenharia genética e melhoramento genético é abordada, além da contextualização dos transgênicos no cotidiano do aluno por meio de exemplos de plantas transgênicas produzidas artificialmente. No Capítulo 9, sobre biotecnologia, há um texto introdutório que explica o que é essa área da ciência e apresenta os assuntos que neste capítulo serão trabalhados. Ao final da introdução questiona os benefícios do desenvolvimento da Biotecnologia em contraposição aos padrões éticos e a morais.

Já abordamos ao longo dos capítulos anteriores vários temas envolvendo a biotecnologia, além de alguns aspectos éticos que merecem ser debatidos. Essa tecnologia tem um lado bom, que pode ser usado para a melhoria da vida em nosso planeta, mas tem também um lado ruim, quando não utilizada dentro de padrões éticos e morais (LOPES e ROSSO, 2013, p. 252).

É disponibilizado o espaço de duas páginas e meia para tratar sobre os organismos transgênicos em específico, trazendo diversos exemplos de técnicas de manipulação aplicadas à saúde, agricultura e indústria, sem questionar os riscos acerca dessas técnicas, ou a polêmica existente, no âmbito político, social ou legal.

A abordagem sobre transgenia no Capítulo 9, Volume 2, da coleção “Bio” obteve a classificação S1 nas categorias de análise 1, 6, 8 e 9. Isso porque no corpo do texto principal, a partir dos exemplos que foram apresentados, as questões avaliadas nas categorias citadas foram abarcadas. A contextualização do tema no cotidiano do aluno, a demonstração de benefícios para a agricultura por meio da produção de plantas resistentes a insetos e fungos, a exemplificação dos benefícios para a indústria por meio da produção de tabaco com genes modificados de mexilhões produzindo cola e para a saúde através da pesquisa com camundongos fluorescentes a fim de marcar células cancerígenas são exemplos citados.

A Figura 3 reproduz duas fotografias que trazem exemplos de transgênicos para os alunos. O grande número de exemplos com fotografias aproxima a realidade do aluno à tecnologia que está sendo apresentada.

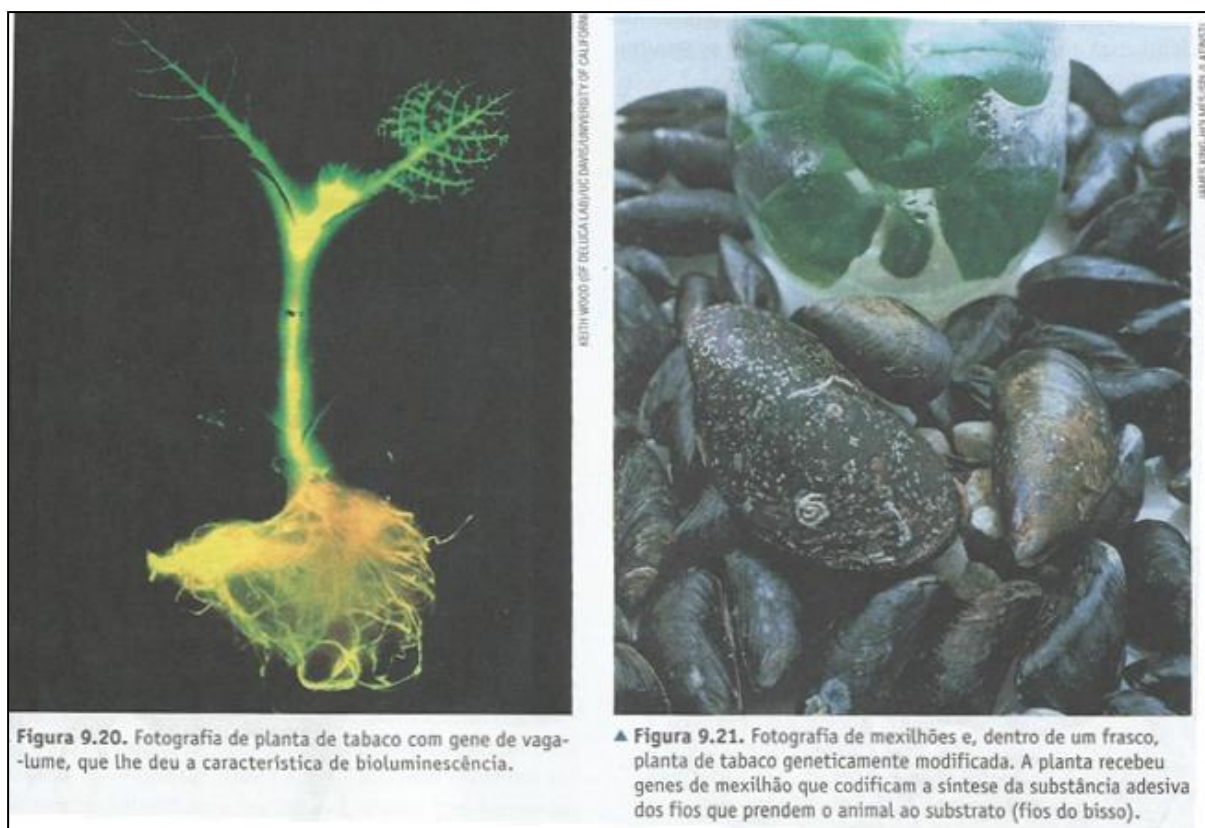


Figura 3: Reprodução de figuras do Capítulo 9, Livro “Bio”, Volume 2, 2013, p. 265.

A seção “Colocando em foco” é destacada pelo Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) como a principal seção do livro em que temáticas relacionadas à saúde humana, como a pesquisa com células-tronco, questões socioambientais como as mudanças climáticas e temas contemporâneos polêmicos como os transgênicos serão abordados. “Uma proposta didática que visa à formação de posturas e valores – envolvendo dimensões sociais, políticas e culturais – encontrará nas seções e boxes apoio mais substancial que nos textos principais, com destaque para a seção Colocando em foco” (BRASIL, 2014, p.36). No entanto, as seções “Colocando em foco” do capítulo de Biotecnologia tratam de terapia gênica como tratamento para doença degenerativa e uso de animais transgênicos na medicina, não existindo no tratamento do tema da transgenia, portanto, a abordagem social, política e cultural que o guia explicitamente valoriza. Vale ainda ressaltar que em nenhum outro quadro “Colocando em foco” do livro o assunto dos transgênicos é abordado, sendo o espaço geralmente utilizado para introduzir mais conteúdos específicos. Por exemplo, no Capítulo 7, onde são abordadas as heranças genéticas

de dois pares de alelos, os quadros “Colocando em foco” tratam dos assuntos co-dominância, eritroblastose fetal e transfusão sanguínea.

O Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) ainda afirma que o livro contém “abordagens que favorecem um entendimento sócio-histórico da produção científica, propondo-se discussões com os/as estudantes sobre o papel dos avanços científicos na sociedade, inclusive quando geram relações sociais tensas, como no caso da discriminação genética” (BRASIL, 2014, p. 36).

Nas atividades, dois exercícios abordam a temática. O primeiro exercício pertence à seção “Ampliando e integrando conhecimentos” e apresenta, em um quadro, dez argumentos sobre aspectos positivos e negativos acerca dos transgênicos. O exercício direciona o aluno a buscar mais informações sobre argumentos contra e a favor dos transgênicos, se posicionando sobre o assunto. A seguir pede ao aluno para produzir um texto e postar em um blog na internet, gerando assim um meio potencial de discussão online sobre o tema. O quadro desta atividade pode ser verificado na Figura 4. O segundo exercício aborda alegados benefícios do plantio da soja transgênica.

Atividade 3: Alimentos transgênicos

Quando o assunto é a produção e o consumo de alimentos transgênicos, há muita polêmica, principalmente a respeito das questões ambientais e de segurança alimentar. Leia alguns argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e outros a favor deles, elaborados a partir de opiniões de diversos profissionais: cientistas da área de biotecnologia e da área de ecologia, funcionários de empresas multinacionais que desenvolvem sementes transgênicas, grupos de defesa do meio ambiente.

As plantas transgênicas podem resolver o problema da fome no mundo, pois crescem mais rápido e evitariam que mais florestas fossem devastadas para atender à crescente demanda por áreas de plantio.

Segundo uma organização não governamental, há pesquisas indicando que o problema da fome poderia ser resolvido se houvesse distribuição justa dos alimentos. O mundo já produz alimento suficiente para toda a população, nem por isso há menos fome.

Ainda não há provas científicas de que os transgênicos trazem perigos para a saúde humana.

Há pesquisadores que confirmam que os alimentos transgênicos não oferecem perigo imediato, mas são necessários estudos de longo prazo para avaliar os riscos.

Agricultores afirmam que os transgênicos contribuem para a preservação do ambiente, pois plantas resistentes a pragas permitem o uso de quantidades muito menores de venenos.

O pólen de uma planta transgênica pode fecundar espécies nativas, alterando a biodiversidade natural.

Segundo empresas produtoras de sementes geneticamente modificadas, estudos demonstram que o plantio de soja transgênica reduz a erosão do solo em 90%.

Algumas variedades de milho receberam um gene de bactéria para produzir uma toxina mortal para os insetos-praga. A toxina pode atingir também outras espécies de insetos que habitam o milharal, mas não atacam a lavoura. O caso é crítico no Brasil, onde as espécies de insetos são muitas, e algumas nem são conhecidas.

Não há informações corretas para o consumidor sobre os alimentos transgênicos, causando medo na população. No Reino Unido, por exemplo, alimentos transgênicos foram rotulados de "comida Frankenstein".

Com plantas transgênicas resistentes a inseticidas e a herbicidas, pode-se aplicar mais agrotóxico que o normal, sem prejudicar a lavoura. A quantidade exagerada de veneno pode selecionar ervas-daninhas e insetos extremamente resistentes.

Você pode perceber que o debate é acirrado e que existem muitas informações conflitantes. Atualize-se sobre a questão, fazendo o seguinte:

- Procure em jornais, revistas e sites mais argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e a favor deles. Procure também saber quais são as últimas regulamentações sobre o cultivo de plantas transgênicas no país, consultando o site do Ministério do Meio Ambiente ou outras publicações. Com que posições você concorda?
- Produza um texto com as suas opiniões sobre o assunto e, junto aos colegas e ao professor, publique o texto em um blog feito pela turma. Use esse site para discutir e divulgar o que a turma pensa sobre o tema. Você pode incluir imagens, vídeos e links para outros sites, por exemplo.

Figura 4: Reprodução de atividade do Capítulo 9, Livro Bio, Volume 2, 2013, p. 271.

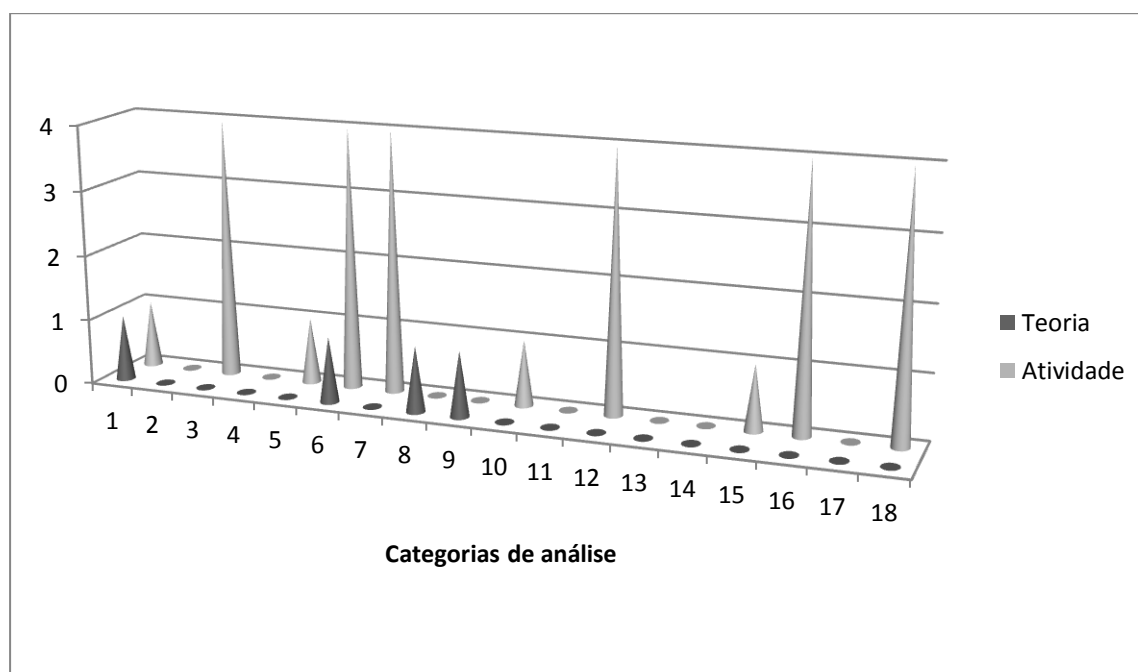
A abordagem sobre transgenia no Capítulo 9, Volume 2, da coleção “Bio”, na atividade 3 recebeu a classificação S4 nas categorias de análise 3, 6, 7, 12, 16 e 18, e a classificação S1 nas categorias 1, 5 e 10. A atividade em seu enunciado e questões propõe a busca de informações ao aluno de forma a contextualizar o assunto em seu cotidiano e a discussão acerca das opiniões de profissionais envolvidos e a situação legal da pesquisa no país. Já no quadro complementar, a partir de dez argumentos sobre o tema, aborda os alegados benefícios e riscos acerca da produção e consumo dos alimentos transgênicos, para a agricultura e meio ambiente, a necessidade brasileira de produzir esse tipo de alimento e o risco de contaminação da

biodiversidade local, além da falta de informações direcionadas ao consumidor sobre o tema.

Essa atividade respalda a avaliação do Guia de Livros Didáticos de Biologia sobre a utilização da pesquisa como recurso de apoio, já que sugere ao aluno a busca de novas informações sobre o tema. “A pesquisa aparece como importante recurso pedagógico e o estudante é constantemente estimulado a buscar informações em fontes diversas, e a realizar desde experimentos mais simples a projetos de pesquisa” (BRASIL, 2014, p.37).

O Gráfico 2 permite a visualização das características da abordagem sobre transgenia do livro “Bio” conforme categorias de análise de conteúdo.

Gráfico 2: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 2, da coleção “Bio”.



Podemos verificar que as categorias 2, 4, 11, 13, 14 e 17 não estiveram presentes na coleção “Bio”. Na parte teórica, as categorias 3, 5, 7, 10, 12, 15, 16 e 18 também estiveram ausentes, e nas atividades as categorias 8 e 9 também estiveram ausentes. É possível verificar ainda que a categoria 1 foi encontrada apenas na forma S1 e que mais da metade das categorias encontradas nas atividades foi encontrada em um quadro complementar, e não em exercícios.

4.3 Livro 3: Conexões com a Biologia, Editora Moderna, volume 3, 2013.

A coleção “Conexões com a Biologia” é dividida em três volumes, e o tema dos transgênicos é abordado no volume 3, que contém 303 páginas. A editora responsável da coleção é Rita Helena Brockelmann.

Segundo o Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014), a coleção “Conexões com a Biologia” apresenta temas estruturadores já consolidados na área de Biologia no espaço escolar e aborda de maneira diferenciada questões atuais como biopirataria.

A proposta pedagógica aponta a articulação entre os conhecimentos biológicos e aqueles de outros campos de saberes e a problematização como estratégia de ensino e de aprendizagem. Os conteúdos estão organizados a partir de premissas da educação como direito; de competências e habilidades; da interdisciplinaridade; da contextualização; e das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (BRASIL, 2014, p.63).

A Tabela 3 apresenta os resultados da avaliação do Livro “Conexões com a Biologia”, realizada conforme os critérios metodológicos que estabelecemos.

Tabela 3: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Conexões com a Biologia”.

Categoria/Critério	Teoria	Atividade
1-O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?	S4	S1
2-O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?	N	S1
3-Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?	N	N
4-O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?	N	N
5-O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?	S4	N
6-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?	S1	S1
7-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
8-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
9-O material apresenta ou levanta a discussão acerca os benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?	S1	S1
10-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?	N	S1
11-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?	N	S4
12-O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?	N	N
13-O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?	N	S4
14-Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?	N	N
15-O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o conseqüente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?	N	N
16-O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?	S1	N
17-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?	N	N
18-Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?	N	N

O Volume 3 da coleção “Conexões com a Biologia” reserva um espaço de uma página e meia de teoria para os transgênicos, no Tema 3 da Unidade 2. A ênfase é dada à teoria da produção de plantas geneticamente modificadas e aos alegados benefícios gerados por essa tecnologia. O único argumento apresentado que levanta discussões acerca dos riscos é a suposta ausência de provas de que os transgênicos poderiam fazer mal a saúde.

A abordagem sobre transgenia na parte teórica deste material obteve a classificação S1 nas categorias de análise 6, 7, 8, 9 e 16. No corpo do texto principal, é apresentada uma série de benefícios para agricultura, saúde, meio ambiente e indústria. O texto apresenta conteúdos sobre aspectos diversos, como plantas geneticamente modificadas que podem ser resistentes a pragas e herbicidas; produção de insulina para o tratamento de diabetes por bactérias geneticamente modificadas; benefícios ao meio ambiente pela produção de bactérias capazes de metabolizar componentes de petróleo em vazamentos no oceano; e bactérias transgênicas com o metabolismo eficaz para produzir etanol e auxiliar no tratamento de esgoto.

No quadro complementar “Principais pesquisas com OGM no Brasil”, reproduzido na Figura 4, são apresentados quatro exemplos de pesquisas com alface, feijão e soja transgênicos. Essas pesquisas, direcionadas à agricultura e saúde proporcionam a aproximação do desenvolvimento científico do tema com o cotidiano do aluno, e por isso o material obteve a classificação S4 na categoria de análise 1. A alface, por exemplo, segundo as pesquisas, recebe o gene para a produção de anticorpos que combatem a leishmaniose, o que poderia tornar as pessoas que se alimentarem desta alface imunes à doença.



Principais pesquisas com OGM no Brasil

“Polêmicas à parte, o fato é que o Brasil desenvolve dezenas de pesquisas com plantas transgênicas. [...] [Entre as mais importantes podemos citar:]

Alface – [...] [Com] um gene para resistência a fungo. O gene foi isolado de um cogumelo comestível chamado *Flammulina* [...]. O objetivo é testar as variedades geneticamente modificadas contra a *Sclerotinia*, um fungo que causa a podridão do alface. [...] [Em outro estudo está sendo desenvolvida] uma planta-vacina transgênica para combater a leishmaniose, uma doença infecciosa causada pelo protozoário do gênero *Leishmania*. Essa tecnologia consiste na introdução do gene da proteína Lack (antígeno da leishmaniose) em plantas de alface e tem como objetivo fazer com que as pessoas se tornem imunes à enfermidade com a simples ingestão da hortaliça.

Feijão – [...] [Já existem] plantas transgênicas de feijão para resistência ao vírus do mosaico dourado, considerado o pior inimigo da cultura na América do Sul. [...]

Soja – Além das variedades de soja transgênica para resistência a herbicidas, que já estão sendo desenvolvidas e prontas para serem testadas no campo, [...] [vem sendo testada uma] delas, de aplicação para a saúde humana, para expressar o hormônio do crescimento que, por ser muito caro, é pouco acessível à população. [...] Além do hormônio de crescimento, [...] um gene de um anticorpo, que pode ser eficaz na prevenção de vários tipos de câncer. [...]

Tolerância à seca – A partir de um gene isolado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), estão sendo iniciadas pesquisas para desenvolvimento de plantas de soja tolerantes à seca. O gene está sendo inserido em plantas de soja e, se der certo, será introduzido em outras culturas de importância socioeconômica. [...]

Fonte: FLORIANI, A. Conheça as principais pesquisas com OGMs no Brasil. *Repórter Terra*. Disponível em: <http://www.terra.com.br/reporterterra/transgenicos/pesquisas_brasil.htm>. Acesso em: 16 jan. 2013.

Figura 5: Reprodução de quadro complementar sobre pesquisas no livro “Conexões com a Biologia”, Volume 3, 2013, p.77.

A discussão levantada pela abordagem teórica concentra-se nos alegados benefícios trazidos pela tecnologia dos transgênicos. Não são discutidos os riscos e questionamentos acerca do tema neste volume.

Diante disso, não encontramos o que fora indicado no Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) como característica da obra em questão. Segundo o Guia, no livro “Conexões com a Biologia”, os conteúdos são discutidos à luz da sua produção histórica e da História da Ciência tanto para contextualizar as situações como para auxiliar no desenvolvimento dos conhecimentos científicos e tecnológicos” (BRASIL, 2014, p.66); e “as seções Ciência e Saúde, Ciência e Tecnologia e Ciência e Sociedade, com infográficos e outros recursos gráficos, oferecem oportunidades de debates de temas contemporâneos, contribuindo para a formação de posturas e atitudes a serem tomadas nos espaços socioculturais” (BRASIL, 2014, p.67).

O debate, quando proposto pelo livro “Conexões com a Biologia”, acontece no sentido de levantar os alegados benefícios acerca do desenvolvimento de organismos transgênicos e isso sugere que a proposta didática da compreensão dos valores envolvidos na produção científica não seria atingida.

Na página 92, o material apresenta um quadro complementar intitulado “Fique por dentro” com seis sugestões de sites, filme e livro para que o aluno possa aprofundar seus conhecimentos nos assuntos discutidos nessa unidade. Desta maneira, o volume 3 da coleção “Conexões com a Biologia” recebeu a classificação S4 na categoria de análise 5.

Nas atividades, quatro exercícios (25, 26, 27 e 28) abordam a temática dos transgênicos em uma seção denominada “Pensamento Crítico”, além de um quadro complementar “Valores e atitudes”.

Seguindo a mesma concepção da parte teórica do livro, os exercícios sobre alimentos transgênicos apresentam pontos sobre a história e os alegados benefícios do cultivo e consumo desses alimentos. Em uma seção em que o próprio nome indica que haverá alguma discussão sobre o tema (“Pensamento Crítico”), novamente o material traz apenas os supostos benefícios e ainda aponta que eles poderiam ser maiores caso não houvesse tanta burocracia e advertências contra os transgênicos.

O exercício proposto na seção “Pensamento Crítico” apresenta um texto base e quatro questões. Esse texto contém dados sobre o crescimento da tecnologia em diversos países através da área plantada com alimentos transgênicos, e as questões 26 e 28 perguntam ao aluno qual a relação do alimento transgênico com a sociedade humana, os benefícios para a indústria e a relação do desenvolvimento de insulina transgênica com a agricultura. As categorias de análise 1, 2, 6, 9 e 10 receberam a classificação S1.

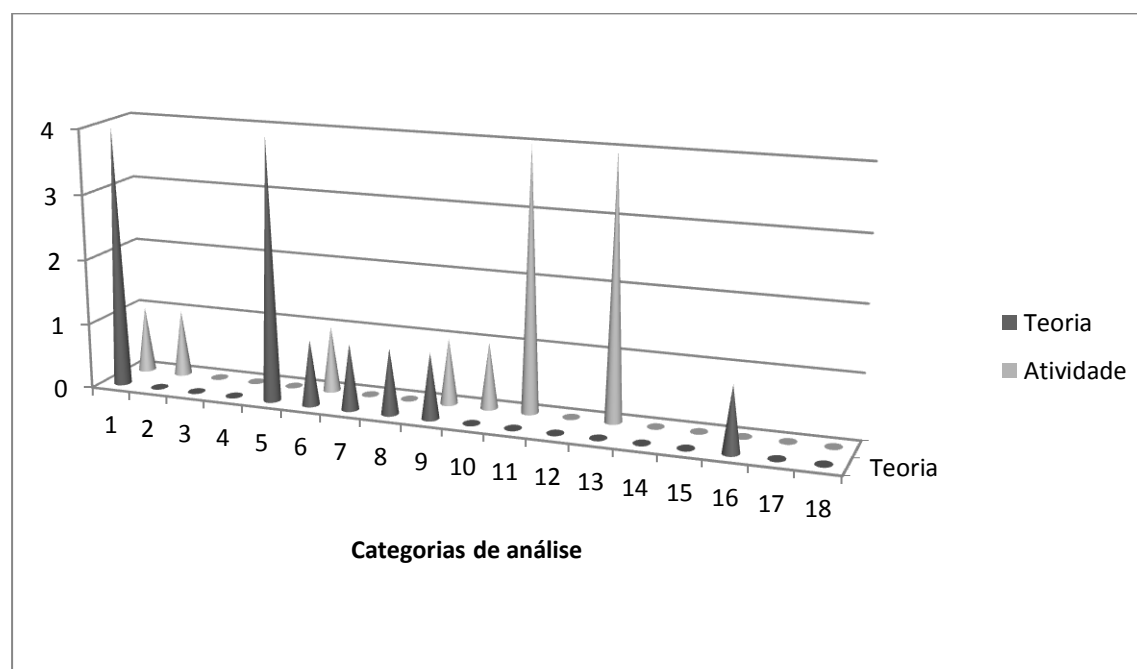
A abordagem sobre transgenia no Volume 3 da coleção “Conexões com a Biologia” nas atividades recebeu a classificação S4 nas categorias de análise 11 e 13. No quadro complementar “Valores e Atitudes” (Figura 5), estão informações sobre a legislação e alegados benefícios do plantio e consumo de transgênicos, e são acrescentadas três perguntas sobre a rotulagem, a lei de biossegurança e a opção de consumo de cada estudante.

Valores e atitudes	Responda em seu caderno
O Brasil já é o segundo país no mundo em área plantada com culturas transgênicas, principalmente de soja, algodão e milho. A regulamentação ocorreu em 2005 pela Lei de Biossegurança, e a quantidade de hectares em 2009 já estava em cerca de 21 milhões, ficando atrás apenas dos EUA com 64 milhões. Esse enorme crescimento só foi possível porque nossa lei permite a plantação e comercialização de organismos geneticamente modificados mesmo antes de qualquer estudo de impacto ambiental ou de riscos para a saúde.	1. Você já observou em rótulos de produtos a menção sobre organismos geneticamente modificados? Quais? Você os consome ou consumiria? Justifique. 2. O que você acha sobre a nossa Lei de Biossegurança? Como ela afeta o ambiente e a saúde da população brasileira? 3. Qual benefício um alimento transgênico deveria oferecer à população para que fosse inteiramente justificável seu lançamento no mercado sem testes rigorosos sobre seu impacto na saúde e meio ambiente? Proponha essa característica e justifique sua escolha.

Figura 6: Reprodução do quadro “Valores e Atitudes” do livro “Conexões com a Biologia”, Volume 3, 2013, p.91.

O Gráfico 3 permite a visualização das características da abordagem sobre transgenia do livro “Conexões com a Biologia” conforme categorias de análise de conteúdo.

Gráfico 3: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3, da coleção “Conexões com a Biologia”.



Podemos verificar que na coleção “Conexões com a Biologia” as categorias 3, 4, 12, 14, 15, 17 e 18 estiveram ausentes tanto na parte teórica quanto nas atividades. Na parte teórica, as categorias 2, 10, 11 e 13 também estiveram ausentes, e

nas atividades as categorias 7, 8 e 16 estiveram ausentes. Também é possível verificar que nessa coleção as categorias que estiveram presentes foram encontradas apenas nas formas S1 e S4, não apresentando o material imagens ou gráficos para abordar o tema dos transgênicos.

4.4 Livro 4: Apostilado Ético (Cursinho), Editora Saraiva, volume 4, 2013.

A coleção de apostilas do “Sistema Ético” é dividida em quatro volumes de apostilas de teoria e quatro volumes de atividades. O tema dos transgênicos é abordado no volume 4 de ambos.

Como se trata de um material vinculado aos cursinhos comunitários da UNESP e não ao PNLD, como as coleções anteriores, não incluiremos aqui observações relacionadas ao Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014).

O material analisado é dividido em 8 apostilas, 4 apostilas de teoria e 4 apostilas de atividade. O tema Biotecnologia é abordado na apostila 4, nas duas últimas aulas da frente C, “Citologia”. Trata-se de um material apostilado preparado especificamente para cursinhos pré-vestibulares. É um dos livros que mais disponibilizou espaço para o tema em questão: 12 páginas foram ocupadas no livro de teoria sobre Biotecnologia.

A Tabela 4 apresenta os resultados da avaliação da apostila do “Sistema Ético”, realizada conforme os critérios metodológicos que estabelecemos.

Tabela 4: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 4 das apostilas de Biologia do “Sistema Ético”.

Categoria/Critério	Teoria	Atividade
1-O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?	S1	S1
2-O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?	N	N
3-Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?	S1	N
4-O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?	N	N
5-O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?	N	N
6-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?	S1	N
7-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?	S1	S1
8-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?	N	N
9-O material apresenta ou levanta a discussão acerca os benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?	S3	N
10-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?	S1	N
11-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?	N	N
12-O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?	N	N
13-O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?	N	N
14-Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?	N	N
15-O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o conseqüente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?	S1	S1
16-O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?	S2	S1
17-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?	N	N
18-Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?	S1	N

O material não usa o termo *transgênico* e sim *organismos geneticamente modificados*, e faz um levantamento extenso das alegadas vantagens e desvantagens de sua produção. Apresenta ênfase na agricultura como, por exemplo, o procedimento de produção e a plantação de milho e soja por meio de figuras, mostrando a inserção de genes que tornariam a planta resistente a determinado agrotóxico. A categoria de análise 16 recebeu classificação S2.

O material aborda a relação entre o plantio de soja transgênica e o herbicida Round-up em três parágrafos, porém não menciona empresas privadas relacionadas ao herbicida.

Entre as coleções de livros analisados, é o único que levanta questões como a patente da tecnologia de produção dos alimentos transgênicos e a relação econômica com as empresas, a questão das sementes inférteis e da necessidade de o agricultor comprar novas sementes das empresas produtoras e o restrito número de empresas na área. As Figuras 7 e 8 reproduzem trechos do Volume 4 das apostilas de Biologia do “Sistema Ético” nos quais os riscos ambientais, para seres humanos e econômicos são abordados.

RISCOS DOS OGMs

RISCOS AMBIENTAIS

- **Alteração de palatabilidade ou aroma.** As mudanças genéticas podem, em tese, alterar o sabor e/ou o cheiro das plantas, fazendo com que se alterem as relações entre elas e seus predadores ou polinizadores.
- **Morte de espécies não alvo.** As plantas que recebem genes que determinam a produção de toxinas, tornando-se “inseticidas”, podem provocar a morte de espécies que não são seus parasitas ou predadores.
- **Morte de polinizadores.** Entre as espécies não alvo afetadas pelas plantas transgênicas, podem estar as de insetos polinizadores, o que afetaria a reprodução da própria planta.
- **Transmissão horizontal.** Em plantas, pode ocorrer transmissão horizontal de material genético, ou seja, a passagem de fragmentos de material genético de uma planta de uma espécie para plantas de espécies diferentes. Essa possibilidade abriria o caminho para que um gene que confere resistência a um herbicida seja transferido para espécies invasoras, originando superpragas.
- **Comprometimento da fixação de nitrogênio.** Ainda não são completamente claros os efeitos da transgenia sobre as bactérias fixadoras de nitrogênio que vivem em nódulos de leguminosas, como a soja.

RISCOS A SERES HUMANOS E OUTROS ANIMAIS

- **Reações alérgicas.** Já foram demonstradas reações alérgicas em pessoas que ingeriram alimentos processados com plantas geneticamente modificadas, como a soja. Os casos relatados são de urticária, dermatite e reações respiratórias.
- **Alteração imunológica.** Trata-se de uma questão ainda bastante polêmica. Um pesquisador britânico noticiou ter encontrado deficiência das defesas orgânicas contra infecções em ratos alimentados com batata transgênica.

Figura 7: Reprodução de parte do texto da aula BC13/14, Volume4, Sistema Ético, 2013, p.27.

RISCOS ECONÔMICOS

- **Dependência de um ou poucos fornecedores.** No mundo todo, são as grandes empresas transnacionais que possuem tecnologia para o desenvolvimento de variedades transgênicas e, em geral, são as mesmas que produzem os defensivos agrícolas contra os quais essas variedades são resistentes. Assim, o produtor rural tem poucas opções no momento de decidir pela compra de sementes transgênicas. Um caso evidente é o da soja transgênica Round-up Ready® e do herbicida glifosato (nome comercial: Round-up®), ambos produzidos por uma grande empresa transnacional.
- **Terminator technology.** Trata-se da inclusão, nas plantas geneticamente modificadas, de genes que determinam a esterilidade dos descendentes. Portanto, o agricultor não pode reservar parte da colheita para plantar a próxima safra, pois as plantas que nascem são estéreis. Ano após ano, os agricultores precisarão comprar mais sementes, aumentando o grau de dependência em relação às grandes empresas. As empresas defendem essa tecnologia, dizendo ser a única maneira de garantir o retorno financeiro do empreendimento.
- **A questão das patentes.** Outro motivo de polêmica é o pretendido direito de as empresas registrarem a patente das variedades de OGMs que conseguem obter.

Figura 8: Reprodução de parte do texto da aula BC13/14, Volume 4, Sistema Ético, 2013, p. 28.

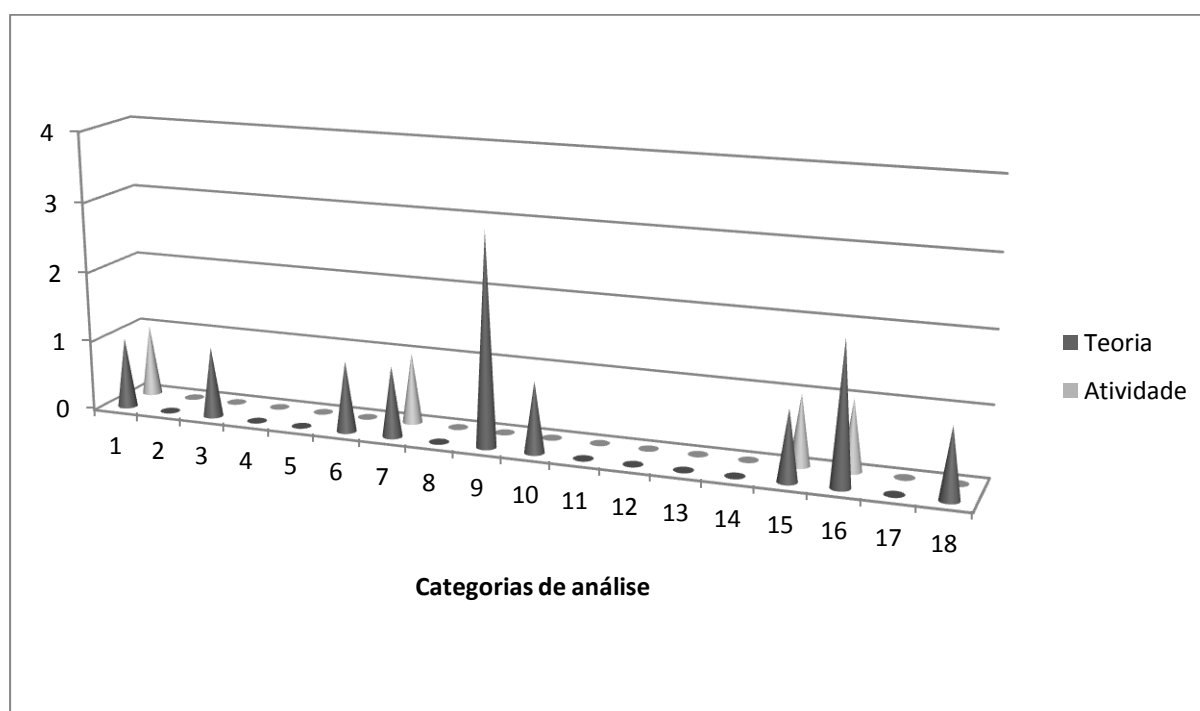
A abordagem sobre os alegados benefícios da tecnologia dos transgênicos aplicados à saúde humana recebeu a classificação S3 (categoria 9) pois na página 25 o material apresentou por meio de uma tabela os produtos obtidos por manipulação genética de organismos que podem ser utilizados no tratamentos de doenças como o hormônio do crescimento, a insulina e o fator VIII de coagulação sanguínea.

As demais categorias que estiveram presentes nesse material foram contempladas no corpo do texto principal e por isso receberam a classificação S1. A contextualização do tema foi obtida por meio de exemplos em sua maioria no início vinculados à saúde humana e posteriormente a produtos consumidos por meio da alimentação. A discussão acerca dos benefícios e riscos pode proporcionar ao aluno a oportunidade de discutir questões como o interesse envolvido e as questões sociais que permeiam o tema dos transgênicos.

No caderno de atividades sobre a aula de biotecnologia, existem 32 exercícios, 16 intitulados como atividades, e 16 como exercícios complementares. Entre esses, seis tratam dos transgênicos, com pouco aprofundamento em questões relacionadas aos Estudos CTS. As categorias de análise 1, 7, 15 e 16 foram encontradas nos exercícios, que por isso receberam a classificação S1.

O Gráfico 4 permite a visualização das características da abordagem sobre transgenia das apostilas de teoria e atividade do “Sistema Ético” conforme categorias de análise de conteúdo.

Gráfico 4: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 4 das apostilas de Biologia do “Sistema Ético”.



Verificamos a ausência em todo o material das categorias 2, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 14 e 17. Nas atividades, as categorias 3, 6, 9, 10 e 18 estiveram ausentes. A coleção de apostilas do “Sistema Ético” levantou com mais ênfase os possíveis riscos do cultivo e produção dos transgênicos para diversos setores da sociedade, porém não apresentou outras diversas categorias relevantes em seu conteúdo.

4.5 Livro 5: Biologia Hoje, Editora Ática, volume 3, 2013.

A coleção “Biologia Hoje” é dividida em três volumes, e o tema dos transgênicos é abordado no Volume 3, que contém 312 páginas. Os principais autores são Sérgio Linhares e Fernando Gewandsznajder.

O tema dos Transgênicos é abordado no Capítulo 7, intitulado “As aplicações da genética molecular”. A introdução do capítulo já levanta questões problematizadoras sobre os assuntos de genética molecular que serão abordados posteriormente e apresenta uma fotografia de um pesquisador analisando culturas de arroz transgênico em laboratório. São abordados a definição dos organismos geneticamente modificados, o histórico do desenvolvimento dessa tecnologia e exemplos de animais, plantas e outros produtos de origem transgênica.

A Tabela 5 apresenta os resultados da avaliação do Livro “Biologia hoje”, realizada conforme os critérios metodológicos que estabelecemos.

Tabela 5: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3 da coleção “Biologia hoje”.

Categoria/Critério	Teoria	Atividade
1-O material contém textos para contextualizar o tema dos transgênicos no cotidiano do aluno?	S1	S1
2-O material apresenta uma evolução histórica acerca da construção do conhecimento científico sobre os transgênicos?	S4	N
3-Proporciona discussões acerca dos interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia?	S1	N
4-O material apresenta discussões acerca do trabalho dos cientistas no desenvolvimento dessa tecnologia e os valores envolvidos?	S2	N
5-O material sugere fontes complementares para pesquisa do aluno?	N	S4
6-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a produção de alimentos adquiridos a partir do desenvolvimento dos transgênicos aplicados a agricultura?	S1	S1
7-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para o meio ambiente a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
8-O material apresenta ou levanta a discussão acerca dos benefícios para a indústria a partir da utilização dos transgênicos?	S1	N
9-O material apresenta ou levanta a discussão acerca os benefícios para a saúde a partir da utilização dos transgênicos?	S1	S1
10-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões sociais?	S1	N
11-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões políticas, como a legislação?	N	N
12-O material discute a necessidade brasileira de consumir alimentos ou outros produtos transgênicos?	N	N
13-O material discute a questão da rotulagem e o direito do consumidor?	S1	N
14-Sugere alternativas de alimentos orgânicos em contraposição aos transgênicos e sua relação com o preço e o incentivo a esse tipo de cultura?	N	N
15-O material levanta a questão acerca da dispersão dos genes introduzidos nas plantações de organismos geneticamente modificados e o conseqüente impacto na biodiversidade dos ecossistemas?	S1	S1
16-O material relaciona os alimentos transgênicos com o uso de agrotóxicos?	S1	S1
17-O material apresenta as relações do tema dos transgênicos com questões éticas, como a discussão sobre a manipulação da vida?	N	N
18-Discute os riscos a saúde do consumidor dos transgênicos?	S1	N

Segundo o Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014), a coleção “Biologia hoje” apresenta ao longo dos capítulos os conhecimentos científicos de maneira contextualizada, utilizando dados históricos e discussões sobre as controvérsias relacionadas ao seu desenvolvimento. Existem nos livros dessa coleção seções de quadros complementares voltados para esses debates, nos quais são discutidos assuntos como ambiente, cotidiano, tecnologia, saúde, ética e sociedade. Verifica-se como correta a descrição do Guia de Livros Didáticos de Biologia, segundo a qual os “capítulos se iniciam com um texto de apresentação dos temas centrais, acompanhado de uma imagem e relato de situações cotidianas, o que possibilita ao/a professor/a levantar os conhecimentos sobre o assunto a ser abordado” (BRASIL, 2014, p.53).

O Volume 3 da coleção “Biologia hoje” possui na introdução do capítulo estudado a fotografia de um cientista (do sexo masculino) trabalhando no laboratório com arroz transgênico (Figura 9). A categoria 4 recebeu a classificação S2, já que a figura do cientista vinculado ao desenvolvimento dessa tecnologia apareceu por meio de uma imagem.

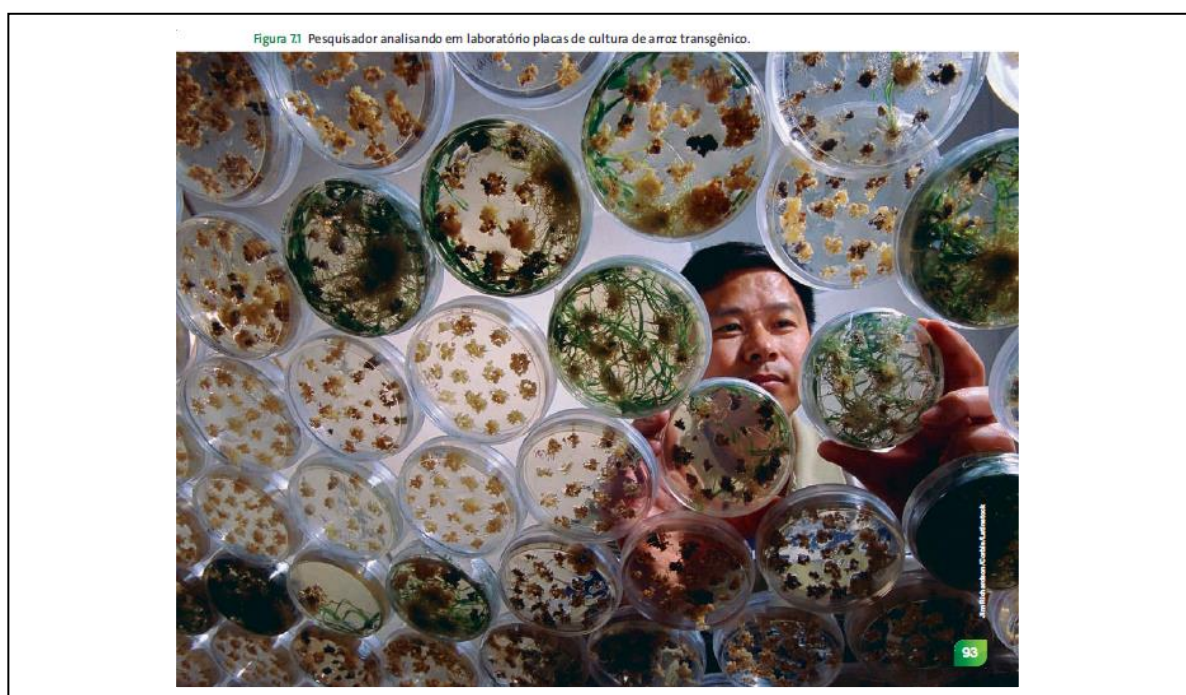


Figura 9: Reprodução da figura 7.1, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.93.

O quadro complementar “Biologia tem história” merece destaque frente à introdução dessas informações históricas para contextualizar o tema dos transgêni-

cos. No capítulo sobre Biotecnologia, o quadro está presente nas páginas 96 e 97 e traz dados sobre o trabalho dos cientistas no desenvolvimento das enzimas de restrição. Essa abordagem contribui para a compreensão do papel do cientista na construção do conhecimento científico, para a introdução de conceitos como Filosofia e História da Ciência para o aluno e para o conhecimento da evolução histórica acerca do desenvolvimento do conhecimento científico. A categoria 2 que analisa esse critério recebeu portanto a classificação S4. A figura 10 ilustra o quadro complementar “Biologia tem história”.

Biologia
tem história

A descoberta das enzimas de restrição

Na década de 1960, os cientistas perceberam que a recombinação do DNA ocorre no organismo em alguns casos, por exemplo, quando rupturas no DNA por radiação ultravioleta são reparadas. Começava então uma busca pela enzima capaz de promover esse “conserto”.

Em 1967, o pesquisador de origem tcheca Martin Gellert (1929-) e outros três grupos de pesquisadores, independentemente, purificaram a enzima DNA-ligase.

Em 1968, o microbiologista suíço Werner Arber (1929-), o químico estadunidense Daniel Nathans (1928-1999) e o médico estadunidense Hamilton Smith (1931-) descobrem as enzimas de restrição.

Em 1973, os estadunidenses Stanley Cohen (1935-) e Herbert Boyer (1936-) tentavam compreender como os plasmídeos podiam tornar as bactérias resistentes a antibióticos. Em conjunto com outros pesquisadores, eles se valem da enzima de restrição *EcoRI* para cortar o DNA de dois plasmídeos, cada um capaz de conferir resistência a um antibiótico. Depois de unir os plasmídeos a outro DNA, com auxílio da DNA-ligase, introduzem a nova molécula na bactéria *Escherichia coli* e conseguem, com isso, uma bactéria resistente aos dois antibióticos.

Estava aberta a porta para as pesquisas com DNA recombinante e para a produção da primeira proteína

humana produzida por essa técnica, a insulina, em 1973. Em 1974, camundongos transgênicos foram produzidos e em 1994 começava a comercialização dos alimentos transgênicos.

Esse é um exemplo de como o progresso do conhecimento depende muitas vezes da invenção de novas

tecnologias e vice-versa – um tema estudado em Filosofia e História da Ciência. A descoberta dessas enzimas ilustra também o fato de que o progresso do conhecimento científico depende do trabalho em cooperação de toda uma comunidade científica, um tema estudado em Sociologia.

Figura 10: Reprodução do quadro Biologia tem história, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.96.

As categorias de análise presentes no material analisado foram encontradas no corpo principal do texto e por isso receberam a classificação S1 (1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16 e 18)

Em diversos pontos do Capítulo 7, o tema dos transgênicos é contextualizado no cotidiano do aluno por meio de exemplos, e são citados benefícios gerados a partir da tecnologia dos transgênicos para a saúde humana, como a produção de insulina a partir de bactérias modificadas geneticamente e a produção de fatores de coagulação sanguínea a partir do leite de cabras transgênicas. Benefícios para a

indústria também são sustentados, como a produção de leite semelhante ao materno para comercialização a partir de vacas transgênicas e a possibilidade da produção de vacinas contra infecções a partir de alimentos transgênicos. Devido a essa abordagem nas categorias 1, 8 e 9, o material analisado foi classificado como S1.

As categorias de análise 6, 7 e 16 também receberam classificação S1, pois os benefícios da tecnologia dos transgênicos aplicados à agricultura e ao meio ambiente e a relação com a utilização de agrotóxicos foram abordados no texto principal. No texto sobre plantas transgênicas, são abordadas as possibilidades de transgenia para tornar as plantas resistentes a herbicidas ou ervas daninhas como a soja, algodão e milho, e também pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Além de apontar os alegados benefícios dos transgênicos, o material sustenta que existem riscos e polêmicas envolvendo o tema. A abordagem sobre transgenia neste material recebeu a classificação S1 também nas categorias de análise 15 e 18. No levantamento dos possíveis riscos para o ambiente, o material discute a dispersão do grão de pólen de plantas transgênicas, que pode vir a fecundar plantas normais e no levantamento para os possíveis riscos à saúde o material sustenta a falta de provas sobre esses riscos à saúde e a possível alergia de algumas pessoas aos alimentos transgênicos.

O Guia de Livros Didáticos de Biologia (BRASIL, 2014) afirma que temas como transgênicos e problemas ambientais serão considerados polêmicos e, assim, exigem uma abordagem sociocultural do conhecimento biológico.

Há inúmeras conexões entre ciência, cultura e tecnologia e estas vão sendo trabalhadas em uma perspectiva da construção da cidadania, pois os/as estudantes são estimulados à pesquisa e a tomar iniciativa na busca de conhecimentos, embora de forma concentrada em algumas seções (BRASIL, 2014, p.56).

O material analisado examina a existência de riscos à saúde do consumidor, a dispersão no ambiente e a utilização de agrotóxicos, mas minimiza esses riscos. Por exemplo, ao discutir os riscos à saúde do consumidor, levanta a questão sobre os fragmentos de DNA modificado contaminarem o organismo humano, mas afirma que ao que tudo indica essas moléculas são destruídas pelo sistema imunológico. Já quando menciona o risco de contaminação por insetos que ingerem plantas transgênicas, afirma que o agrotóxico de culturas convencionais também pode

matá-los. Quando trata do aparecimento de resistência de insetos a plantas transgênicas, alega que plantações que recebem agrotóxicos também podem gerar essa resistência, entre outros exemplos. A discussão apresenta mais benefícios do que riscos.

As categorias de análise 3, 10 e 13 também receberam classificação S1, pois o enfoque sobre os possíveis interesses envolvidos no desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos, a relação dessa tecnologia com a sociedade e o direito do consumidor sobre os produtos de ordem transgênica são abordados no texto principal deste material. São mencionadas questões como a rotulagem obrigatória em países que seriam mais críticos à produção e consumo de produtos de origem transgênica e a porcentagem estabelecida pelo governo brasileiro de 1% para a inserção do símbolo no rótulo.

Na seção das atividades, cinco exercícios abordam a temática dos transgênicos, além de uma atividade complementar no quadro “Trabalho em equipe” (Figura 11).

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar. Vocês podem consultar livros, internet, CD-ROMs, etc., e também entrevistar médicos ou outros profissionais que trabalhem nas áreas de aconselhamento genético e engenharia genética.

Exponham os resultados da pesquisa para a classe e para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Verifiquem também se é possível convidar os profissionais dessas áreas (médicos e profissionais que fazem aconselhamento genético ou que trabalham com tecnologia do DNA) para a

néticos e que medidas devem ser tomadas para garantir a privacidade de uma pessoa e impedir discriminações em relação a testes genéticos. Pesquisem ainda entre os colegas de turma se cada um gostaria de saber, por meio de um teste genético, se é portador de um gene para alguma doença genética séria que estava presente em sua família e que pode ser transmitida a seu filho. Pesquisem também se eles gostariam de saber isso no caso de essa doença se manifestar por volta dos 50 anos, sem que haja cura para ela.

2. Procurem – em jornais (caderno de ciência) e revistas de divulgação científica – notícias recentes sobre alimentos transgênicos. Verifiquem por exemplo: se houve ou não crescimento em sua produção; se no-

apresentação de palestras sobre esses temas para a comunidade escolar.

Informem-se se na região da escola existe alguma instituição que desenvolva trabalhos nessas áreas e verifiquem se é possível agendar uma visita ao local.

1. Pesquisem que tipos de testes genéticos existem para o diagnóstico de doenças e se o teste está disponível no Sistema Único de Saúde (SUS). Expliquem ainda como esses testes podem ser úteis no aconselhamento genético. Com auxílio dos professores de Filosofia, discutam os aspectos éticos dos testes ge-
3. Pesquisem sobre a vida e o trabalho de alguns geneticistas brasileiros, como Crodowaldo Pavan, Warwick Estevam Kerr, Oswaldo Frota-Pessoa, Sérgio Danilo Junho Pena, entre outros.
4. O Projeto Genoma no Brasil (pesquisas, organismos sequenciados, etc.).

vos transgênicos foram disponibilizados no mercado; que países são os maiores produtores de transgênicos; quais os transgênicos produzidos ou comercializados no Brasil, etc. Pesquisem também argumentos a favor ou contra o cultivo de plantas transgênicas e realizem um debate: a turma será dividida em dois grupos, um defenderá o cultivo desses organismos e o outro criticará o uso dessa tecnologia.

Figura 11: Reprodução do quadro “Trabalho em equipe”, Capítulo 7, Livro Biologia Hoje, Volume 3, 2013, p.106.

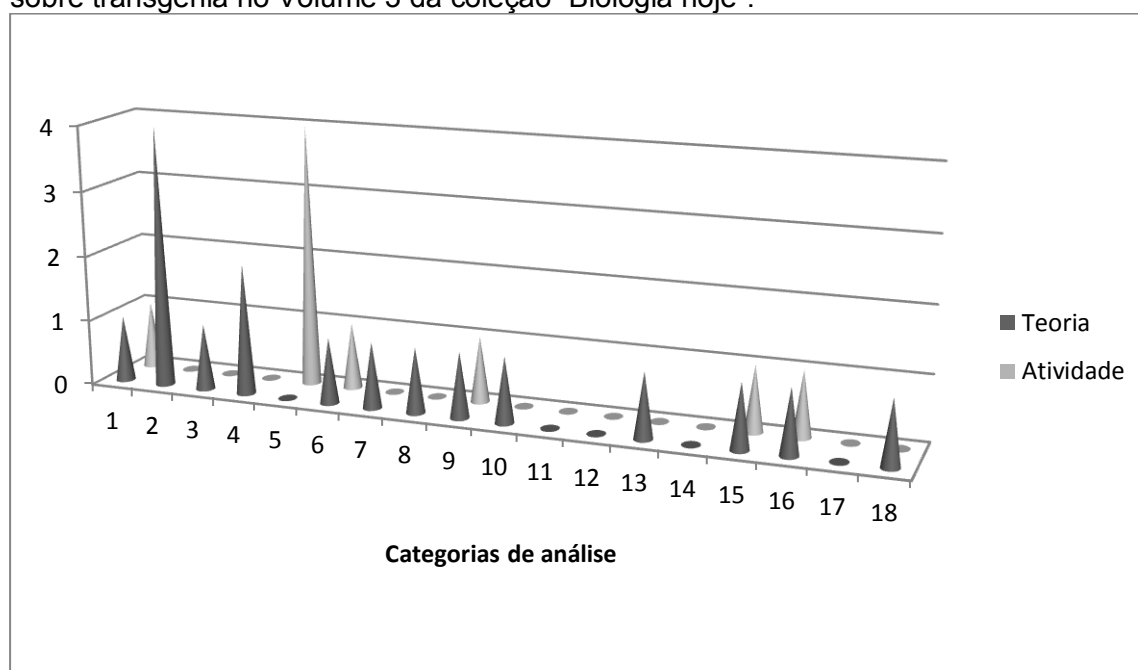
Essa atividade sugere aos alunos que busquem em fontes complementares informações sobre os transgênicos. Sugere tópicos de aprofundamento como a busca por outros países que produzam transgênicos, além de argumentos que defendam ou combatam essa tecnologia. A categoria de análise 5, que avalia se o material oferece fontes complementares para pesquisa ao aluno, obteve classificação S4, pois a sugestão ocorreu por meio de um quadro complementar.

Outros cinco exercícios abordam a temática dos transgênicos no Volume 3 da coleção “Biologia hoje” (2, 4, 7, 14 e 16). As categorias de análise 1, 6, 9, 15 e 16 foram encontradas nesses exercícios na forma textual e, por isso, as categorias receberam a classificação S1. A contextualização do tema ocorre por meio de exemplos de substâncias químicas como a insulina e plantas diversas relacionadas ao cotidiano do aluno.

O exercício 4 da página 103 aborda os métodos existentes para a produção de insulina e o benefício da técnica utilizando bactérias transgênicas frente ao método antes utilizado. A categoria 9, que avalia a abordagem ou discussão de benefícios gerados para a saúde a partir dos transgênicos recebeu classificação S1. O exercício 7, da página 104, por sua vez atingiu as categorias de análise 6, 15 e 16, já que traz como texto de introdução a problemática envolvendo a agricultura com sementes transgênicas, os benefícios que podem ser obtidos com essa técnica, a diminuição do uso de agrotóxicos e os riscos de dispersão dos organismos geneticamente modificados. As categorias 6, 15 e 16 receberam classificação S1.

O Gráfico 5 permite a visualização das características da abordagem sobre transgenia do livro “Biologia hoje” conforme categorias de análise de conteúdo.

Gráfico 5: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia no Volume 3 da coleção “Biologia hoje”.



A parte teórica do Volume 3 da coleção “Biologia hoje” não apresentou conteúdo relacionado somente às categorias 5, 11, 12, 14 e 17, se mostrando mais completa que a seção de atividades. As categorias 11, 12, 14 e 17 não estiveram presentes na parte teórica e na parte de atividades deste material. A parte de atividades também não apresentou as categorias 2, 3, 4, 7, 8, 10, e 13.

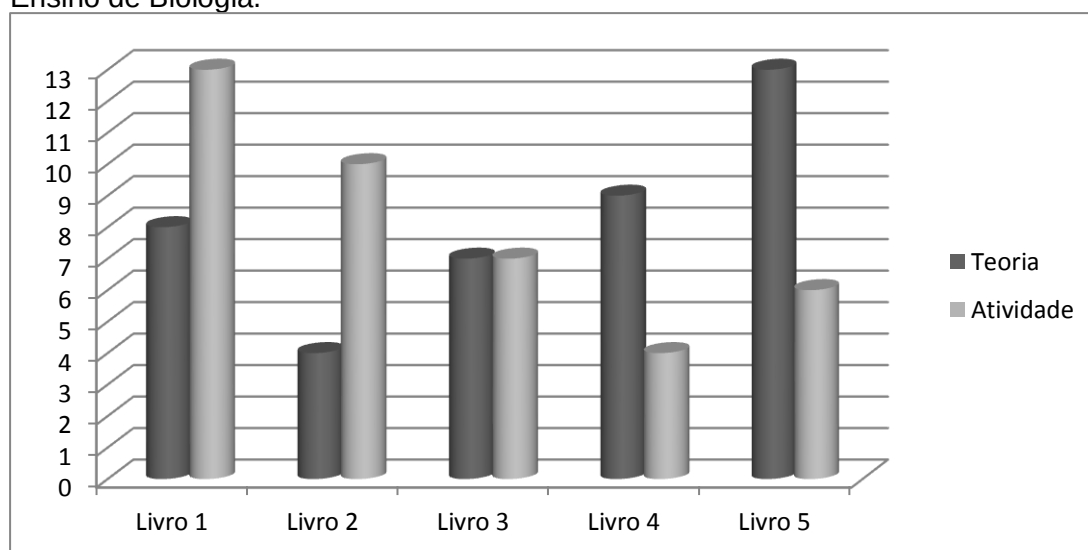
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Movidos pelo objetivo geral desta pesquisa de caracterizar a contextualização do tema dos transgênicos em relação aos pressupostos dados pelos Estudos CTS em materiais didáticos, realizamos uma avaliação por meio da análise de conteúdo com 18 categorias de cinco coleções selecionadas.

Em função da metodologia adotada, quanto maior o número de categorias presentes em dado material, mais aderente ele será ao enfoque esperado para uma educação científica que atenda pressupostos dos Estudos CTS.

O Gráfico 6 exibe o número de categorias encontradas por livro na parte teórica e nas atividades. Podemos verificar quais coleções obtiveram em seus livros um maior ou menor número de categorias presentes.

Gráfico 6: Número de categorias presentes resultantes da avaliação de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia em cinco coleções selecionadas de livros didáticos para o Ensino de Biologia.



A leitura do Gráfico 6 indica que a parte teórica da coleção 5 “Biologia hoje” foi a que apresentou o maior número de categorias, enquanto a coleção 1 “Ser Protagonista” foi a que apresentou o maior número de categorias nas atividades. O volume analisado da coleção 2 “Bio” foi o que apresentou o menor número de categorias na parte teórica e a coleção 4, apostila do “Sistema Ético” o menor número de categorias nas atividades.

A Tabela 6 exibe comparativamente como as categorias foram avaliadas nas cinco coleções selecionadas.

Tabela 6: Resultado da análise dos dados dos livros selecionados para o Ensino de Biologia no Ensino Médio.

	Livro 1		Livro 2		Livro 3		Livro 4		Livro 5	
	Teoria	Atividade	Teoria	Atividade	Teoria	Atividade	Teoria	Atividade	Teoria	Atividade
1	S2	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1
2	N	S1	N	N	N	S1	N	N	S4	N
3	S4	S1	N	S4	N	N	S1	N	S1	N
4	N	N	N	N	N	N	N	N	S2	N
5	N	S4	N	S1	S4	N	N	N	N	S4
6	N	S3	N	S4	S1	S1	S1	N	S1	S1
7	N	N	S1	S4	S1	N	S1	S1	S1	N
8	N	N	S1	N	S1	N	N	N	S1	N
9	S1	S1	S1	N	S1	S1	S3	N	S1	S1
10	S4	S1	N	S1	N	S1	S1	N	S1	N
11	S4	S1	N	N	N	S4	N	N	N	N
12	N	N	N	S4	N	N	N	N	N	N
13	S4	S1	N	N	N	S4	N	N	S1	N
14	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
15	S4	S3	N	S1	N	N	S1	S1	S1	S1
16	S1	S3	N	S4	S1	N	S2	S1	S1	S1
17	N	S4	N	N	N	N	N	N	N	N
18	N	S1	N	S4	N	N	S1	N	S1	N

A categoria 4, que aborda a presença de discussões sobre o papel do cientista no desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos, esteve ausente das coleções 1, 2, 3 e 4. Apenas na coleção “Biologia hoje” a categoria 4 foi contemplada por meio de uma figura e um quadro complementar que incluíram o cientista, ainda que na figura masculina, como participante do desenvolvimento dessa tecnologia, na parte teórica do material.

A inclusão da figura do pesquisador como membro do desenvolvimento da ciência é um dos possíveis meios de incluir elementos de história e filosofia no ensino de Biologia. Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (2000), essa inclusão tornaria possível a percepção de que a produção científica e o contexto social, econômico e político guardam uma relação.

Um tema central para a construção de uma visão de mundo é a percepção da dinâmica complexidade da vida pelos alunos, a compreensão de que a vida é fruto de permanentes interações simultâneas entre muitos elementos, e de que as teorias em Biologia, como nas demais ciências, se constituem em modelos explicativos, construídos em determinados contextos sociais e culturais. Essa postura busca superar a visão a-histórica que muitos livros didáticos difundem, de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes, e como se para compreendê-la, bastasse memorizar a designação e a função dessas peças, num jogo de montar biológico (BRASIL, 2000, p.15).

Portanto, baseando-se na abordagem do Capítulo 2 sobre a natureza do conhecimento científico, a inclusão do que fora proposto na categoria 4 é relevante para tentativa de desconstrução da visão limitada que os alunos teriam sobre o cientista. Em alguns momentos, é citada a presença de empresas ou organizações governamentais na produção de transgênicos, mas o papel do cientista no desenvolvimento dessa tecnologia esteve ausente na maioria das coleções analisadas.

A categoria 2 analisa a presença da inclusão de aspectos históricos sobre o desenvolvimento dos transgênicos, e o material que contenha aspectos da evolução histórica dessa tecnologia poderá colaborar para a melhor compreensão da natureza do conhecimento científico por parte dos alunos. No entanto, a partir da análise da Tabela 6 é possível verificar que foi uma categoria pouco presente nos livros analisados. Na parte teórica apenas o livro 5 abordou esse tema em um quadro complementar (S4), e na parte de atividades apenas os livros 1 e 3 abordam o tema nos seus exercícios, em forma de texto (S1).

Outra categoria ausente, porém dessa vez em todos os livros analisados, foi a de número 14, que avalia a presença de discussões sobre o consumo de alimentos orgânicos frente aos alimentos transgênicos. Não foram encontradas nas cinco coleções analisadas, seja na abordagem teórica ou nas atividades, sugestões de plantio ou consumo de alimentos orgânicos, ou enfoques sobre o preço elevado dos alimentos nos mercados. Essa ausência provavelmente seria resultante da falta de interesse em focar os transgênicos como algo negativo, que deva ser substituído. O consumo de alimentos transgênicos não é caracterizado em nenhuma das obras como algo possivelmente ruim, rejeitado por numerosos segmentos sociais em vários países.

A categoria 1, que avalia a contextualização do tema em relação ao cotidiano do aluno, foi encontrado em todas as coleções analisadas, na parte teórica e de atividades. Isso sugere que atualmente a contextualização do tema dos transgênicos no ensino de Biotecnologia é um enfoque dos livros didáticos. Em geral, a contextualização aconteceu de maneira significativa, com exemplos, figuras e geralmente na introdução dos capítulos.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (2000), não é viável abordar todos os conhecimentos da Biologia durante apenas o período do Ensino Médio, mas é importante “tratar esses conhecimentos de forma contextualizada, revelando como e por que foram produzidos, em que época, apresentando a história da Biologia como um movimento não linear e freqüentemente contraditório” (BRASIL, 2000, p. 19).

Portanto, para proporcionar ao professor em suas aulas uma abordagem contextualizada sobre os conteúdos, é importante a presença no material didático de exemplos para aproximar do cotidiano do aluno o conhecimento científico. Por isso,

é fundamental que o ensino de Biologia se volte ao desenvolvimento de competências que permitam ao aluno lidar com as informações, compreendê-las, elaborá-las, refutá-las, quando for o caso, enfim compreender o mundo e nele agir com autonomia, fazendo uso dos conhecimentos adquiridos da Biologia e da tecnologia (BRASIL, 2000, p. 19).

A partir da Tabela 6, construímos os Gráficos 7 e 8 para possibilitar a melhor visualização da forma em que as categorias estiveram presentes comparativamente nos materiais didáticos analisados. O Gráfico 7 exibe as categorias de análise da parte teórica nas cinco coleções selecionadas, e o Gráfico 8, nas atividades.

Gráfico 7: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia na parte teórica de cinco coleções selecionadas de livros didáticos para o Ensino de Biologia.

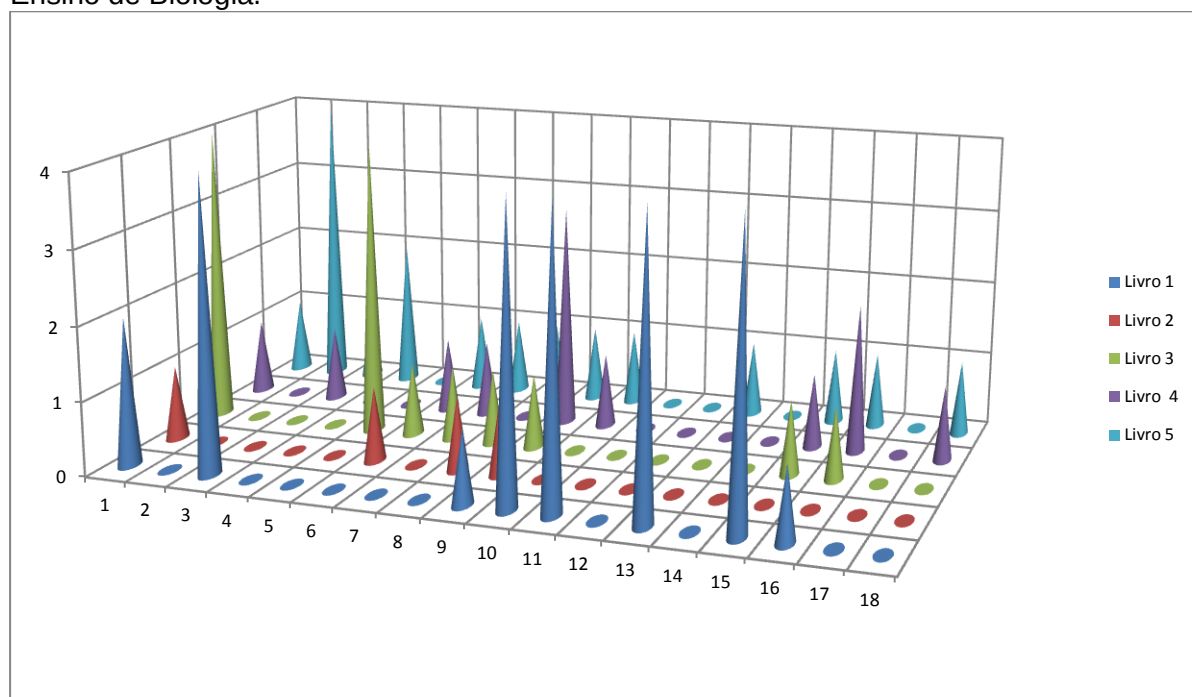
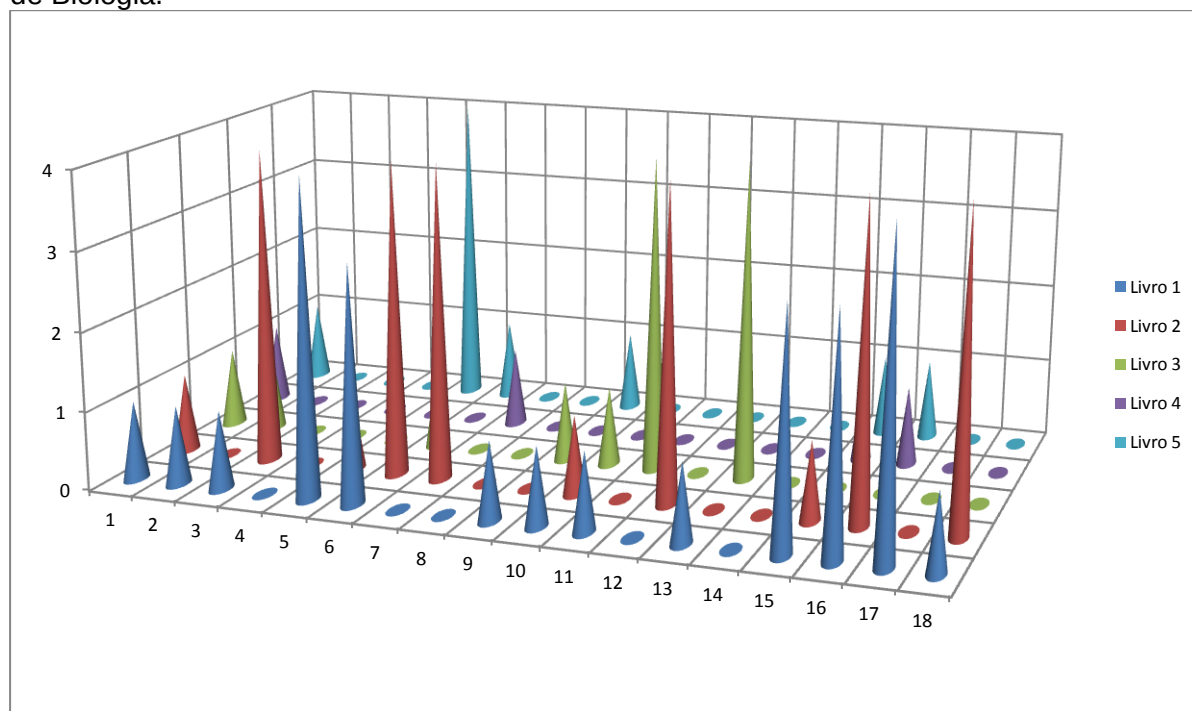


Gráfico 8: Resultado da avaliação por categorias de análise de conteúdo da abordagem sobre transgenia na parte de atividades de cinco coleções de livros didáticos para o Ensino de Biologia.



Na construção dos Gráficos 7 e 8, consideramos a ausência da categoria no livro didático como número 0, e as categorias de análise S1, S2, S3 e S4 como 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

A leitura do Gráfico 7 indica que as categorias 6, 7, 8, que analisam a presença de benefícios dos transgênicos à agricultura, meio ambiente e indústria se apresentaram sempre na forma S1, no texto principal dos capítulos, enquanto a categoria 11, que avalia a presença de discussões sobre a relação do tema com questões políticas como a legislação, esteve presente apenas em uma coleção (“Ser protagonista”) e na forma de quadro complementar (S4).

A categoria 9, que avalia a presença de discussões sobre medicamentos ou vacinas criadas a partir de transgênicos, teve grande abrangência nos materiais analisados. Na parte teórica, ela esteve presente em todas as coleções analisadas. No livro, 4 foi encontrada na forma de quadro complementar (S4), e nos demais livros, no texto principal do material (S1).

Os dados sugerem que as coleções analisadas seguem um padrão no sentido de elencar muitos benefícios da tecnologia dos transgênicos, em detrimento do foco sobre potenciais riscos. Quando uma discussão sobre política e sociedade ou qualquer polêmica envolvendo o assunto é desenvolvida, é confinada a um quadro complementar, como se fosse secundária ao conteúdo ali apresentado – relacionado de forma predominante aos alegados benefícios do desenvolvimento científico.

Outro critério encontrado principalmente em quadros complementares foi a sugestão de fontes complementares para a pesquisa dos alunos, critério abordado na categoria 5. Essa categoria foi encontrada quatro vezes, uma vez na parte teórica e o restante nas atividades, e em três delas (75%) foram sugeridas fontes complementares de pesquisa aos alunos, como jornais, livros ou filmes, por meio de quadro complementar (S4).

É possível verificar também que as categorias 12, 14 e 17 não estiveram presentes em nenhum livro na parte teórica e que a categorização S3, para quando o tema fosse abordado na forma de gráfico, foi encontrada em apenas um livro na parte teórica, e isso indica a baixa utilização desse recurso como meio pedagógico de amostragem de dados.

As categorias 3 e 10, que analisam, respectivamente, a inclusão de discussões sobre os interesses envolvidos no desenvolvimento dessa tecnologia e a relação do tema com as questões sociais da sociedade em que são produzidos, foram

encontrados na parte teórica e de atividade simultaneamente apenas no livro 1. Nos outros livros analisados, estiveram presentes na forma S1 para a categoria 10 e na forma S1 e S4 para a categoria 3.

Aspectos referentes aos riscos do desenvolvimento dessa tecnologia estiveram ausentes em grande parte dos livros analisados. A categoria 18, que avalia a presença de discussões sobre os possíveis riscos à saúde do consumidor, e a categoria 13, que aborda a questão da rotulagem e do direito do consumidor de reconhecer o produto de origem transgênica através do rótulo, estiveram presentes apenas em dois livros na parte teórica e em dois livros na parte de atividades, sendo abordadas através das variáveis S1 e S4.

O Gráfico 8 revela tendências interessantes, como a ausência das categorias 8 e 14 em todas as coleções analisadas na parte de atividades, e a ausência da categorização S2, por imagem, em todos os exercícios e atividades analisados.

Já as categorias 12 (necessidade brasileira de consumo) e 17 (abordagem de questões éticas) foram encontradas em apenas quadros complementares na seção das atividades dos livros 3 e 1, respectivamente. A presença de conteúdos relacionados a muitas das categorias nas atividades foi percebida com frequência em quadros complementares, o que indica que, para os editores dos livros, uma discussão mais ampla acerca dos alimentos transgênicos, contemplando questões como legislação, riscos e benefícios e rotulagem, cabe somente em quadros complementares.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível verificar que as coleções de livros analisadas, em geral, possuem perspectivas relevantes no âmbito dos Estudos CTS para o tema da transgenia. Tais perspectivas devem ser consideradas pelos professores e alunos no momento do aprendizado. Algumas ressalvas referentes aos materiais porém devem ser feitas. O foco majoritário da abordagem presente nos materiais analisados não foi o de levantar discussões plurais e equilibradas sobre os transgênicos, já que a tendência predominante foi detectada na forma de uma ênfase sobre os alegados benefícios em detrimento do foco sobre potenciais riscos e polêmicas envolvidos.

Outro ponto verificado é que houve um grande número de informações sobre conteúdos relacionados aos Estudos CTS no tema da transgenia que foram abordadas em quadros complementares e não no corpo principal do texto. Discussões como a rotulagem, a legislação sobre a pesquisa com transgênicos, a sugestão de fontes complementares de pesquisa para os alunos e o risco de dispersão de células geneticamente modificadas no ambiente não foram em sua maioria abordadas no texto principal dos capítulos e sim em quadros complementares, o que sugere o enfoque secundário a esses assuntos.

As caracterizações S2 (imagem) e S3 (gráfico ou tabela) estiveram pouco presente nas coleções de livro analisadas. A abordagem por meio da utilização de uma imagem ocorreu apenas três vezes na parte teórica e não ocorreu nas atividades. Já a utilização de gráfico ou tabela, ocorreu apenas quatro vezes no total de coleções analisadas. Os materiais poderiam ser complementados a fim de fornecer elementos que poderão contribuir para uma formação mais completa do aluno. Através da presença de dados sobre os transgênicos por meio de tabelas ou gráficos, ou exemplos e fotografias apresentados por meio de imagens, o material didático poderia abordar maior parte do conhecimento científico sobre esse determinado tema. Desta maneira, este material se tornaria de melhor qualidade, englobando todo o conteúdo necessário, além de incentivar o aluno a buscar novas informações (SÁ e SANTIN FILHO, 2009).

Sugerimos, assim, que a lista de 18 categorias de análise de conteúdo que formulamos para a verificação da contextualização do tema da transgenia nos materiais analisados poderia ser empregada como uma forma de roteiro para a produção de material didático, indicando conteúdos e abordagens adequados no contexto da

educação para a ciência que dialogue com referências provenientes dos Estudos CTS.

O que verificamos nessa pesquisa foi que o livro didático de Biologia, a partir da análise do tema da transgenia, apresenta oportunidades de aperfeiçoamento que ainda devem ser exploradas para que este material contribua em sala de aula para a formação crítica do aluno. Segundo Megid Neto e Francalanza (2003) os livros didáticos apresentam conteúdos que nem sempre estão devidamente atualizados, contribuindo para um enfoque estático, fragmentado e antropocêntrico do conhecimento científico, em um processo no qual o aluno tenderá a ser um receptor passivo de informações nem sempre contextualizadas.

Nesse sentido é importante voltar atenções à prática do professor e, consequentemente, ao processo de sua formação inicial e continuada, que influenciará a prática de ensino com esse material didático em sala de aula. Se o objetivo é alcançar uma educação científica de qualidade, para formar futuros cidadãos com capacidade de atuar criticamente em sua sociedade, com professores que serão um dos principais atores com responsabilidade sobre esse objetivo, devemos considerar diversos fatores influenciadores: a formação inicial, que poderá apresentar insuficiências conceituais e pedagógicas; a prática de ensino e experiência adquirida em sala de aula; a avaliação dos processos de aprendizagem, para verificar se o objetivo proposto fora alcançado; a compreensão da influência e importância de um material didático de qualidade.

Estes fatores conduzem a questões para reflexão. O livro didático poderá auxiliar o professor a suprir determinadas falhas em sua formação inicial? Ele deve direcionar a sequência didática da aula e assumir um papel proeminente como fonte de informação para os alunos?

Segundo Zabala (1998), o professor deverá utilizar os materiais como fonte em sua aula, porém não pode depender exclusivamente deles. Sua formação deverá possibilitar que a prática educativa seja autônoma. “A complexidade da tarefa educativa nos exige instrumentos e recursos que favoreçam a tarefa de ensinar”, reconhece Zabala (1998, p. 175): mas são necessários materiais que estejam a serviço de nossas propostas didáticas e não o contrário; que não suplantem a dimensão estratégica e criativa dos professores, mas que a incentivem”.

O livro didático possui sua importância na sala de aula, sendo um dos mecanismos que poderá auxiliar o professor a suprir as necessidades dos alunos, e de sua própria formação. Porém, como sugerido neste trabalho, esses materiais poderão apresentar oportunidades de aperfeiçoamento, e o respeito à necessidade de oferecer abordagens plurais e equilibradas terá que ser buscado de outras formas pelo professor munido desse material para o preparo de suas aulas e para o direcionamento do estudo dos alunos.

Essas abordagens poderão ser apresentadas aos alunos por meio da utilização de outros recursos didáticos e metodológicos. A preparação e a execução da aula não baseada apenas em um livro texto, a busca por notícias veiculadas na mídia sobre o assunto, a utilização de vídeos e documentários que abordem o tema, a realização de atividades práticas em laboratório ou espaços não-formais e o enriquecimento das discussões argumentativas por meio de debates em sala de aula poderão ser estratégias para o professor contornar as limitações do livro didático aqui apresentadas.

7. REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, J. A. La tecnologia en las relaciones CTS. Una aproximación al tema. In: **Enseñanza de las Ciencias**. p. 35-44, 1996.
- ACEVEDO, J. A. et al. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.
- ALONSO, A. V. et al. Sobre las actitudes y creencias del CTS del profesorado de primaria, secundaria y universidad. **Tarbiya: Revista de investigación e innovación educativa**, n. 30, p. 5-27, 2002.
- AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência e Ensino**, v. 1, p.2008.
- AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.
- BACHELARD, G. (1938). **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo (1977). **Lisboa (Portugal): Edições**, v. 70, 2010.
- BASTOS, F. **História da ciência e ensino de biologia: a pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1906)**. 1998. Tese de Doutorado.
- BATISTA, M. V. A.; CUNHA, M. M. da S.; CÂNDIDO, A. L. Análise do tema virologia em livros didáticos de biologia do Ensino Médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 1, p. 145, 2010.
- BIZZO, N. M. V. **Meninos do Brasil: idéias de reprodução, eugenia e cidadania na escola**. São Paulo, 1994, 171 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- BONZANINI, T. K. **Avanços recentes em biologia celular e molecular, questões éticas implicadas e sua abordagem em aulas de biologia no ensino médio: um estudo de caso**. Bauru, 2005. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência)- Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

BOREÉM, A.; SANTOS, F. R. **Biotecnologia Simplificada**. UFV Editora, 2ª edição. 2003

BRASIL. **Guia de livros didáticos de Biologia**: 1ª a 3ª séries do Ensino Médio – PNLD 2015. Brasília: FNDE, 2014.

_____. MEC. SEF. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 2000.

CACHAPUZ, A. et al. Do estado da arte da pesquisa em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso "Ciência-Tecnologia-Sociedade". **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**. Vol. I, nº 1, p. 27-49, 2008.

CACHAPUZ, A. F. Tecnociência, poder e democracia. . In: _____ **SANTOS, W.L.P. e AULER, D., orgs. CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

CÂNDIDO, Kamilla et al. Análise da abordagem contextual no conteúdo de Ligações Químicas em livros didáticos aceitos pelo PNLD-2012. **XVI ENEQ/X EDUQUI-ISSN: 2179-5355**, 2013.

CARSON, R. **Silent Spring**. Greenwich, Connecticut. 1962.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, ANPED, n. 26, p. 89 - 100, 2003

COSTA, M. V. (Org.) **Estudos Culturais em Educação**: mídia, arquitetura, brinquedo, biologia, literatura, cinema. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 2000

DECLARAÇÃO DE BUDAPESTE. Marco geral de ação, 1999.

FNDE, Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>. Acesso em: 26 ago de 2015.

FREITAG, B. et. al. O Livro didático em questão. Editora, São Paulo, 1993

GAGLIARDI, R.; GIRODAN, A. La historia de las ciencias: una herramienta para La enseñanza. In: **Enseñanza de lasCiencias**. 1986. p. 253-258.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias em la enseñanza de las ciencias. In: **Enseñanza de las Ciencias**. 1988. p. 291-296.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GUEDES, M. F. **Análise de conteúdo de livros didáticos de ciências: os termos químicos apresentados e suas representações possíveis. 1992. 209 f.** 1992.

Dissertação (Mestrado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

HARRES, J. B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 197-211, 1999.

HAYASHI, M. C. P. I.; HAYASHI, C. R. M. FURNIVAL, A.C.M. Ciência, Tecnologia e Sociedade: Aparentamentos preliminares sobre a constituição do campo no Brasil. In: SOUZA, C. M.; HAYASHI, M. C. P. I. (Org.). **Ciência, Tecnologia e Sociedade: enfoques teóricos e aplicados**. São Carlos: Pedro e João Editores, 2008. p. 29- 68.

JUSTINA, L. A. D. et al. Genética no ensino médio: temáticas que apresentam maior grau de dificuldade na atividade pedagógica. In: **Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**. IOSTE, 2000.

JUSTINA, L. A. D.; BARRADAS, C. M. As opiniões sobre o ensino de genética numa amostra de professores de biologia no nível médio. IN: **IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**. Bauru, São Paulo, 2003. CD.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5a ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: A conceptual overview. **Science education**, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEDERMAN, N.G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of research in science teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

LEDERMAN, N. G. Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In: **Scientific inquiry and nature of science**. Springer Netherlands, 2004.p. 301-317.

LINSINGEN, I. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. **Ciência & Ensino**, v. 1, 2008.

LORETO, E. L. S. e SEPEL, L. M. N. Atividades Experimentais e Didáticas de Bio-

logia Molecular e Celular. 2a Ed., **Sociedade Brasileira de Genética**. Ribeirão Preto. SP, 2006

LORENZETTI, L. **Alfabetização científica no contexto das séries iniciais**. 2000. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

MAMEDE, M.; ZIMMERMANN, E. Letramento científico e CTS na formação de professores para o ensino de ciências. In: **Enseñanza de las Ciencias**. 2005. p. 1-4.

MARQUES, A.F.; ZANATA, E.M.; SALLA, H.M. A escola pública e a trajetória do Cursinho Pré-Vestibular Ferradura. In: _____ **NETO, L.O.; CARNEIRO, M.C.; LISBOA FILHO, P.N. (orgs.) Universidade e Sociedade**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015.

MASSABNI, V. O conceito sobre sistema imunológico nos livros didáticos de ensino médio. **conceito sobre sistema imunológico nos livros didáticos de ensino médio**, 2000.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: Problemas e Soluções. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MOREIRA, A. F. B. Currículo, cultura e formação de professores. **Educar**, Curitiba, n. 17, p. 39-52, 2001

MORTATTI, M. do R. L. **Educação e letramento**. Editora UNESP, 2004.

NUNEZ, I. B. et al. A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de Ciências. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 25, n. 04, 2003.

OECD (2013), PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy, OECD Publishing.

OLIVEIRA, E. et al. Análise de conteúdo e Pesquisa na área da Educação. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 4, n.9, p.11-27, maio/ago. 2003

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. **Ciência e Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência e Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PEDRANCINI, V. D. et al. Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do Ensino Médio sobre transgênicos. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 135-146, 2008.

PRETTO, N. de L. **A ciência nos livros didáticos**. Editora da Unicamp, 1995.

PORT, S.E. Alfabetização e letramento: O educador e os desafios de ensinar. In: RODRIGUES, A.F; FORTUNATO, M.P. (orgs). **Alfabetização e letramento: prática reflexiva no processo educativo**. Editora Humanitas, São Paulo, 2014.

ROMERO, P. A. et al. Persistencia de las actitudes y creencias CTS en la profesión docente. **REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 1, n. 1, p. 1, 2002.

SÁ, M. B. Z.; SANTIN FILHO, O. Relações entre ciência, tecnologia e sociedade em livros didáticos de química. **Acta Scientiarum. Humanand Social Sciences**, v. 31, n. 2, p. 159-166, 2009.

SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474-492, 2007.

_____. Significados da educação científica com enfoque CTS. In: _____ **SANTOS, W.L.P. e AULER, D., orgs. CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: um compromisso com a cidadania**. 4 ed. Ijuí: Unijuí, , 2010. 160p.

_____. Ciência e educação para a cidadania. In: CHASSOT, A.; OLIVEIRA, R. J. (Orgs.) **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1998, p.255-70

SCARPA, D. L. **Cultura escolar e cultura científica: aproximações, distanciamentos e hibridações por meio da análise de argumentos no ensino de biologia e na Biologia**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SCHEID, N. M. J. **A contribuição da História da Biologia para a formação inicial de professores de Ciências Biológicas**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,

Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. Concepções sobre a Natureza da Ciência num curso de ciências biológicas: imagens que dificultam a Educação científica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 157-181, 2007.

SCHEID, N.M.J; PERSICH, G. D. O.; KRAUSE, J. C. Concepção de natureza da ciência e a educação científica na formação inicial. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências**, 2009.

SILVEIRA, R. V.M; AMABIS, J. M. Como os estudantes do ensino médio relacionamos conceitos de organização e localização do material genético? **IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**. Bauru, 2003.

SOARES, M. **Letramento: um tema em três gêneros**. Belo Horizonte: Autêntica, 2003.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de La ciencia em las clases de física y química: mejora de La imagen de La ciencia y desarrollo de actitudes positivas. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 19, n. 1, p. 151-162, 2001.

TAKAHASHI, J. A.; MARTINS, P. F. F.; QUADROS, A. L. de. Questões tecnológicas permeando o ensino de química: o caso dos transgênicos. **Química nova na escola**. São Paulo, n. 29, p. 3-7, 2008.

TEIXEIRA, F. M. Alfabetização científica: questões para reflexão. **Bauru, Ciênc. Educ**, v. 19, n. 4, p. 795-809, 2013.

TENREIRO-VIEIRA, C.; VIEIRA, R. M. Educação em ciências e em matemática numa perspectiva de literacia: desenvolvimento de materiais didáticos com orientação CTS/Pensamento Crítico (PC). In: _____ **SANTOS, W.L.P. e AULER, D., orgs. CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 417-437, 2011.

TFOUNI, L. V. **Adultos não alfabetizados: o avesso do avesso**. Pontes, 1988.

TOBALDINI, B. G. et al. Aspectos sobre a natureza da ciência apresentados por alunos e professores de licenciatura em ciências biológicas. **Revista Electrónica de**

Enseñanza de las Ciencias, v. 10, n. 3, p. 457-480, 2011.

VASCONCELOS, S.D.; SOUTO, E. O livro didático de ciências no ensino fundamental-proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência& Educação**, v. 9, n. 1, p. 93-104, 2003.

VÁZQUEZ ALONSO, A. et al. Consensos sobre La naturaleza de La ciencia: la ciencia y la tecnología em La sociedad. **Educación química**, v. 18, n. 1, p. 38-55, 2007.

XAVIER, M. C. F.; SÁ FREIRE, A.; MORAES, M. O. A nova moderna Biologia e a genética nos livros didáticos de Biologia no ensino médio. **Ciência & educação**, v. 12, n. 3, p. 275-289, 2006.

ZABALA, A. **A prática educativa**. Como ensinar. Porto Alegre: Arte Médicas, 1998.

ANEXO 1

Modelo do questionário aplicado com os alunos do Cursinho Ferradura Mirim

Com base em seus conhecimentos, responda ao questionário abaixo.

Instruções: Leia as afirmativas e assinale a alternativa que expressa o seu grau de concordância ou discordância, de acordo com esta legenda:.

CT – Concordo totalmente

CP – Concordo parcialmente

N – Neutro: não concordo, nem discordo

DP – Discordo parcialmente

DT – Discordo totalmente

Questões	CT	CP	N	DP	DT
Geralmente considero mais as aulas de biologia e menos os meios de comunicação, incluindo a internet, como fonte de informações sobre transgênicos.					
Eu sei identificar por meio das informações no rótulo dos produtos no supermercado quais alimentos são transgênicos.					
Os organismos transgênicos podem causar impacto sobre a biodiversidade dos ecossistemas onde forem introduzidos.					
O desenvolvimento da tecnologia dos transgênicos atende mais aos interesses das indústrias e menos os interesses dos consumidores.					
O cultivo dos alimentos transgênicos pode aumentar a utilização de agrotóxicos.					
O consumo de alimentos transgênicos pode trazer riscos à saúde do consumidor.					

ANEXO 2

Tabela com o resultado da aplicação do questionário com os alunos do Curso Ferradura Mirim

QUESTÕES	CT	CP	N	DP	DT	TOTAL
1	12	24	20	16	0	72
2	32	20	4	4	12	72
3	44	12	12	4	0	72
4	36	32	0	4	0	72
5	24	24	12	8	4	72
6	28	20	8	8	8	72

ANEXO 3

1

Genética

Estuda a transmissão das características de uma geração a outra

Nesta unidade



- 1 Primeiras ideias sobre genética
- 2 Gregor Mendel e a genética
- 3 Métodos utilizados em genética mendeliana
- 4 Interações entre os alelos de um gene
- 5 Segunda lei de Mendel
- 6 Além da genética mendeliana
- 7 Determinação do sexo e influência na herança
- 8 Biotecnologia

Variedades cultivadas de milho (*Zea mays*)



Para começar

1. As espigas de milho da fotografia são variedades da espécie *Zea mays*. O que essas espigas têm em comum? Na sua opinião, como surgiram as variedades de milho?
2. Por que os filhos muitas vezes apresentam características semelhantes às dos pais, avós e demais familiares? Por outro lado, mesmo sendo parecidos, eles não são idênticos aos familiares. Por que isso ocorre?
3. Explique o que você sabe sobre a transmissão das características dos genitores para os descendentes.





O que você vai estudar

- Melhoramento genético.
- Organismos geneticamente modificados.
- Clonagem.
- Terapia gênica.

Este capítulo trata das principais técnicas usadas pelo ser humano para potencializar as características desejáveis de animais e plantas. O emprego dessas técnicas remonta há milhares de anos, antes que as bases da hereditariedade fossem compreendidas.

O desenvolvimento da biologia e da genética moleculares proporcionou um novo en-

foque à biotecnologia – inúmeras aplicações que aliam tecnologia e biologia – e o desenvolvimento de técnicas como a transgenia e a clonagem.

Os resultados e as consequências do uso da biotecnologia estão cada vez mais presentes em nossas vidas e devem ser conhecidos e debatidos por toda a sociedade.

A biotecnologia faz parte do nosso cotidiano. Quando fazemos compras em um supermercado adquirimos produtos que foram produzidos utilizando a biotecnologia.



► Melhoramento genético

A Convenção sobre Diversidade Biológica das Nações Unidas definiu **biotecnologia** como "qualquer aplicação tecnológica que usa sistemas biológicos, seres vivos ou seus derivados para fazer ou modificar produtos ou processos". É uma definição bastante ampla, que inclui desde as técnicas de seleção artificial utilizadas na domesticação de plantas e animais até as técnicas mais modernas de engenharia genética.

Seleção artificial

O melhoramento de espécies por meio da seleção artificial e do aprimoramento de variedades vem sendo realizado pelos seres humanos há milhares de anos. No início, o melhoramento era realizado de forma intuitiva. Assim, por exemplo, eram plantadas as sementes obtidas de plantas que apresentaram melhor sabor, maior número de grãos, etc.; ou cruzados os animais mais robustos, que produziram maior quantidade de leite, carne mais macia, etc. Um exemplo é o caso do milho. O ancestral silvestre do milho, o teosinto, apresentava pequeno porte e cerca de 5 a 12 grãos pequenos, duros e que caem quando maduros. Com a seleção artificial das variedades mais interessantes, que teve início há mais de 7 500 anos, o milho passou a ser uma planta com até quinhentos grãos por espiga, bem maiores, muito mais tenros e que não caem.

Heterose e vigor híbrido

Uma maneira de obter variedades melhoradas consiste no cruzamento entre linhagens homozigóticas distintas, processo denominado **heterose**. Por vezes, esse cruzamento resulta em organismos com algumas características superiores aos indivíduos parentais. Isso está relacionado ao chamado **vigor híbrido**.

Um exemplo de vigor híbrido ocorre na produção da raça bovina Girolando. O cruzamento entre as raças Gir e Holandês tem como resultado a raça Girolando, que conciliou a aptidão para boa produção de leite da segunda raça com a rusticidade da primeira, que é ideal para as condições climáticas e o modo de criação de gado brasileiros.

Endogamia

Dependendo da situação e dos objetivos, o melhoramento genético também pode ser feito de maneira oposta à heterose, ou seja, preservando-se a homogeneidade genética em uma linhagem por meio da manutenção de genes em homozigose. Nesse caso, o procedimento mais comumente utilizado é a **endogamia**.

Em plantas hermafroditas, a endogamia pode ser obtida pela autolecundação. Já nas demais plantas ou em animais, isso é feito por meio de cruzamento entre poucos indivíduos selecionados ao longo de várias gerações. Assim, as características hereditárias de interesse sofrem pouca modificação.

Enxertia

Outro método muito empregado de melhoramento genético é a enxertia, uma forma de propagar assexuadamente as plantas de interesse. Nesse método, parte de uma planta viva é implantada em outra.

Um exemplo é o que ocorre na laranja. Pode-se pegar um galho de uma laranjeira que apresenta um fruto bom e enxertá-lo ao de outra laranjeira que, apesar de não fornecer bons frutos, cresce bem e é mais resistente a pragas. Assim, a parte de baixo da planta cresce e nutre a metade enxertada, que dá bons frutos.



O teosinto (à esq.), uma gramínea nativa das Américas Central e do Sul, é o ancestral silvestre do milho (à dir.). No centro, é apresentado um híbrido dos dois.



A enxertia pode ser realizada por vários métodos, e cada espécie se adapta melhor a um tipo. Acima, o broto de uma planta é enxertado em outra.

Domesticação e melhoramento genético

Muito antes dos trabalhos de Mendel, os seres humanos realizavam cruzamentos de plantas e de animais. Ao longo de milhares de anos, certas características presentes em espécies selvagens foram selecionadas, em detrimento de outras características. Dessa forma, surgiram variedades domesticadas, muitas vezes de aparência diferente das variedades selvagens iniciais.

O melhoramento genético, isto é, a obtenção de variedades com características desejáveis, é provavelmente tão antigo quanto a agricultura. Mas como o ser humano aprendeu a desenvolver variedades mais produtivas de plantas, por exemplo? Esse processo também pode ter consequências negativas?

Leia os textos a seguir para aprender mais sobre as técnicas que mudaram a história da nossa espécie.



Após selecionar características de interesse, o melhoramento genético produz variedades distintas da mesma espécie. Brócolis, couve-flor, repolho, couve e couve-de-bruxelas são variedades da mesma espécie, *Brassica oleracea*.

Escolher, cultivar e criar

Para compreender bem como foram constituídas as espécies domésticas, lembremos que, por milhões de anos, os hominídeos se contentaram em explorar, pela predação, as populações vegetais e os animais selvagens, pertencentes a espécies escolhidas entre milhares de outras por sua utilidade e facilidade de exploração. No Neolítico, grupos humanos sedentários começaram a mudar essa maneira de agir. Eles selecionavam pequenas coleções de indivíduos que pertenciam a uma ou outra dessas espécies para submetê-las a condições de crescimento e de reprodução novas, artificiais, resultantes de práticas da protoagricultura*. [...] Após várias gerações, as linhagens de algumas dessas espécies submetidas à protoagricultura perderam algumas de suas características genéticas, morfológicas e comportamentais selvagens originais, pouco compatíveis com seu novo modo de vida. Ao mesmo tempo elas adquiriam outros caracteres que [...] foram desde então conservados. A partir desse momento, mesmo se elas continuassem a assemelhar-se de mil maneiras a seus ancestrais e às populações selvagens persistentes, as novas formas "domésticas" assim obtidas se distinguiram por um pequeno número de caracteres, formando o que se convencionou a chamar de "síndrome de domesticação". Mas vejamos mais precisamente por quais mecanismos essa transformação pôde ocorrer.

Mazoyer, Marcel; Rénouard, Laurence. *História da agricultura no mundo: do Neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Ed. da Unesp, Brasília: NeaL, 2010.

*Nesse texto, a protoagricultura pode ser entendida como o conjunto de técnicas, ainda rudimentares, que precedem a agricultura.

Atividades

1. Em sua opinião, quais características vegetais teriam desaparecido ou surgido durante o processo de domesticação? Cite um exemplo de característica vantajosa para uma variedade cultivada.
2. Embora tenham aparência bastante diferente, acelga e beterraba pertencem à mesma espécie, *Beta vulgaris*. Que características provavelmente foram selecionadas para a obtenção dessas variedades?

A domesticação dos cereais

Toda população de uma espécie de cereal selvagem é heterogênea. Por exemplo, certos grãos caídos no solo germinam desde a primeira estação muito úmida e muito quente, enquanto [outros] começam a vingar duas ou três estações mais tarde. Esse atraso em germinar (dormência) é condicionado por substâncias inibidoras da germinação [...]. Enquanto que uma população se reproduz espontaneamente, essas disposições, variáveis de uma planta a outra, contribuem para repartir a germinação das sementes por várias estações consecutivas mais ou menos favoráveis, aumentando assim as chances de reprodução e de multiplicação da espécie.

Ao contrário, desde que são cultivadas, quer dizer, semeadas em conjunto na primeira estação das chuvas e colhidas em conjunto durante a colheita seguinte, somente os grãos sem dormência podem ser colhidos e semeados mais tarde novamente. A semeadura e a colheita de maneiras agrupadas de uma população de cereal inicialmente selvagem tendem assim a eliminar as linhagens de grãos com dormência [...].

Além disso, os primeiros grãos que germinam e produzem as plântulas mais vigorosas ganham na competição acirrada entre as plantas [...] e obtêm, por essa razão, uma descendência mais numerosa que as outras. [...] A semeadura agrupada tende, portanto, a selecionar linhagens de germinação rápida [...]. Assim sendo, a colheita, quando realizada de uma só vez, no momento da maturidade do maior número de grãos, tende a eliminar as linhagens de maturidade tardia, cujos grãos colhidos demasiadamente cedo são infecundos. [...]

Além do mais, a colheita agrupada tende a eliminar as formas [...] cujos grãos, muito facilmente destacáveis, caem precocemente no solo e escapam, assim, à colheita.

Dessa forma, toda uma série de características [...] que favorecem a reprodução e a difusão espontânea das populações selvagens tornam-se antiperformantes nas condições de reprodução impostas pelas práticas de cultivo humanas e tendem, por essa razão, a ser eliminadas. [...]

MARTIN, Marcel; BOUSSIE, Laurence. *História da agricultura no mundo: do Neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Ed. da Unesp, Brasília: Neol, 2010.

Atividades

1. No primeiro parágrafo do texto, encontre uma palavra que indique a variabilidade genética das populações de plantas selvagens.
2. Explique por que as características abaixo, vantajosas em variedades selvagens, tornaram-se antiperformantes (isto é, desvantajosas) nas variedades domesticadas.
 - a) Dormência das sementes.
 - b) Grãos facilmente destacáveis da planta-mãe.

Genes pouco numerosos e transmissíveis em bloco

[...] Para o milho e para o milheto africano, os genes que comandam [...] [as características da] domesticação são pouco numerosos, agrupados em um mesmo cromossoma, logo, transmissíveis “em bloco”, facilitando muito a passagem da forma selvagem à forma doméstica. Entretanto, como o milho, o sorgo, o milheto, o trigo, a cevada e o arroz se reproduzem preferencialmente por autofecundação (fecundação de cada planta pelo seu próprio pólen), os riscos de hibridação com as formas selvagens se reduzem, enquanto que o isolamento e a conservação dos caracteres domésticos adquiridos são facilitados.

[...]

Outras plantas de sementes

Nas plantas com grãos distintos dos cereais, a forma geral do processo de domesticação é bastante semelhante. Por exemplo, enquanto as populações de leguminosas selvagens dispõem geralmente de vagens que se abrem facilmente quando maduras para facilitar a disseminação das sementes, e de sementes com dormência [...], as populações domesticadas perderam essas características. [...]

Matsuura, Mirel; Ruchner, Laurence. *História das agriculturas no mundo: do Neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Ed. da Unesp, Brasília: Nead, 2010.



As vagens (frutos) de plantas como feijão (A) e soja (B) não se abrem espontaneamente, mesmo quando maduras. Essa característica, selecionada nas variedades cultivadas, evita que os grãos (C e D) caiam ao solo e sejam perdidos antes da colheita.

Atividades

1. O texto afirma que vários genes que condicionam características desejáveis no milho domesticado estão localizados no mesmo cromossomo. Por que isso facilita a transmissão dessas características?
2. Em seus estudos sobre a hereditariedade, Mendel utilizou plantas com autofecundação. Explique a vantagem dessa escolha para esse tipo de estudo.

Plantas de multiplicação vegetativa

Nas plantas de multiplicação vegetativa que os cultivadores reproduzem por estaca de um fragmento do caule (mandioca) ou enterrando um fragmento de tubérculo (batata, inhame), por plantio de um pedaço de rizoma ou rebento lateral (bananeira), cada planta cultivada herda de forma idêntica os caracteres genéticos da planta-mãe. De tal maneira que é comum supor que as qualidades aparentes de uma planta-mãe selvagem, escolhida por ter dado bons e belos tubérculos, frutos ou raízes, [...] [sejam transmitidas] integralmente aos seus descendentes cultivados.

Ora, não é tão simples assim. Certas plantas proporcionam boas colheitas devido às suas características genéticas próprias, e essa qualidade é, desde então, transmissível. No entanto, outras plantas que não possuem essas características genéticas vantajosas dão resultados tão bons ou ainda melhores quando se desenvolvem em condições microlocais muito favoráveis de solo, de exposição à luz, de umidade ou ausência de concorrência.

Ao contrário, plantas geneticamente vantajosas podem encontrar-se em condições desfavoráveis que as impedem de manifestar suas qualidades intrínsecas. Foi, portanto, preciso tempo e atenção para separar as plantas geneticamente vantajosas das plantas simplesmente favorecidas por suas condições de desenvolvimento.

Matsuura, Mirel; Ruchner, Laurence. *História das agriculturas no mundo: do Neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Ed. da Unesp, Brasília: Nead, 2010.

Atividades

1. Faça um resumo das ideias do trecho anterior utilizando os conceitos de genótipo e fenótipo.
2. Como você faria para selecionar boas mudas de plantas cultivadas por multiplicação vegetativa?

Consequências negativas do melhoramento genético

Uma tônica praticamente constante no melhoramento genético que vem sendo imprimida há muitos séculos é a de promover, em grau cada vez mais acentuado, a uniformidade das linhagens de plantas cultivadas. Frequentemente, essa prática conduz a uma acentuada redução no número de linhagens cultivadas. A seleção das linhagens mais favoráveis leva à exclusão das demais. [...]

[...] uniformidade é conseguida através de sucessivas reproduções autogâmicas*. [...]

As culturas primitivas [...] tinham um elevado grau de heterozigose e adaptabilidade; eram pouco produtivas e muito heterogêneas. Dizemos que a **base genética** dessas culturas era muito ampla, ou seja, havia, no conjunto de todos os indivíduos, uma coleção muito grande de genes que poderiam ser futuramente selecionados, pela adaptação que eles poderiam prover a uma dada situação que a cultura eventualmente tivesse que enfrentar. As modernas culturas avançadas, ao contrário, têm uma **base genética muito estreita**, pois a maior parte dos genes de seus ancestrais mais remotos foi eliminada nos múltiplos processos de segregação, recombinação e seleção a que a cultura vem sendo submetida nas práticas de melhoramento genético.

[...] Costuma-se usar o termo **erosão gênica** para designar o estreitamento da base genética de culturas promovido pelo homem. [...]

[...] Hoje, [...] [essas culturas] constituem linhagens uniformes, anãs, altamente adaptadas a uma elevada produção de frutos e sementes, mas extremamente carentes de potencial genético para resistir ao ataque de bactérias, fungos, vírus e herbívoros. A resistência natural de seus ancestrais foi substituída por uma alta produtividade. A proteção contra os inimigos das culturas é conferida pelo emprego de defensivos agrícolas.

Enquanto a natureza tem uma vocação "democrática", no sentido de privilegiar a independência e diversidade das comunidades naturais, o homem impõe ao ambiente um tratamento autoritário: ele homogeneiza, isto é, reduz a diversidade, e introduz um paternalismo às espécies que ele cultiva. Estas são dependentes do homem, já que, entre outras razões, elas são praticamente desprovidas de fatores naturais de resistência aos inimigos naturais e portanto só subsistem sob a administração de grandes quantidades de defensivos.

[...]

A perda de genes que conferem resistência às doenças e pragas é encarada como a consequência mais deplorável do melhoramento genético. A reversão do processo, isto é, a reintrodução de genes capazes de conferir resistência contra patógenos e herbívoros tem sido em tempos mais recentes um item importante nos programas de melhoramento. [...]

Disponível em: <http://educat.ig.usp.br/hb141/melhoramento_genetico.pdf>. Acesso em: 24 maio 2013.

*Reprodução autogâmica significa reprodução por autofecundação. Ou seja, a planta é fecundada por seu próprio pólen.



Agricultor observa inflorescência masculina de milho, no México. Agricultores no sudeste daquele país são incentivados a plantar variedades locais de milho. Tais variedades apresentam genes de resistência a diversos microrganismos.

Atividades

1. Em sua opinião, o melhoramento genético deve levar em conta somente a produtividade das plantas?
2. Em diversos locais do mundo, existem bancos de sementes de variedades selvagens. Tais depósitos atuam como um "seguro genético". Explique o sentido dessa expressão.

► Engenharia genética

Atualmente, técnicas mais convencionais de melhoramento genético convivem com as técnicas da engenharia genética (ou tecnologia do DNA recombinante), que permitem manipular diretamente o genoma dos organismos e também construir sequências de DNA em laboratório.

Enzimas de restrição e eletroforese

As **enzimas de restrição** são aquelas capazes de “cortar” uma molécula de DNA em pontos específicos. Existem centenas de tipos, e cada um se liga a certa sequência de bases nitrogenadas. Uma molécula de DNA cortada com determinado tipo de enzima de restrição fornece pedaços de DNA que podem ser separados, de acordo com o seu tamanho e carga elétrica, por meio da **eletroforese**.

A eletroforese é uma técnica que consiste em colocar uma amostra de alguma substância – DNA, por exemplo – em uma placa de gel e aplicar uma corrente elétrica. No caso do DNA, todos os fragmentos percorrem o gel em direção ao polo elétrico positivo, mas os menores se movimentam mais rapidamente que os maiores. Quando a corrente elétrica é desligada, os fragmentos param em posições diversas. Então é aplicada uma substância que permite visualizar as faixas de DNA sob luz ultravioleta. A distribuição dessas faixas é característica de cada DNA, portanto serve para identificar uma pessoa. Essa técnica é muito utilizada em investigações policiais.

Organismos geneticamente modificados

Organismos geneticamente modificados (OGMs) são aqueles cujo genoma foi alterado por meio de técnicas de engenharia genética. Pode-se inserir um gene no genoma de um indivíduo, por exemplo. Para isso, é preciso primeiro isolar um fragmento de DNA contendo um ou mais genes de interesse econômico, científico ou médico. Em seguida, esse DNA é introduzido na célula-alvo, que pode ser um óvulo fecundado, ou é incorporado a plasmídeos, posteriormente inseridos em células bacterianas. As enzimas ligantes unem os segmentos formando um **DNA recombinante** (veja esquema abaixo). O objetivo é que esse gene inserido se expresse no organismo modificado, sintetizando uma proteína que ele não produzia anteriormente e também que seja copiado normalmente para as células-filhas durante a mitose.

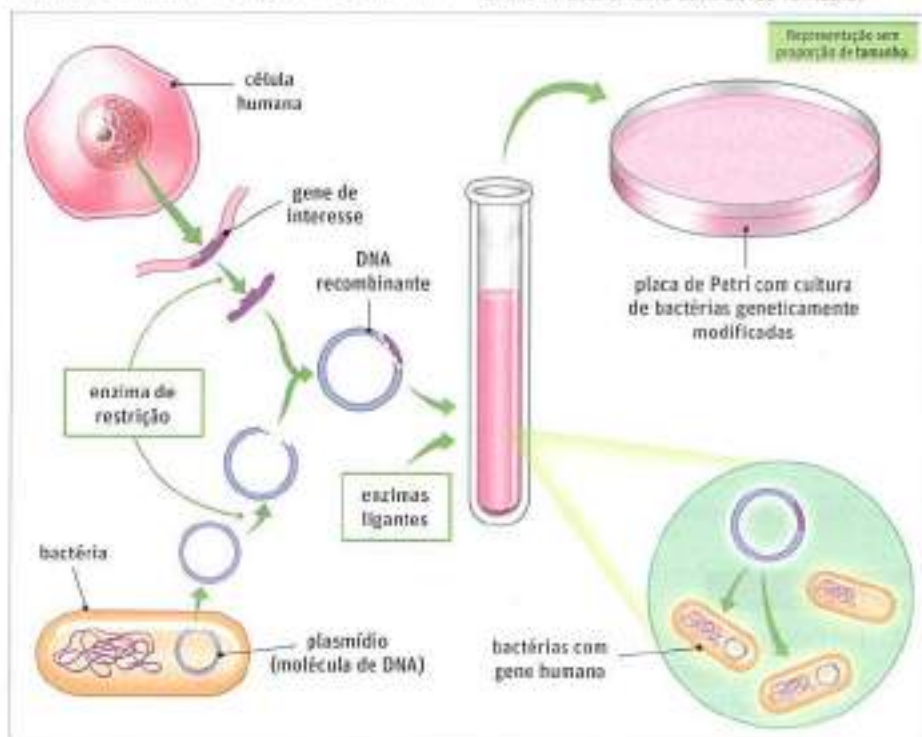
Aplicações dos OGMs

A manipulação genética por meio da tecnologia do DNA recombinante é uma forma de melhoramento genético com a qual se pode obter, de maneira rápida e controlada, organismos com as características de interesse. Assim, é possível, por exemplo, desenvolver cultivares mais resistentes a doenças, a herbicidas, a geadas, a secas, com menos necessidade de adubo, com frutos maiores, mais doces, mais nutritivos, etc.



A eletroforese permite separar fragmentos de DNA de tamanhos diferentes, formando bandas. Para visualizá-las, é preciso usar um corante e luz ultravioleta.

Representação do processo de geração de DNA recombinante a partir de DNA humano e da bactéria *Escherichia coli*. Cores-fantasia.



Organismos transgênicos

Um tipo específico de OGM são os **organismos transgênicos**, que são criados quando o fragmento de DNA inserido provém de outra espécie.

A primeira aplicação comercial de um organismo transgênico talvez seja a que ocorreu em 1978, quando Herbert Boyer, na Califórnia, conseguiu produzir insulina humana após inserir esse gene na bactéria *Escherichia coli*.

Existem outras aplicações farmacêuticas interessantes para produtos transgênicos. Podem-se desenvolver organismos que produzem substâncias como anticorpos e hormônios. Um exemplo é a introdução em vacas e cabras do gene que produz o fator anti-hemofílico, propiciando um método barato para produção e distribuição dessa substância, já que esses animais passam a liberá-lo no leite.

Outros animais transgênicos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de criar modelos de estudo para os processos patológicos humanos. Por exemplo, atualmente já são utilizados ratos transgênicos nos laboratórios de pesquisa sobre diversos tipos de câncer. Esses ratos carregam em seu genoma genes humanos que provocam câncer, e assim se pode investigar quando e como esses genes são ativados.

OGMs no Brasil

Entre os transgênicos produzidos no Brasil estão o feijão e a batata resistentes a diferentes vírus, o algodão com resistência a insetos e a soja com tolerância a herbicidas. Esses OGMs foram desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa), um dos centros de excelência no melhoramento genético animal e vegetal.

Biologia se discute

O debate em torno dos transgênicos

A discussão sobre os possíveis riscos ao ambiente e à saúde representados pelos OGMs vem crescendo com os avanços tecnológicos para o desenvolvimento desses produtos.

Entre os riscos considerados da inserção de genes no genoma de um organismo está o da produção de novas proteínas alergênicas ou de substâncias que provoquem efeitos tóxicos não identificados em testes preliminares. Também são avaliadas as possibilidades de que os OGMs possam prejudicar outras espécies, ou de que genes que conferem resistência a herbicidas possam emigrar para o genoma de ervas daninhas por hibridização entre as espécies.

Para evitar que problemas desse tipo aconteçam, os países vêm adotando protocolos de biossegurança para controle e vigilância antes de autorizar a liberação de OGMs no ambiente.

No Brasil, a regulamentação para produção e comercialização de transgênicos é estabelecida pela Lei de Biossegurança, implementada em 2005. Essa lei determina que as variedades de transgênicos sejam analisadas e aprovadas por duas comissões antes de serem produzidas em escala comercial: a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS).

Além de passar pela aprovação dessas comissões, os produtos transgênicos devem atender às exigências de mais quatro órgãos: a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

O debate na sociedade em torno dos transgênicos está dividido e envolve representantes de diferentes setores, além da comunidade científica, como políticos, empresários e religiosos.



Acima, cultivo *in vitro* de mudas de soja (*Glycine max*) transgênica. Abaixo, plantação de soja. Em destaque, frutos de soja transgênica. A parte comestível é a semente.

Clonagem de organismos



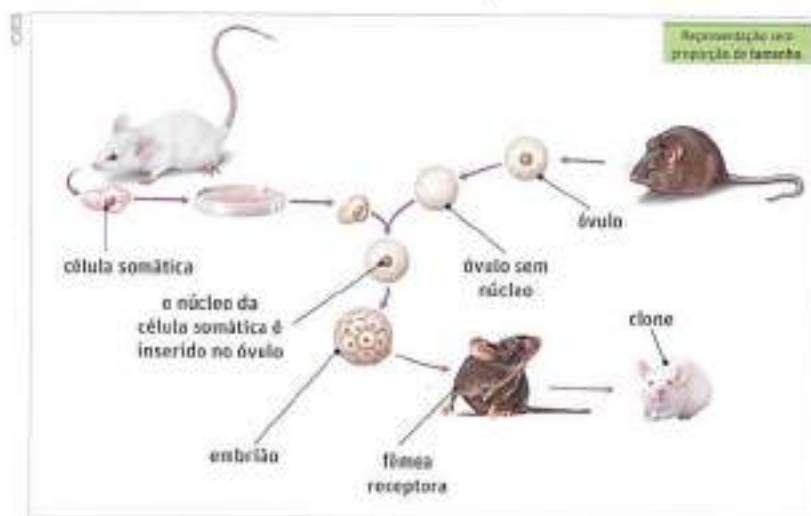
Organismos que apresentam o mesmo material genético são chamados de clones. A clonagem ocorre de maneira natural em espécies que se reproduzem assexuadamente. Nesse caso, o novo indivíduo é um clone de seu progenitor, uma vez que se origina a partir de mitoses das células do corpo deste.

A clonagem também pode acontecer artificialmente por meio de técnicas que permitem desenvolver um animal ou uma planta a partir de uma célula somática, ou seja, diferenciada, ou de seu núcleo.

A clonagem de animais a partir de células somáticas teve um grande impulso em 1997, quando Ian Wilmut (1944-) e outros pesquisadores escoceses obtiveram sucesso ao clonar uma ovelha, que foi chamada de Dolly.

A clonagem em animais consiste em inserir o núcleo de uma célula somática no citoplasma de um óvulo, cujo núcleo foi previamente retirado. As etapas do processo de clonagem são resumidamente apresentadas a seguir.

- Células somáticas são extraídas do indivíduo que se deseja clonar (veja esquema abaixo). Para produzir a Dolly, foram utilizadas células da glândula mamária de uma ovelha.
- As células são cultivadas em laboratório, e o ciclo celular é estacionado durante a interfase.
- Um óvulo é extraído de uma fêmea da mesma espécie, e seu núcleo é retirado.
- O núcleo de uma célula somática é inserido no óvulo, já sem núcleo. A célula resultante é estimulada a dividir-se, dando origem a um embrião.
- O embrião é implantado em fêmeas receptoras. Caso se desenvolva, o embrião será um clone do indivíduo que doou as células somáticas.



Representação do processo de clonagem em ratos. Note que o clone é branco, tal como o rato doador da célula somática.

Aplicações da clonagem

A clonagem tem aplicações em diversos campos, como agricultura, pecuária e medicina.

A **clonagem de plantas** é utilizada para obter cópias de indivíduos com alguma característica de interesse, como maior resistência às pragas. As técnicas de clonagem vegetal são mais simples e utilizadas há mais tempo que as técnicas de clonagem animal.

A **clonagem de animais** também visa obter cópias idênticas de indivíduos que apresentem, por exemplo, maior produção de leite ou carne.

A **clonagem em seres humanos** tem fins terapêuticos, como a produção de órgãos ou tecidos para transplantes, evitando-se, assim, a rejeição.

Saiba mais

Bibliotecas genômicas

O sequenciamento do genoma de espécies animais e vegetais é rotina em vários laboratórios espalhados pelo mundo, gerando uma quantidade enorme de informações. As bibliotecas genômicas são coleções de trechos de DNA e das informações a eles relacionadas, organizadas para facilitar o acesso a esse conhecimento. O *GenBank*, por exemplo, é a biblioteca genômica do Instituto Nacional de Saúde dos EUA. Ela mantém parceria com bibliotecas genômicas de outros países e atualmente disponibiliza mais de 150 milhões de registros de sequências de DNA, referentes a cerca de 260 mil organismos. Acervos desse tipo estão espalhados em vários países. No Brasil existem algumas bibliotecas genômicas, como o Centro Brasileiro de Estocagem de Genes, criado para viabilizar a estocagem e a distribuição de trechos de DNA gerados nos projetos financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Ao organizar o conhecimento relativo aos genomas dos organismos, as bibliotecas genômicas facilitam as pesquisas em várias áreas: na identificação e no tratamento de doenças condicionadas geneticamente; na criação de organismos híbridos e transgênicos para uso na medicina, na agricultura e na pecuária; na medicina legal, nos estudos evolutivos e de descendência. Contribuem também como acervo da biodiversidade.

Clonagem reprodutiva

[...] Se desejássemos fazer clonagem humana reprodutiva, teríamos que retirar o núcleo de uma célula somática que, teoricamente, poderia ser de qualquer tecido de uma criança ou adulto, inserir o núcleo em um óvulo*, e depois implantá-lo no útero de uma mulher, que funcionaria como barriga de aluguel. Se o óvulo se desenvolvesse teríamos um novo ser com as mesmas características físicas da criança ou adulto de quem foi retirada a célula somática. Seria como um gêmeo idêntico nascido posteriormente.

Já sabemos que esse processo não é fácil. Dolly só nasceu depois de 276 tentativas fracassadas. Além disso, dentre os núcleos das 277 células da "mãe de Dolly" inseridos em um óvulo sem núcleo, 90% não alcançaram nem o estágio de blastocisto. As tentativas posteriores de clonar outros mamíferos, como camundongos, porcos, bezerros, cavalo, cachorros, gatos e até um veado, entre outros, também mostram eficiência muito baixa e uma proporção muito grande de abortos e embriões malformados. Penta, a primeira bezerra brasileira clonada a partir de uma célula somática adulta, em 2002, morreu com um pouco mais de um mês. Ainda em 2002, foi anunciada a clonagem do "copycat", o primeiro gato de estimação clonado a partir de uma célula somática adulta. Para chegar a isso, foram utilizados 188 óvulos que geraram 87 embriões e apenas um animal vivo. Na realidade, experiências recentes, com diferentes modelos animais, têm mostrado que a reprogramação da célula somática para um estágio embrionário, indiferenciado, que originou Dolly, é extremamente difícil.

Ian Wilmut, o cientista escocês famoso pela experiência que resultou no nascimento de Dolly, afirma que praticamente todos os animais clonados a partir de células não embrionárias estão com problemas (Rhind, 2003). Entre os diferentes defeitos dos pouquíssimos animais que nasceram vivos após inúmeras tentativas, observaram-se: placentas anormais, gigantismo em ovelhas, defeitos cardíacos em porcos, problemas pulmonares em vacas, ovelhas e porcos, problemas imunológicos, falha na produção de leucócitos, defeitos musculares em carneiros. De acordo com Hochedlinger e Jaenisch (2003), os avanços recentes em clonagem reprodutiva permitem quatro conclusões importantes:

- 1) a maioria dos clones morre no início da gestação;
- 2) os animais clonados têm defeitos e anormalidades semelhantes independentemente da célula doadora ou da espécie;
- 3) essas anormalidades provavelmente ocorrem por falhas na reprogramação do genoma das células somáticas;
- 4) a eficiência da clonagem depende do estágio de diferenciação da célula doadora.

De fato, a clonagem reprodutiva, a partir de células embrionárias, tem mostrado uma eficiência de 10 a 20 vezes maior, provavelmente porque os genes importantes no início da embriogênese estão ainda ativos no genoma da célula doadora. [...]

Entre todos os mamíferos já clonados, é interessante notar que a eficiência é um pouco maior em bezerros. Até o fim de 2009 já haviam sido clonados cerca de 70 bezerros no Brasil. Clonar um animal campeão é comercialmente de grande interesse. Entretanto será necessário seguir esses animais por vários anos para saber se eles serão tão normais como aqueles nascidos pelo método tradicional da união de um óvulo com um espermatozoide.

Segundo a cientista inglesa Ann McLaren, falecida em 2007, as falhas na reprogramação do núcleo somático podem vir a se constituir em barreira intransponível para a clonagem humana. [...] Em 2003, as academias de ciências de 63 países, inclusive a brasileira, formalizaram documento conjunto em que pediam o banimento da clonagem reprodutiva humana. O fato é que a simples possibilidade de clonar humanos suscita discussões éticas em todos os segmentos da sociedade: Por que clonar? Quem deveria ser clonado? Quem iria decidir? Quem será o pai ou a mãe do clone? O que fazer com os clones que nascerem defeituosos? [...]

Zatz, M.; Pessoni-Bueno, M. R. Informações genômicas: O que é clonagem? Clonagem reprodutiva. Disponível em: <http://genoma.flt.usp.br/tyxigf_id=62>. Acesso em: 25 jan. 2013.

* O termo óvulo, usado com o significado de ovócito secundário, foi mantido de acordo com o texto original.



Ovelha Dolly, primeiro mamífero que nasceu a partir da técnica de clonagem reprodutiva, e Ian Wilmut, cientista responsável pelo experimento que a originou. Escócia, 1997.

Terapia gênica

Após localizar um gene envolvido na expressão de uma doença genética, é possível estudar sua sequência de DNA e seu produto proteico. Com a compreensão dos mecanismos genéticos e moleculares de uma doença, pode ser possível desenvolver a terapia gênica.

Essa terapia é uma estratégia terapêutica que utiliza a tecnologia do DNA recombinante para alterar o genoma do indivíduo que se pretende curar. O objetivo é reparar as deficiências de um gene (ou de um grupo de genes) afetado ou até mesmo inibir a expressão de certos genes nas células-alvo. Para isso, a terapia gênica pode envolver:

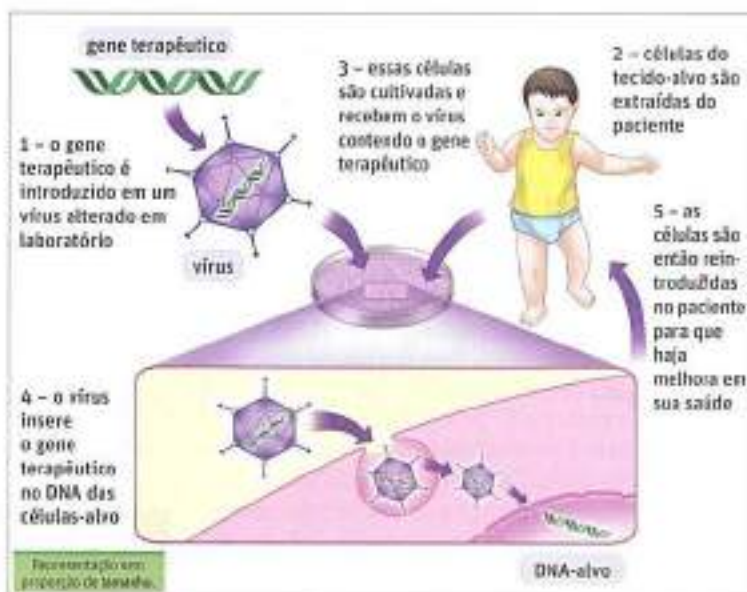
- a substituição de um gene não funcional por uma cópia funcional;
- a deleção de um gene não funcional;
- a introdução de uma cópia gênica normal sem modificação do gene original; ou
- a adição de um gene ausente no genoma.

Em comparação com a criação de OGMs, que pode ser feita com óvulos fertilizados, uma grande dificuldade de implementar a terapia gênica é inserir o gene desejado em um grande conjunto de células de um indivíduo já crescido.

Vetores de DNA

Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos e aprimorados para o transporte de genes às células somáticas. São utilizados vetores que funcionam como veículos carregadores de genes para o interior das células. Em geral, esses vetores são de natureza biológica, como os vírus e as bactérias.

O tratamento de doenças humanas por meio da transferência de genes foi origi-



Fonte de pesquisa:
National Institute of
Health, EUA, 17 abr. 2009.
Esquema representativo
de um dos tipos possíveis
de terapias gênicas.
Cores-fantasia.

nalmente direcionado para doenças hereditárias, como é o caso das hemofílias e hemoglobinopatias (problemas nas hemoglobinas). Atualmente, a maioria dos experimentos clínicos de terapia gênica em curso está direcionada para o tratamento de doenças adquiridas, como é o caso da aids, de doenças cardiovasculares e de diversos tipos de câncer.

Embora as pesquisas para desenvolvimento de terapias gênicas venham se intensificando, essa é uma área nova do conhecimento, e até 2009 nenhum tratamento desse tipo havia saído da fase experimental. Além da dificuldade de inserir o novo fragmento de DNA em muitas células, também há o fato de que muitas enfermidades não são decorrentes de problemas em um único gene.

Saiba mais

Na embalagem

Você sabe o que quer dizer o símbolo em destaque ao lado? Ele indica que o produto da embalagem contém pelo menos 1% de alimento de origem transgênica e se tornou obrigatório a partir de 2004, quando entrou em vigor o Decreto Federal n. 4.680 de 2003. Acima desse percentual, tanto os produtos embalados quanto os vendidos a granel ou *in natura* devem trazer, além do símbolo, algumas expressões padronizadas para informar a sua origem e composição transgênica. O direito do consumidor às informações sobre os produtos também está expresso no Código de Defesa do Consumidor.

Rótulo de produto de origem transgênica:
destaca-se o símbolo que indica essa característica.



- Os frutos, verduras, cereais e carnes da alimentação humana são em sua ampla maioria variedades que sofreram intervenção humana. Qual o tipo de intervenção a que a maioria desses alimentos foi submetida?
- Leia o texto a seguir e responda às questões.

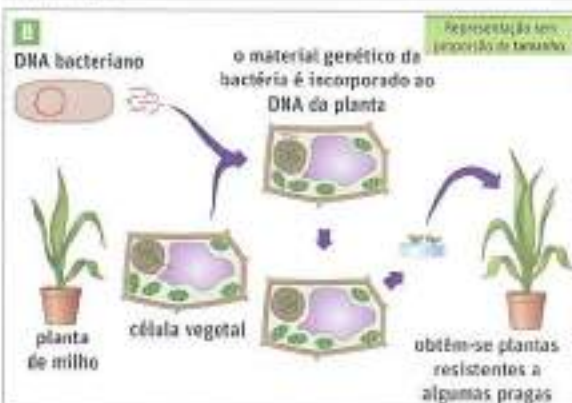
[...] "Decidir se as plantas transgênicas são boas ou ruins não é simples. Em primeiro lugar, não há uma resposta definitiva. Dados e resultados às vezes conflitantes são também apresentados pelos diferentes grupos de pessoas, entre cientistas, ambientalistas, representantes de multinacionais pró-transgênicos, representantes de multinacionais de sementes convencionais, religiosos, produtores, parlamentares etc. Em um mesmo grupo também há divergências, como é o caso dos cientistas que podem ter pontos de vista variados sobre a questão. Há, por exemplo, muitas dúvidas quanto ao impacto dos transgênicos na saúde e no meio ambiente. Pesquisas isoladas já demonstraram tanto benefícios quanto malefícios de determinados tipos de transgênicos para a saúde e para o meio ambiente. No entanto, nenhuma dessas pesquisas foi conclusiva para os transgênicos como um todo. Para alguns, a ausência de evidências é o bastante para provar que os transgênicos não trazem risco algum. Para outros não." [...]

Menezes, L.; Nattaia, F. *Transgênicos em debate*. Rio de Janeiro: Museu da Vida-Casa de Oswaldo Cruz-Fiocruz, 2007. p. 28-29. Disponível em: <<http://www.museudavida.fiocruz.br/egc/guia/ese/99/stat.htm?infomodo=1032&data=2013>>. Acesso em: 4 fev. 2013.

- Quais os argumentos usados no texto que apoiam a afirmação "não há uma resposta definitiva"?
 - Em que grupo você se insere: entre aqueles para quem a ausência de evidências é suficiente para garantir que os transgênicos são seguros, ou entre os que exigem a comprovação de que eles são totalmente seguros? Justifique.
- A fotografia abaixo mostra o tomate *Flavr Savr*, um OGM comercializado como alimento em alguns países desde 1994. Esse tomate amadurece mais devagar, o que permite maior tempo de armazenamento e redução das perdas por apodrecimento.



- O que significa a sigla OGM?
 - Explique sucintamente a técnica que permite produzir esse tipo de organismo.
- As figuras a seguir representam dois processos utilizados em biotecnologia. Observe-as e responda ao que se pede.



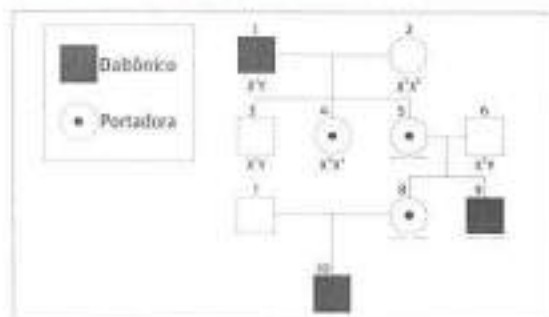
- Qual processo é representado em cada figura?
 - Qual dos processos envolve a inserção de DNA de outra espécie?
- Observe o gráfico abaixo, feito com base em dados hipotéticos.



- Que tipo de vantagens econômicas a incorporação dessas características poderia trazer para o produtor agrícola?
- Que desvantagens podem existir no plantio e no consumo de alimentos transgênicos?

Aprenda a resolver

1. (UFC-CE) A genealogia abaixo nos mostra uma forma de transmissão do daltonismo.



Assinale [no caderno], dentre as alternativas que se seguem, as que são corretas.

- O daltonismo está relacionado com genes localizados em cromossomos autossômicos.
- O daltonismo é determinado por um gene recessivo d, sendo que seu alelo dominante D condiciona visão normal.
- O homem 1 transmite a todos os seus descendentes um cromossomo X^d .
- O genótipo do indivíduo 5 é X^dX^d .
- O casal 1 x 2 pode ter filhos homens daltônicos.
- O genótipo do indivíduo 9 é X^dY .
- O indivíduo 8 tem o mesmo genótipo de sua mãe.

Resolução

Para análise de genealogias, é importante determinar os genótipos dos indivíduos envolvidos. Também se deve identificar o tipo de herança em questão. Nesse caso, todos os indivíduos afetados são homens e todos os portadores são mulheres, o que indica se tratar de herança recessiva ligada ao X.

A alternativa a é incorreta porque o daltonismo, assim como a hemofilia e a distrofia muscular, é uma anomalia genética condicionada por um gene recessivo localizado no cromossomo X, que é sexual e não autossômico.

A alternativa b é correta. O daltonismo é uma herança recessiva ligada ao cromossomo X. As mulheres afetadas apresentam genótipo X^dX^d e os homens afetados são X^dY .

A alternativa c é incorreta, pois o homem transmite a seus filhos homens o cromossomo sexual Y e somente às suas filhas mulheres é que transmite o X^d .

A alternativa d é incorreta porque se a mulher 5 é portadora do gene para daltonismo, mas não daltônica, ela é heterozigota e seu genótipo é X^dX^D .

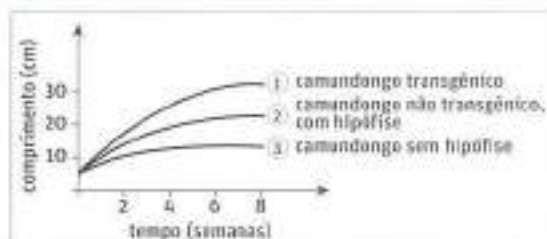
A alternativa e é incorreta porque o casal 1 x 2

não pode ter filhos daltônicos. Para que o indivíduo seja daltônico, deve receber o gene (X^d) de sua mãe, já que herda de seu pai o cromossomo Y. No caso, a mulher é homozigota dominante e, para que transmita o gene do daltonismo, é preciso que seja daltônica ou portadora.

A alternativa f é correta. Como é um homem, herdou de seu pai o Y e de sua mãe heterozigota o X^d , que determina seu daltonismo.

A alternativa g está correta. A mulher 8 herdou do pai o cromossomo X^d . Sendo portadora, conforme indicado no heredograma, só pode ter herdado de sua mãe o cromossomo X^d . Portanto, é heterozigota para daltonismo, como a mãe.

2. (Fuvest-SP) Um pesquisador construiu um camundongo transgênico que possui uma cópia extra de um gene Z. Em um outro camundongo jovem, realizou uma cirurgia e removeu a hipófise. Em seguida, estudou o crescimento desses camundongos, comparando com o crescimento de um camundongo não transgênico e com hipófise. Obteve as seguintes curvas de crescimento corporal:



- Explique a causa da diferença no crescimento dos camundongos 2 e 3.
- Com base em sua resposta ao item a, elabore uma hipótese para a causa da diferença no crescimento dos camundongos 1 e 2.

Resolução

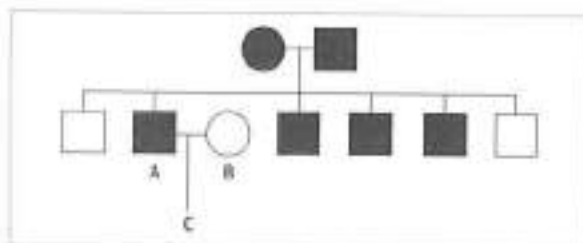
Em questões envolvendo gráficos, é importante analisá-los. Verifique as indicações dos eixos das ordenadas e abscissas e observe os padrões gerais. Neste caso, o gráfico mostra o perfil de crescimento de três indivíduos experimentais ao longo do tempo. A ideia geral indicada no gráfico é que os três indivíduos apresentam taxas de crescimento similares, mas a taxa é mais acentuada no indivíduo 1 que no indivíduo 2 e mais no indivíduo 2 que no indivíduo 3. Também é fundamental observar as indicações para as características que diferenciam cada indivíduo. No caso, é possível perceber que o indivíduo 2 é o controle, uma vez que não passou por nenhuma das intervenções sofridas pelos demais (remoção da hipófise no indivíduo 3 e adição de gene Z no indivíduo 1). Antes de iniciar as respostas, faça uma leitura preliminar dos dois itens solicitados para saber o que será perguntado e, assim, organizar a redação.

Item a: é pedida apenas a comparação entre o crescimento dos camundongos 2 e 3. Como indicado no enunciado, o que os diferencia é a presença de hipófise no indivíduo 2. A presença de hipófise permite que o camundongo 2 secrete normalmente o hormônio do crescimento, em oposição ao que ocorre com o camundongo 3, que não tem hipófise.

Item b: é solicitada a comparação entre o crescimento dos camundongos 1 e 2. Nesse caso, o que diferencia os indivíduos é a transgenia. Como explicado no enunciado, o camundongo do indivíduo 1 apresenta uma cópia extra do gene Z. Como o gráfico indica que seu crescimento é maior do que o do indivíduo 2 (controle), é possível deduzir que esse gene codifica a estrutura primária do hormônio do crescimento. Sua presença em duplicidade faz com que o camundongo geneticamente modificado produza maior quantidade de hormônio do crescimento.

Testes

3. (PUC-RJ) O albinismo é uma condição recessiva caracterizada pela total ausência de pigmentação (melanina) na pele, nos olhos e no cabelo. Na figura, um casal (A e B) planeja ter um filho (C).



Sabendo que B (mãe) é albina e A (pai) tem irmãos albinos, a probabilidade de A ser portador do alelo para o albinismo e de C ser albino é, respectivamente:

- a) $1/4$ e $1/8$
 b) $2/3$ e $1/3$
 c) $1/4$ e $1/2$
 d) $1/3$ e $1/6$
 e) $1/2$ e $1/2$
4. (UFRN) O primeiro relato da ocorrência da Síndrome de Spoan foi feito em Serrinha dos Pintos, município no interior do Rio Grande do Norte.

Estima-se que 10% da população desse município possua o gene causador da síndrome, que se manifesta por atrofia do sistema nervoso e paralisia. A síndrome é determinada por um alelo autossômico recessivo e as chances de ela ocorrer é favorecida através de descendentes de casais consanguíneos.

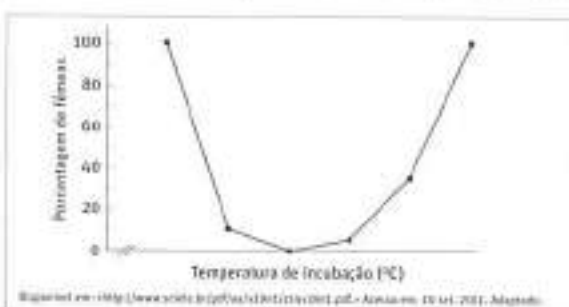
Disponível em: <www.wikipedia.com.br>. Acesso em: 12 jul. 2011.

Suponhamos que um casal de primos, natural de Serrinha dos Pintos, aguarde o nascimento do seu primeiro filho. Embora não apresentem a Síndrome

de Spoan, o casal gostaria de saber a probabilidade de esse filho vir a apresentá-la, ou de ser saudável, mas portador do gene para esse tipo de síndrome.

Os princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias indicam que o filho desse casal tem:

- a) 75% de probabilidade de apresentar a síndrome, se ambos os pais forem heterozigotos.
 b) 25% de probabilidade de apresentar a síndrome, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
 c) 50% de chance de ser saudável, mas ser portador do gene, se apenas um dos pais possuir um alelo recessivo.
 d) 100% de chance de ser saudável, mas portador do gene, se ambos os pais forem heterozigotos.
5. (Fuvest-SP) Em tomates, a característica planta alta é dominante em relação à característica planta anã e a cor vermelha do fruto é dominante em relação à cor amarela. Um agricultor cruzou duas linhagens puras: planta alta/fruto vermelho x planta anã/fruto amarelo. Interessado em obter uma linhagem de plantas anãs com frutos vermelhos, deixou que os descendentes dessas plantas cruzassem entre si, obtendo 320 novas plantas. O número esperado de plantas com o fenótipo desejado pelo agricultor e as plantas que ele deve utilizar nos próximos cruzamentos, para que os descendentes apresentem sempre as características desejadas (plantas anãs com frutos vermelhos), estão corretamente indicados em:
- a) 16; plantas homozigóticas em relação às duas características.
 b) 48; plantas homozigóticas em relação às duas características.
 c) 48; plantas heterozigóticas em relação às duas características.
 d) 60; plantas heterozigóticas em relação às duas características.
 e) 60; plantas homozigóticas em relação às duas características.
6. (UFG-GO) Em algumas espécies, os genes determinadores do sexo são afetados pelo ambiente. O gráfico a seguir mostra a porcentagem de nascimento de fêmeas de uma espécie de quelônio em resposta à variação térmica durante o período de incubação dos ovos.

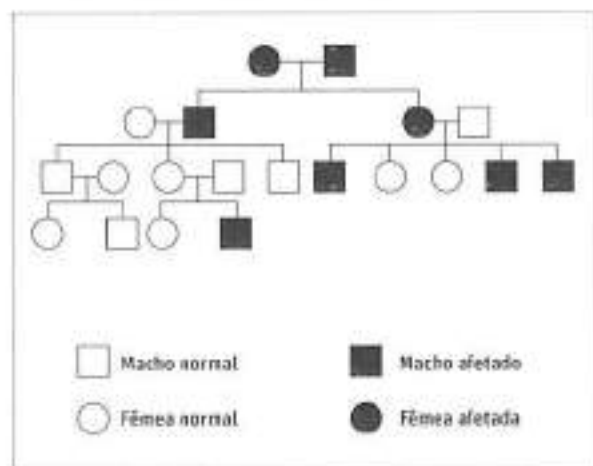


Considere que a faixa de temperatura representada no gráfico pode ser aproximada pela parábola de equação $p = 4T^2 - 200T + 2500$, em que p corresponde à porcentagem de nascimento de fêmeas e T à temperatura em $^{\circ}\text{C}$.

Suponha que, nesses animais, o gene *SXD* determine o aparecimento e o desenvolvimento do aparelho reprodutor feminino. Nessas condições, segundo o gráfico,

- a temperatura de 20°C reprime a expressão gênica do *SXD*.
- a temperatura de 30°C estimula a transcrição gênica do *SXD*.
- o intervalo entre 20 e 25°C é ideal para a expressão gênica do *SXD*.
- o intervalo entre 24 e 26°C é ideal para estimular a transcrição gênica do *SXD*.
- o intervalo entre 26 e 30°C é ideal para inibir a recombinação gênica do *SXD*.

7. (UFF-RJ) O heredograma abaixo representa a incidência de uma característica fenotípica em uma família. Pela análise dessas relações genealógicas, pode-se concluir que a característica fenotípica observada é transmitida por um tipo de herança



- dominante e ligada ao cromossomo X.
- recessiva e ligada ao cromossomo X.
- ligada ao cromossomo Y.
- autossômica recessiva.
- autossômica dominante.

8. (Unisinos-RS) Em 1953, James Watson e Francis Crick descreveram a estrutura do DNA (ácido desoxirribonucleico). O DNA armazena as informações genéticas que coordenam o desenvolvimento e o funcionamento dos seres vivos em unidades chamadas genes. Sua estrutura é formada por um longo polímero de unidades simples de nucleotídeos (monômeros), e sua cadeia principal, por moléculas de açúcares e fosfato intercaladas, unidas por ligações fosfodiéster. Ligada a

cada molécula de açúcar está uma das quatro bases nitrogenadas, cuja sequência, ao longo da molécula de DNA, constitui a informação genética. A leitura dessas sequências é realizada pelo RNA mensageiro (ácido ribonucleico), que copia parte da cadeia de DNA por um processo chamado transcrição, e, posteriormente, a informação contida neste é "traduzida" em proteínas pela tradução. Embora a maior parte do RNA produzido seja utilizada na síntese de proteínas, pode também ter função estrutural (RNA ribossômico), que faz parte da constituição dos ribossomos. Das bases nitrogenadas listadas abaixo, qual ocorre exclusivamente na estrutura do DNA?

- Adenina
- Uracila
- Timina
- Guanina
- Citosina

9. (UFPA) Os estudos de Biologia Molecular têm auxiliado na busca do conhecimento sobre origem, evolução e jornada do homem na Terra. Nesses estudos, utiliza-se, principalmente, o DNA mitocondrial. Os bons resultados alcançados para os estudos entre espécies próximas, utilizando o DNA mitocondrial, ocorrem porque essa molécula

- é herdada matematicamente.
- acumula mutações de forma lenta.
- sufre recombinações com alta frequência.
- apresenta fita única e replica-se facilmente.
- possui polimerase capaz de iniciar sozinho a síntese de sua cadeia.

10. (Enem) Os vegetais biossintetizam determinadas substâncias (por exemplo, alcaloides e flavonoides), cuja estrutura química e concentração variam num mesmo organismo em diferentes épocas do ano e estágios de desenvolvimento.

Muitas dessas substâncias são produzidas para a adaptação do organismo às variações ambientais (radiação UV, temperatura, parasitas, herbívoros, estímulo a polinizadores etc.) ou fisiológicas (crescimento, envelhecimento etc.).

As variações qualitativa e quantitativa na produção dessas substâncias durante um ano são possíveis porque o material genético do indivíduo

- sufre constantes recombinações para adaptar-se.
- muda ao longo do ano e em diferentes fases da vida.
- cria novos genes para biossíntese de substâncias específicas.
- altera a sequência de bases nitrogenadas para criar novas substâncias.
- possui genes transcritos diferentemente de acordo com cada necessidade.

11. (UFPA) O aumento da população mundial tem provocado a busca por uma maior produção de alimentos

tos. Dentre as estratégias utilizadas para aumentar a oferta de alimentos, o melhoramento animal, através de cruzamento direcionado, possibilita um ganho de produtividade nas gerações seguintes. Um pequeno pecuarista, de posse desses conhecimentos, para melhorar seu rebanho com relação à produtividade de leite e ao aumento de porte físico dos animais, selecionou uma vaca de seu rebanho, que tinha porte médio e produzia 15 litros de leite por dia, e cruzou com um touro de genótipo aaBb. Sabe-se que:

- cada alelo B contribui com 10 litros de leite por dia e cada alelo b com 5 litros;
- o genótipo aa define grande porte; Aa médio porte e AA, pequeno porte.

De acordo com essas informações, julgue os itens a seguir relativos aos possíveis resultados desses cruzamentos*:

- (///) A probabilidade de nascerem indivíduos com porte maior e mais produtivos que a mãe é admissível.
- (///) A probabilidade de ocorrer diminuição na produção de leite da prole resultante do cruzamento é de pelo menos 50%.
- (///) A probabilidade de nascerem indivíduos de pequeno porte é de 50%.
- (///) A probabilidade de nascer um indivíduo de fenótipo igual ao da mãe é de 25%.
- (///) A probabilidade de nascerem indivíduos com fenótipo inferior ao da mãe é de 25%.

12. (Fatec-SP) Desde a Antiguidade, os empreendedores já fabricavam vinho, cerveja, pão, queijo e outros produtos por meio da fermentação. De lá para cá, muitas técnicas foram desenvolvidas e aplicadas aos processos biológicos de produção de substâncias para os mais variados fins. É a biotecnologia. A partir da década de 1970, a biotecnologia concentrou suas atenções nas pesquisas com o DNA (material genético), e com isso foi possível criar os organismos geneticamente modificados, conhecidos como transgênicos. Depois do sucesso obtido na transferência de genes de uma espécie para outra, foi possível evoluir e aplicar técnicas para a criação de medicamentos, hormônios, plantas modificadas e outros produtos. Analise as afirmações a seguir e assinale a correta.
- a) Os organismos transgênicos recebem e expressam genes de outras espécies.
 - b) Os organismos geneticamente modificados são obtidos a partir da fermentação.
 - c) A fabricação de pão e de queijo ocorre principalmente pela utilização de organismos transgênicos.
 - d) Os organismos transgênicos não transferem as novas características adquiridas para as próximas gerações.
 - e) A técnica de produção dos transgênicos é realizada apenas entre as espécies que pertencem ao mesmo reino.

* Indique as alternativas verdadeiras (V) e as falsas (F).

13. (Enem) O milho transgênico é produzido a partir da manipulação do milho original, com a transferência, para este, de um gene de interesse retirado de outro organismo de espécie diferente.

A característica de interesse será manifestada em decorrência

- a) do incremento do DNA a partir da duplicação do gene transferido.
- b) da transcrição do RNA transportador a partir do gene transferido.
- c) da expressão de proteínas sintetizadas a partir do DNA não hibridizado.
- d) da síntese de carboidratos a partir da ativação do DNA do milho original.
- e) da tradução do RNA mensageiro sintetizado a partir do DNA recombinante.

14. (UCS-RS) Em 2003, foi publicado o decreto de rotulagem (4680/2003), que obrigou empresas da área da alimentação, agricultores e quem mais trabalha com venda de alimentos a identificarem, com um "T" preto sobre um triângulo amarelo, o alimento com mais de 1% de matéria-prima transgênica.

Sobre transgênicos, analise as proposições abaixo.

- (///) A introdução de transgênicos na natureza expõe nossa biodiversidade a sérios riscos, como a perda ou a alteração do patrimônio genético.
- (///) Com a engenharia genética, fabricantes de agroquímicos criam sementes resistentes a seus próprios agroquímicos, ou mesmo sementes que produzem plantas com propriedades inseticidas.
- (///) Não existe consenso na comunidade científica sobre a segurança dos transgênicos para a saúde humana e para o meio ambiente.
- (///) Os transgênicos, ou organismos geneticamente modificados, são produtos de cruzamentos que aconteceriam na natureza, como, por exemplo, arroz cruzado com um nematodo.

Assinale a alternativa que preenche corretamente os parênteses, de cima para baixo.

- a) V - F - V - F
- b) F - V - V - F
- c) V - F - F - V
- d) V - V - V - F
- e) F - V - F - V

Questões dissertativas

15. (Unesp)

Nova esperança contra a anemia falciforme

A anemia falciforme é uma doença genética na qual a hemoglobina A, que é produzida pelo organismo após o nascimento, tem sua estrutura alterada, comprometendo sua função no transporte de oxigênio.

A cura só é possível por meio do transplante de medula óssea, um procedimento pouco realizado devido à dificuldade de encontrar doadores compatíveis.

A esperança vem da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Unesp de Araraquara, onde um grupo de pesquisadores está desenvolvendo um novo medicamento que aumenta a taxa de hemoglobina fetal na corrente sanguínea. A hemoglobina fetal não tem sua estrutura alterada, e poderia suprir as necessidades do paciente no transporte de oxigênio, contudo só é produzida em abundância pelo organismo na idade fetal. O novo medicamento induz sua produção pelo organismo, sem os efeitos colaterais de outros medicamentos já existentes.

Journal da Unesp, abr. 2010. Adaptado.

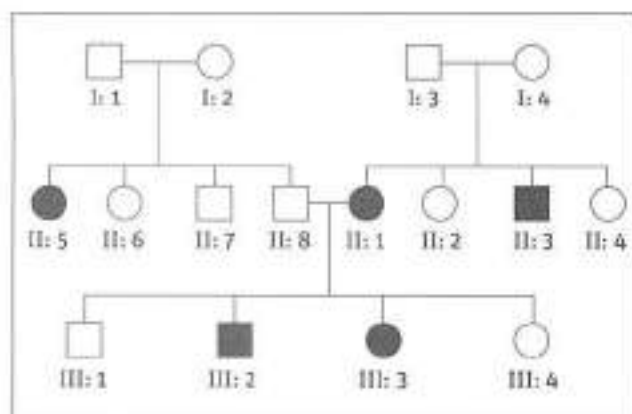
A reportagem foi lida em sala de aula, e dois alunos, Marcos e Paulo, deram suas interpretações.

Segundo Marcos, o novo medicamento, além de promover a cura do paciente, permitirá que as pessoas portadoras de anemia falciforme tenham filhos normais, ou seja, a doença, até então transmitida hereditariamente, deixará de sê-lo.

Paulo discordou de Marcos e afirmou que a única possibilidade de cura continua sendo o transplante de medula óssea, situação na qual o indivíduo que recebeu o transplante, além de se apresentar curado, não corre o risco de ter filhos portadores da anemia.

Qual interpretação está errada, a de Marcos, a de Paulo, ambas, ou ambas as interpretações estão corretas? Justifique sua resposta.

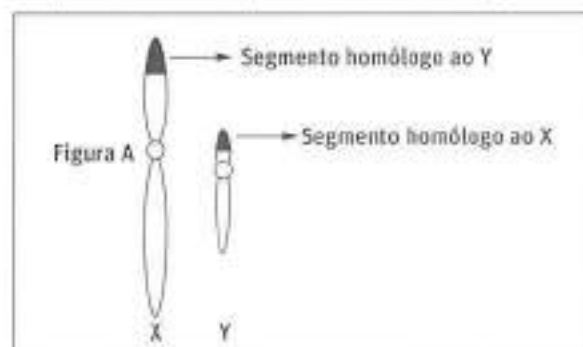
16. (UFPR) No heredograma abaixo, os indivíduos afetados por uma anomalia genética apresentam-se pintados de preto.



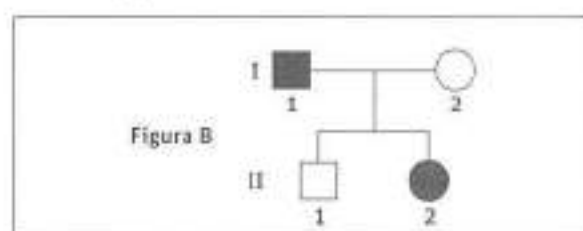
- Proponha uma hipótese para explicar geneticamente essa anomalia, abordando o número de genes envolvidos e o tipo de interação alélica e de herança cromossômica (sexual ou autossômica).
- Indique os genótipos dos indivíduos afetados e de seus pais.

Indivíduo afetado	Genótipo	Pais	Genótipo
II:1	////	I:1	////
II:3	////	I:2	////
II:5	////	I:3	////
III:2	////	I:4	////
III:3	////	II:8	////

17. (Fuvest-SP) A figura A abaixo mostra o par de cromossomos sexuais humanos X e Y. Esses cromossomos emparelham-se na meiose, apenas pelos segmentos homólogos que possuem nas extremidades de seus braços curtos. Ocorre permuta entre esses segmentos.



No heredograma (figura B), os indivíduos I-1 e II-2 são afetados por uma doença que tem herança dominante ligada ao X.



- Desenhe os cromossomos sexuais de I-1 e II-2, representando-os como aparecem na figura A.
- Indique os genótipos de I-1 e II-2, localizando, nos cromossomos desenhados, o alelo (d) normal e o alelo (D) determinante da doença.

18. (Unesp)

Os indivíduos não são coisas estáveis. Eles são efêmeros. Os cromossomos também caem no esquecimento, como as mãos num jogo de cartas pouco depois de serem distribuídas. Mas as cartas, em si, sobrevivem ao embaralhamento. As cartas são os genes. Eles apenas trocam de parceiros e seguem em frente. É claro que eles seguem em frente. É essa a sua vocação. Eles são os replicadores e nós, suas máquinas de sobrevivência. Quando tivermos cumprido a nossa missão, seremos descartados. Os genes, porém, são cidadãos do tempo geológico: os genes são para sempre.

Dawkins, Richard. O gene egoísta, 2006.

Considerando a reprodução sexuada, explique o que o autor do texto quis dizer ao comparar cada cromossomo, e o conjunto cromossômico de uma pessoa, às mãos de cartas que se desfazem assim que são distribuídas. Considerando o mecanismo de duplicação do DNA, explique a afirmação de que os genes são para sempre.

19. (Fuvest-SP) Há doenças hereditárias que são causadas por mutações no DNA mitocondrial.

- O risco de ocorrerem meninas e meninos afetados por essas doenças é igual na prole de mulheres afetadas e na prole de homens afetados? Justifique sua resposta.
- Uma mutação no DNA mitocondrial pode estar presente nos espermatozoides dos afetados? Justifique sua resposta.

20. (Fuvest-SP) Foram realizados cruzamentos entre uma linhagem pura de plantas de ervilha com flores púrpura e grãos de pólen longos e outra linhagem pura, com flores vermelhas e grãos de pólen redondos. Todas as plantas produzidas tinham flores púrpura e grãos de pólen longos. Cruzando-se essas plantas heterozigóticas com plantas da linhagem pura de flores vermelhas e grãos de pólen redondos, foram obtidas 160 plantas: 62 com flores púrpura e grãos de pólen longos, 66 com flores vermelhas

e grãos de pólen redondos, 17 com flores púrpura e grãos de pólen redondos, 15 com flores vermelhas e grãos de pólen longos.

Essas frequências fenotípicas obtidas não estão de acordo com o esperado, considerando-se a Segunda Lei de Mendel (Lei da Segregação Independente).

- De acordo com a Segunda Lei de Mendel, quais são as frequências esperadas para os fenótipos?
- Explique a razão das diferenças entre as frequências esperadas e as observadas.

21. (Fuvest-SP) Em cobaias, a cor preta é condicionada pelo alelo dominante D e a cor marrom, pelo alelo recessivo d. Em um outro cromossomo, localiza-se o gene responsável pelo padrão da coloração: o alelo dominante M determina padrão uniforme (uma única cor) e o alelo recessivo m, o padrão malhado (preto/branco ou marrom/branco). O cruzamento de um macho de cor preta uniforme com uma fêmea de cor marrom uniforme produz uma ninhada de 8 filhotes: 3 de cor preta uniforme, 3 de cor marrom uniforme, 1 preto e branco e 1 marrom e branco.

- Quais os genótipos dos pais?
- Se o filho preto e branco for cruzado com uma fêmea cujo genótipo é igual ao da mãe dele, qual a proporção esperada de descendentes iguais a ele?

Para explorar

Livro

* SMITH, Jeffrey M. *Roleta genética*. São Paulo: João de Barro, 2009.

O livro aborda a questão dos transgênicos, sob o ponto de vista científico, revelando os resultados mais recentes das pesquisas sobre o assunto. O autor, considerado uma autoridade mundial sobre organismos geneticamente modificados, questiona também o papel das autoridades governamentais no controle e na fiscalização da comercialização desses produtos.

Site

* <<http://www.virtual.epm.br/cursos/genetica/genetica.htm>>

Acesso em: 7 fev. 2013.

Site da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Apresenta seis links com os seguintes títulos: a base cromossômica da hereditariedade, estrutura dos cromossomos humanos, padrões de herança monogênica, mutações, aberrações cromossômicas e hemoglobinopatias. Abrange um extenso conteúdo genético de forma bastante didática, com figuras esquemáticas e texto bastante informativo, especialmente para pesquisas escolares.

Filme

* *Conspiração genética (The Darwin Conspiracy)*. Direção: Winrich Kolbe. Produção: Paramount Pictures. Estados Unidos, 1999. 90 min.

Na Antártida, um terremoto traz à tona o corpo de um homem pré-histórico congelado. Esse espécime revela-se, aos cientistas, geneticamente superior aos humanos atuais. As pesquisas são iniciadas e há esperanças de obter sucesso em experimentos de recuperação celular genética. O filme exemplifica como os interesses individuais podem sobrepor-se aos interesses comuns, quando grandes e revolucionárias descobertas acontecem no meio científico.

Biotecnologia na mídia: exposição e análise de reportagens sobre biotecnologia

■ O que você vai fazer

Você e seus colegas vão montar uma exposição com reportagens sobre temas relacionados à biotecnologia. As reportagens são o ponto de partida para a elaboração de uma exposição sobre o impacto das descobertas da biotecnologia na sociedade.

A genética é uma das ciências que fazem parte de pesquisas biotecnológicas. Muitas dessas pesquisas suscitam questões polêmicas. Por exemplo, é lícito utilizar células de embriões humanos em pesquisas científicas? É perigoso modificar o genoma de outras espécies? Seria ético criar clones de seres humanos se fosse possível?

Decisões como essas afetam a vida de todas as pessoas e por isso devem ser discutidas por diversos setores da sociedade. Além de pesquisar, também cabe aos cientistas informar os riscos e os benefícios de cada nova técnica desenvolvida. É importante que as pesquisas sobre biotecnologia sejam noticiadas nos meios de comunicação. Mas não basta apenas divulgar, também é preciso que as implicações dessas técnicas sejam compreendidas e debatidas pelo maior número possível de pessoas. Esse é o objetivo deste projeto.

■ Preparação

A classe deve ser dividida em equipes de quatro ou cinco integrantes. Cada equipe vai pesquisar reportagens que abordem algum aspecto da biotecnologia ou alguma pesquisa em genética. O plantio e o consumo de alimentos transgênicos e a pesquisa com células-tronco embrionárias, por exemplo, são alguns assuntos frequentes nos meios de comunicação. Você pode selecionar outros relacionados ao que aprendeu nesta unidade.

Cada grupo deve escolher uma reportagem diferente, e os grupos devem conversar entre si para garantir que assuntos variados sejam abordados.

Busque textos publicados em jornais, revistas ou sites. Ao escolher as reportagens, procure selecionar aquelas que atendam aos critérios seguintes:

- O tema envolve processos biotecnológicos que são desconhecidos do público em geral?
- O tema envolve questões éticas ou legais?
- O tema é polêmico? Existem argumentos favoráveis e desfavoráveis em torno dele?

■ Desenvolvimento

Depois de escolher a reportagem, o grupo deve ler o texto cuidadosamente, buscando trechos que tragam informações sobre genética ou que tratem de questões éticas e polêmicas. Esses trechos podem ser destacados com um marca-texto; se preferir, tire fotocópias ampliadas da reportagem para facilitar esse trabalho.

Análise da reportagem

Em seguida, o grupo deve analisar cada trecho da reportagem e julgar se as informações apresentadas são suficientes para que o leitor compreenda os aspectos biológicos do texto. Muitas vezes, por limitação de espaço, as reportagens trazem informações muito curtas ou resumidas.

Lembre-se de que as notícias de jornais, revistas e sites são escritas para o público geral, que muitas vezes não conhece conceitos como células-tronco ou DNA.

Elaboração de comentários

O grupo vai redigir explicações ou comentários para tornar certos trechos da reportagem mais claros e compreensíveis para o público.

A intenção é expor os conhecimentos científicos de maneira acessível. Para isso, a linguagem deve ser clara e objetiva. Cuidado para não distorcer as informações nem as tornar excessivamente complexas ou simplificadas demais.

Como em geral esse tipo de artigo gera alguma polêmica sobre ética, o grupo também deve mostrar os pontos positivos e negativos do assunto tratado, a fim de ajudar o leitor a posicionar-se sobre a questão.

■ Apresentação

O grupo deve confeccionar um mural, que será exposto na escola. Colem a reportagem (ou uma fotocópia ampliada dela) em uma cartolina ou papel *kraft*. Ao lado da reportagem, colem as explicações ou os comentários que o grupo escreveu. Com uma caneta, liguem cada explicação ao trecho ao qual ela se refere, como mostrado na figura abaixo.

Os murais confeccionados pela classe devem ser expostos dentro da escola para alunos, funcionários e pais.

Se for possível, o professor pode marcar um dia para que os alunos apresentem seu trabalho. Nesse dia, cada grupo deve ficar ao lado do mural para responder às dúvidas do público. Procure anotar as perguntas feitas em um caderno para discuti-las depois.

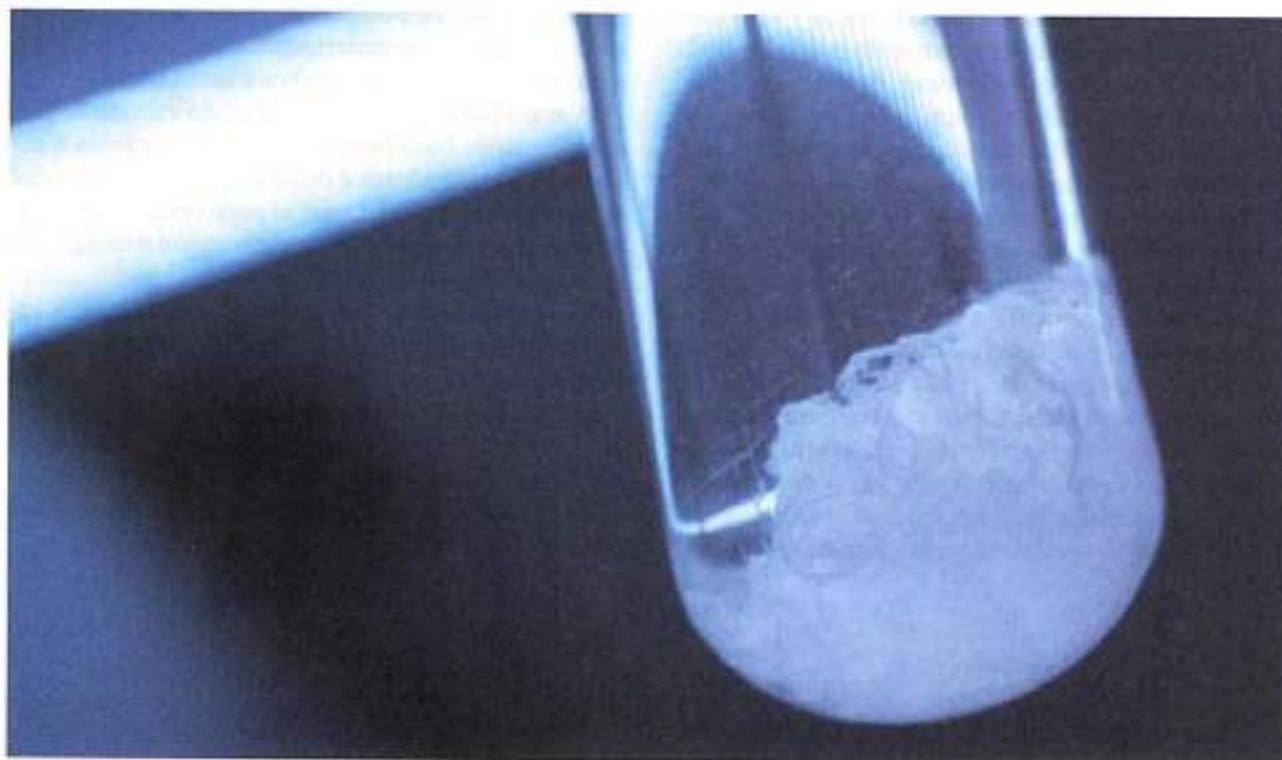


■ Avaliação do projeto

Após a exposição, a classe vai discutir as principais dúvidas levantadas pelo público. Observe se, de modo geral, diferentes grupos receberam as mesmas perguntas ou se elas variaram; avalie se os grupos conseguiram responder à maioria das dúvidas e pense também se existiam dúvidas dos próprios alunos que tenham sido respondidas no decorrer do projeto.

ANEXO 4

Biotecnologia



▲ **Figura 9.1.** A molécula da vida, o DNA, é longa. Em uma célula eucariótica há várias delas, emaranhadas no interior do núcleo interfásico, fazendo parte dos cromossomos. Essa fotografia mostra um tubo de ensaio com inúmeras moléculas de DNA isoladas do núcleo de várias células de plantas. Conhecer como essa molécula participa da coordenação das funções celulares e como ela pode ser manipulada é uma das principais áreas de atuação da Biotecnologia. Como em tudo na Biologia, há muito ainda por descobrir e fazer.



Pense nisso

- Você provavelmente ouviu falar em teste de paternidade pela análise do DNA. Sabe explicar como esse teste é feito?
- Muito se discute hoje sobre plantas e animais transgênicos. Qual seu conceito sobre o que é um organismo transgênico?
- Amebas mantidas em condições ideais dividem-se por mitose a cada 20 minutos, dando origem a duas amebas-filhas. Um meio de cultura se iniciou com uma só ameba e depois de 24 horas havia várias delas. Essas amebas são clones da ameba inicial? Explique sua resposta.
- Um jovem fez exames de DNA e verificou que é portador do alelo para uma doença de manifestação tardia (após os 40 anos de idade). Se fosse você, faria esse exame? Se fizesse, gostaria de saber o resultado? Explique sua resposta.

1. Introdução



A **Biotecnologia** corresponde a técnicas que têm permitido ao ser humano utilizar organismos para obter produtos de interesse.

Durante milênios os agricultores vêm cruzando diferentes espécies e variedades vegetais para obter plantas com determinadas características. Há cerca de 3 mil anos, por exemplo, lavradores chineses cultivaram uma leguminosa silvestre que produzia um feijão preto ou marrom: a soja. Atualmente há cerca de 7 mil variedades de soja, o que ilustra a grande diversidade obtida por meio de técnicas convencionais de cultivo.

A engenharia genética possibilita a manipulação de moléculas de DNA. Por meio dessas técnicas é possível gerar organismos transgênicos, mapear os genes nos cromossomos e saber exatamente em qual cromossomo e em que lugar dele um gene se localiza. É possível também realizar o chamado sequenciamento gênico, ou seja, determinar qual é a sequência de bases nitrogenadas de um gene. Essas informações têm permitido aprimoramentos nos serviços de aconselhamento genético, pois possibilitam informar a um indivíduo normal se ele é ou não portador de um alelo do gene que causa alguma doença (deletério) e que pode ser transmitido a seus descendentes. Além disso, esses conhecimentos ajudam a aprimorar as informações que podem

ser obtidas em diagnóstico pré-natal sobre doenças genéticas em fetos.

As técnicas de engenharia genética permitem, ainda, fazer a identificação de pessoas com base na análise do DNA, com um nível de certeza igual ao das impressões digitais. Por isso fala-se em "**impressões digitais genéticas**" ou *DNA fingerprint* (palavra inglesa que significa impressão digital). Esses recursos têm sido empregados em testes de paternidade, para resolver casos de troca de crianças em maternidades, além de problemas criminais como estupros, roubos e assassinatos.

A engenharia genética está abrindo caminhos para a produção de hormônios de forma mais rápida e eficiente. A **terapia gênica** é outra área em expansão que envolve essas técnicas. Como se pode notar, o campo de atuação dessa nova área do conhecimento é muito grande e tende a aumentar.

Já abordamos ao longo dos capítulos anteriores vários temas envolvendo a biotecnologia, além de alguns aspectos éticos que merecem ser debatidos. Essa tecnologia tem um lado bom, que pode ser usado para a melhoria da vida em nosso planeta, mas tem também um lado ruim, quando não utilizada dentro de padrões éticos e morais. Neste capítulo vamos conhecer um pouco mais os diferentes aspectos da Biotecnologia.

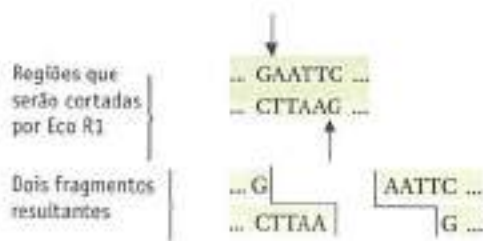
2. DNA recombinante

A técnica central na tecnologia do DNA recombinante é o isolamento de moléculas de DNA e sua inserção no DNA de outro organismo.

Para isso é preciso isolar o trecho de DNA a ser inserido. Esse processo envolve a fragmentação do DNA dos cromossomos na interfase, o que é feito pela ação de enzimas especiais denominadas **enzimas de restrição**. A descoberta dessas enzimas permitiu grandes avanços na manipulação do DNA. Nas bactérias, essas enzimas fazem parte dos mecanismos de defesa desses procariontes contra os vírus, pois atuam como verdadeiras "tesouras moleculares", cortando o DNA viral em vários pedaços e tornando-o inativo.

Hoje há inúmeras dessas enzimas de restrição identificadas, as quais são isoladas das bactérias e purificadas. Essas enzimas são comercializadas por grandes empresas da área de Biologia molecular e vendidas a especialistas que trabalham nessa área.

Cada enzima de restrição corta o DNA somente quando encontra uma sequência específica de bases nitrogenadas. Dessa forma, esse corte não é feito em qualquer lugar. Os cientistas já sabem onde atua cada uma das enzimas de restrição conhecidas. Por exemplo, existe uma enzima chamada **Eco RI**, que corta o DNA toda vez que encontra as seguintes sequências emparelhadas (fig. 9.2):



▲ **Figura 9.2.** Representação do local de corte da enzima Eco RI.

Ao encontrar essa sequência, a **Eco RI** sempre corta o DNA entre as bases G e A.

Além dessas enzimas com capacidade de cortar o DNA em locais específicos, os cientistas têm conseguido inserir segmentos isolados em outra molécula de DNA, com o uso de enzimas chamadas **DNA ligases**.

Aproveitando-se dessas propriedades, os cientistas têm usado as enzimas de restrição para cortar moléculas de DNA de vários organismos, inclusive das próprias bactérias. Assim, tem-se conseguido trabalhar com trechos menores da molécula de DNA e isolar genes.

Esses genes ou trechos de DNA isolados são unidos a moléculas de DNA de outro organismo.

A molécula de DNA associada ao novo trecho inserido é denominada **DNA recombinante**.

3. Clonagem de DNA

Clonagem de DNA significa produzir inúmeras cópias idênticas de um mesmo fragmento da molécula de DNA.

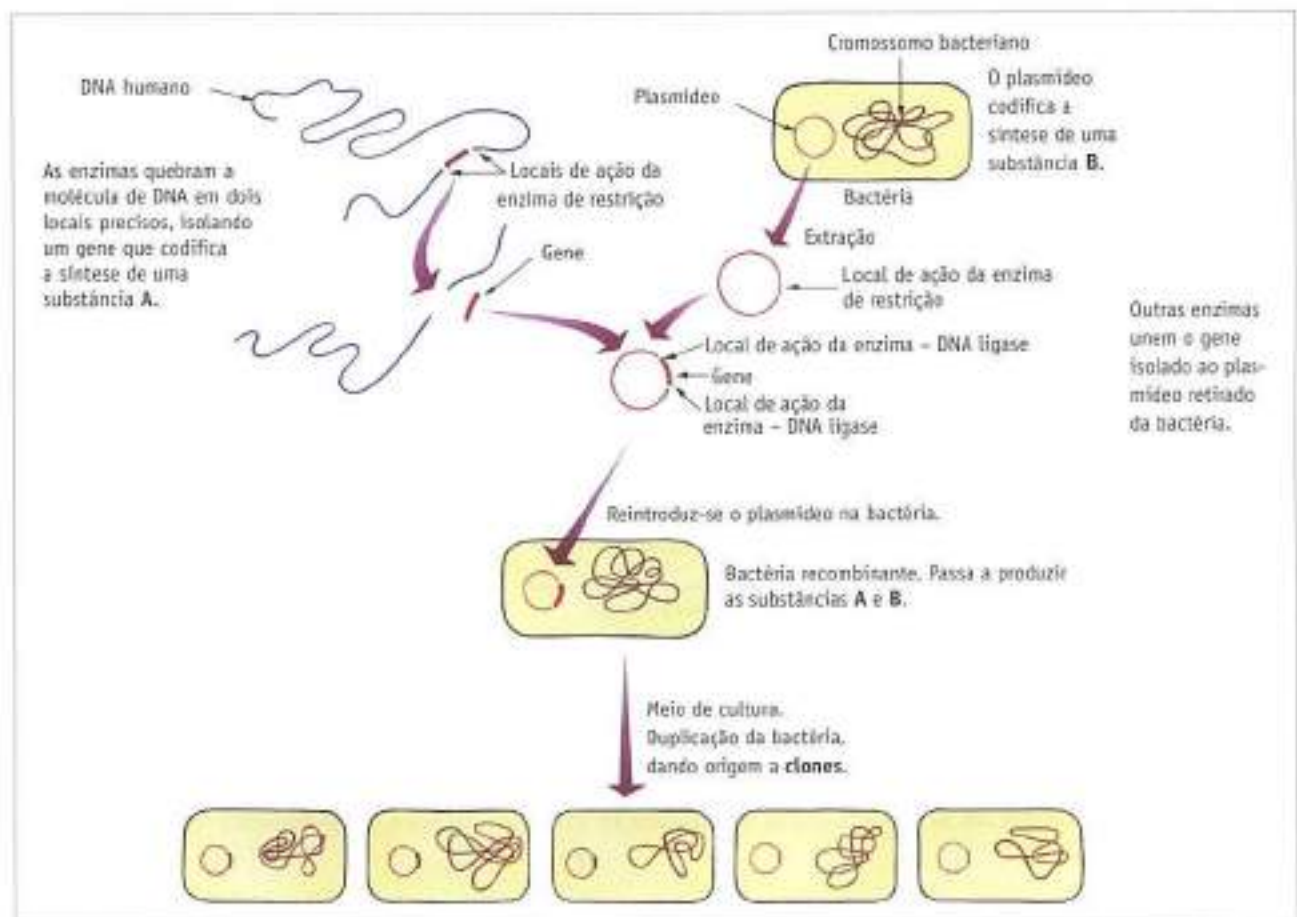
Esse processo tem início com o isolamento, pela ação das enzimas de restrição, de fragmentos do DNA a serem clonados.

Depois de isolados, esses trechos são introduzidos no DNA de outros organismos, principalmente vírus e bactérias, que aceitam essa manipulação. Esses organismos são chamados **vetores**. Ao se reproduzir, esses microrganismos multiplicam as moléculas recombinantes, dando origem a um grande número de cópias idênticas. Consegue-se desse modo produzir grande número de cópias exatas (clones) de um mesmo trecho do DNA.

Vamos ver como isso pode ser feito com as bactérias e depois com os vírus.

Algumas bactérias possuem, além de seu cromossomo circular, moléculas menores e também circulares de DNA — os **plasmídeos**. Estes são utilizados como vetores, pois não contêm genes essenciais à vida das bactérias. Os plasmídeos podem ser manipulados, e as bactérias continuam vivendo e se reproduzindo normalmente. Nos plasmídeos estão, em geral, genes que conferem às bactérias resistência a antibióticos.

Acompanhe pela figura 9.3 como se pode formar uma molécula de DNA recombinante e clonar essa molécula em uma bactéria.



▲ **Figura 9.3.** Esquema simplificado da formação de DNA recombinante e sua clonagem em bactérias. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

A clonagem de DNA também pode ser feita com os vírus, pois, assim como as bactérias, eles permitem que seu material genético seja manipulado e alterado sem que isso afete seu poder de reprodução.

Hoje se sabe que no material genético dos vírus existem genes essenciais à reprodução e genes que não se relacionam com essa capacidade. Os genes essenciais à reprodução geralmente se localizam nas pontas

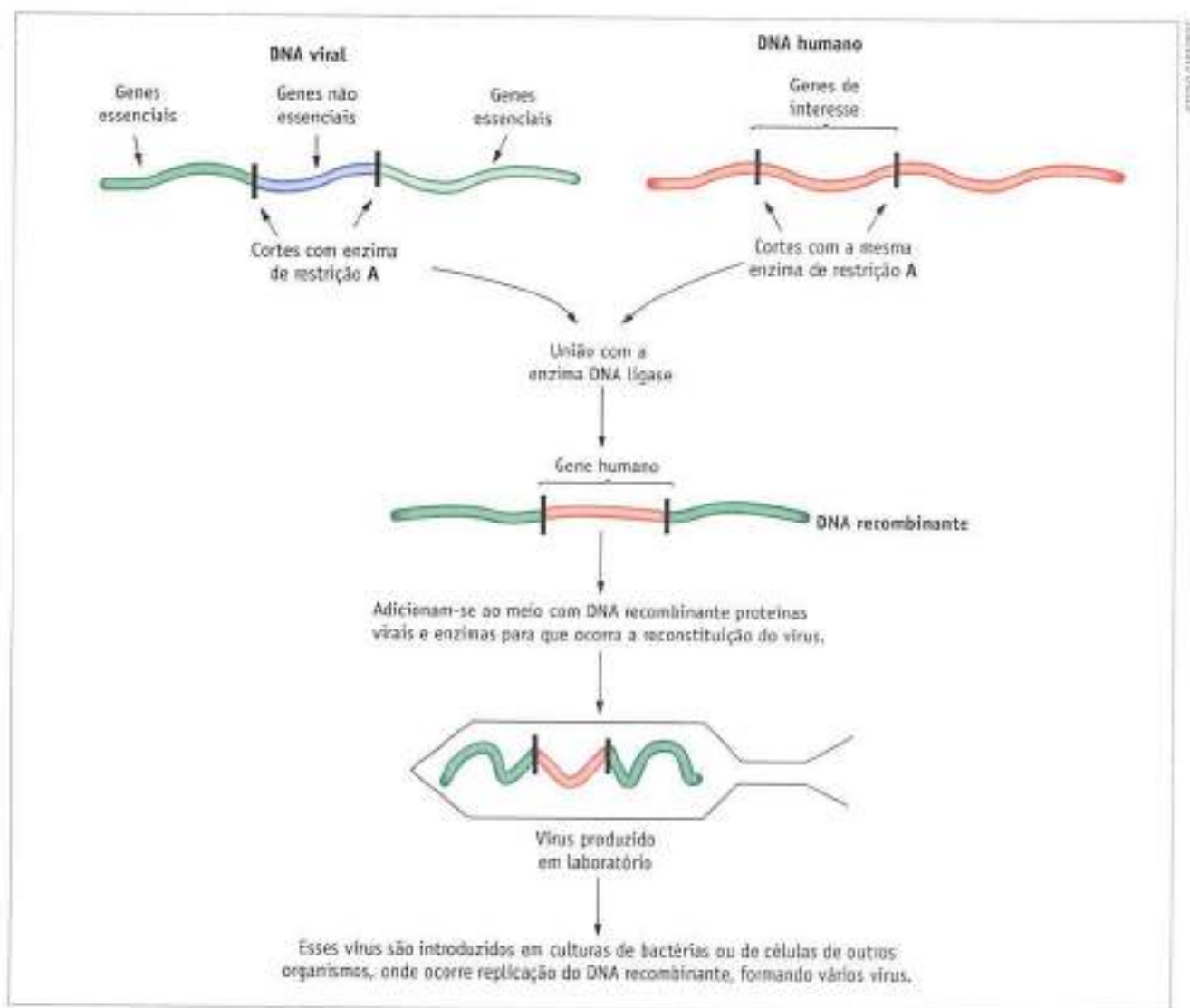
do DNA viral, enquanto os não essenciais localizam-se no meio desse DNA.

Os cientistas conseguem isolar o DNA viral e, utilizando enzimas de restrição específicas, cortam-no, separando os genes essenciais para a reprodução dos genes não essenciais. No lugar destes, introduzem o gene de outro organismo que pretendem clonar. Assim forma-se uma molécula de DNA recombinante. Essa

molécula é colocada em um meio contendo as proteínas da cápsula do vírus e enzimas especiais que promovem a reconstituição do vírus.

Dessa forma originam-se vírus *in vitro*, ou seja, em laboratório. Esses vírus assim produzidos são colocados em contato com células hospedeiras, que podem ser de bactérias ou de qualquer outro organismo. Desse modo os cientistas introduzem nas células o DNA recombinante, que passa a comandar a produção de grande número de novos vírus, todos geneticamente idênticos entre si.

Acompanhe o que foi descrito pela figura 9.4.



▲ Figura 9.4. Esquema simplificado de formação de DNA recombinante em vírus e sua clonagem. (Cores-fantasia.)

3.1. Algumas utilizações práticas da clonagem gênica

Produzidas por clonagem gênica, as milhares de cópias exatas de um mesmo fragmento da molécula de DNA de um organismo ficam disponíveis para identificação das sequências de bases e para outros trabalhos de Biologia molecular.

Clonando-se dessa forma vários trechos das moléculas de DNA de uma espécie, é possível formar uma **biblioteca de DNA**.

A produção de certos hormônios da espécie huma-

na já tem sido realizada por meio de técnicas de clonagem como as descritas. É o caso da insulina (fig. 9.5) e da somatotropina (hormônio de crescimento).

A insulina é fundamental no metabolismo do açúcar, e sua síntese é determinada geneticamente. Hoje já é possível produzir insulina clonando o gene humano em bactérias e estimulando-o para que entre em atividade. Produzem-se, assim, quantidades consideráveis de insulina, posteriormente isolada e purificada para a utilização humana.

Uma vez quebrado o DNA, isolam-se fragmentos de diferentes tamanhos, que são separados por uma técnica chamada **eletroforese** (do grego: *phóresis* = ação de levar) em gel (fig. 9.6).

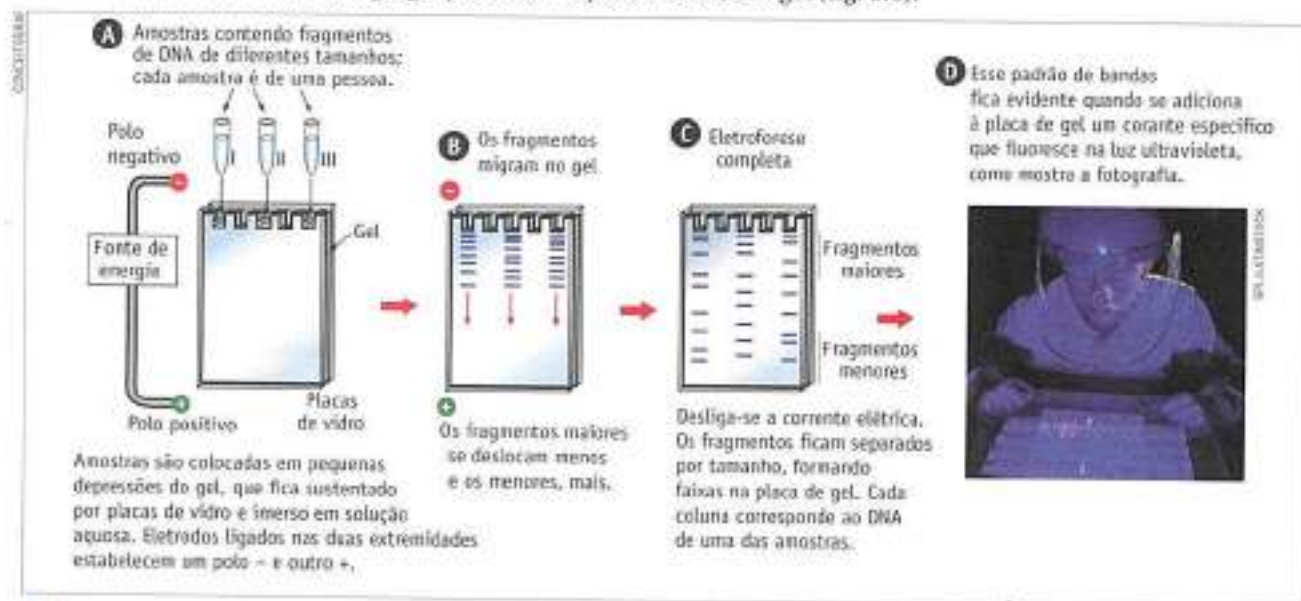


Figura 9.6. Esquema resumido das etapas de separação de fragmentos de DNA por meio da eletroforese em gel.

Esses fragmentos são colocados em uma placa de gel, que é submetida a um campo elétrico com um lado positivo e outro negativo. Ocorre migração dos fragmentos de modo que os maiores migram pouco e os menores migram mais. Os fragmentos são separados de acordo com o tamanho e, depois de desligada a corrente elétrica, eles deixam de se movimentar, formando faixas na placa de gel. Essas faixas podem ser visualizadas com luz ultravioleta quando se adiciona à placa de gel um corante específico. O resultado é uma imagem fotográfica semelhante a um código de barras.

Os fragmentos separados por eletroforese em gel são formados por DNA com cadeia dupla.

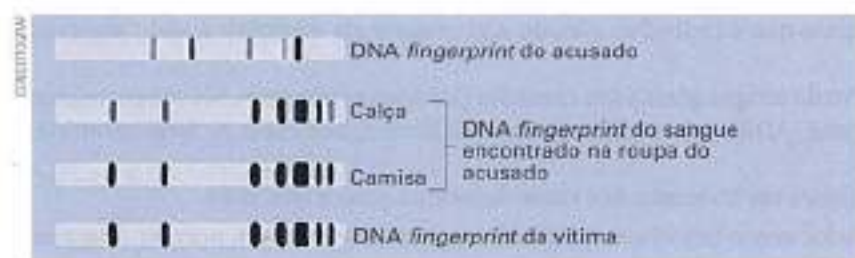
Quando se pretende marcar determinados fragmentos, como no caso em que se pretende marcar as

VNTRs, esses fragmentos têm suas cadeias separadas na placa de gel exatamente no lugar onde se encontram - desnaturação *in situ* (fig. 9.7). Coloca-se sobre eles uma membrana especial de nitrocelulose, na qual os fragmentos ficam aderidos exatamente na mesma posição em que estavam na placa de gel. Assim, essa membrana terá uma réplica das bandas obtidas por eletroforese. Nela serão adicionadas sondas (trechos de DNA já conhecidos) marcadas com radiatividade e que são específicas para as VNTRs. Essas sondas se unem ao DNA desnaturado (**hibridação**), marcando-o. Um filme de raios X é colocado sobre a membrana, e a radiatividade impressiona esse filme de forma que nele se obtêm as bandas indicando os locais onde ocorreram as hibridações.



Figura 9.7. Esquema resumindo as etapas da fragmentação do DNA por desnaturação *in situ*. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

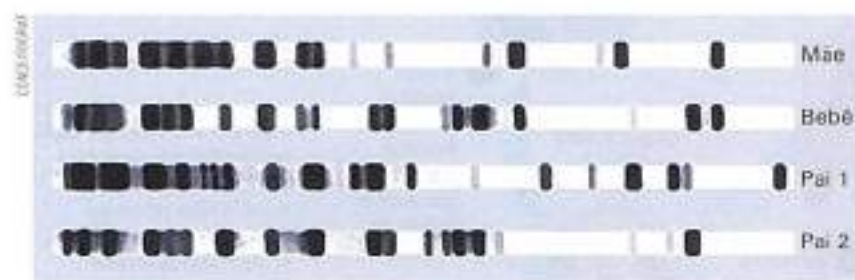
Essa técnica é empregada não só para localizar as VNTRs como também genes e outros trechos da molécula de DNA. O que muda são as enzimas de restrição e as sondas de DNA empregadas. Observe as figuras 9.8, 9.9 e 9.10, que mostram as aplicações práticas do DNA *fingerprint* na identificação de pessoas.



◀ **Figura 9.8.** Compare o código de barras de uma vítima com o obtido do sangue encontrado nas roupas de um suspeito pelo assassinato. Veja que o código de barras coincide, indicando que o sangue presente na roupa do suspeito pelo crime é o da vítima. O código de barras do suspeito é muito diferente do obtido nas amostras do sangue encontrado em sua roupa. Isso prova que o suspeito, no mínimo, entrou em contato com a pessoa assassinada no momento de sua morte.



◀ **Figura 9.9.** Em um caso de estupro foi feito o DNA *fingerprint* da vítima, do sêmen encontrado na vagina e de três suspeitos. Veja que o código de barras do suspeito número 1 coincide com o obtido na amostra do sêmen, confirmando que ele teve relações sexuais com a vítima e, portanto, pode ser o culpado pelo estupro.



◀ **Figura 9.10.** Teste de paternidade. Compare os códigos de barras da mãe e do bebê com o código de barras dos dois prováveis pais. O bebê deve ter 50% do padrão de barras da mãe e 50% do padrão de barras do pai, que, no caso, é o homem número 2.

4.1. Técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR)

A técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR) – do inglês, *Polymerase Chain Reaction* – foi desenvolvida em 1985 pelo bioquímico Kary Mullis. Essa técnica propiciou um aumento muito grande na eficiência da análise do material genético.

As polimerases são enzimas que ocorrem nas células e catalisam reações de polimerização (formação de moléculas de cadeias longas). É o caso da DNA polimerase, que participa da duplicação da molécula de DNA. Pela PCR promove-se a duplicação de trechos do DNA *in vitro*, usando polimerases do DNA.

Antes da PCR, para se detectar genes ou VNTRs havia necessidade de grande quantidade de DNA-alvo, o que nem sempre era possível. Essa dificuldade foi resolvida com a introdução da técnica de PCR, que possibilitou a obtenção de quantidades muito grandes de

fragmentos específicos do DNA por meio da amplificação em ciclos.

Simplificadamente, o DNA que será amplificado é submetido a temperaturas elevadas (cerca de 94 °C por 1 minuto), o que provoca a separação da dupla-hélice. Depois, com a temperatura mais baixa, são empregadas as polimerases, que atuam em cada uma das cadeias do DNA, completando os pares de bases. Assim, de uma molécula de DNA, formam-se duas. A cada ciclo, a quantidade de DNA-alvo é duplicada, de modo que em 10 ciclos obtém-se 1024 vezes mais DNA-alvo; em 20 ciclos, cerca de 1 milhão de vezes mais DNA-alvo; e assim por diante, mostrando a natureza exponencial dessa amplificação. Com isso, pequenas amostras contendo poucos fragmentos de DNA podem ser estudadas com mais facilidade.

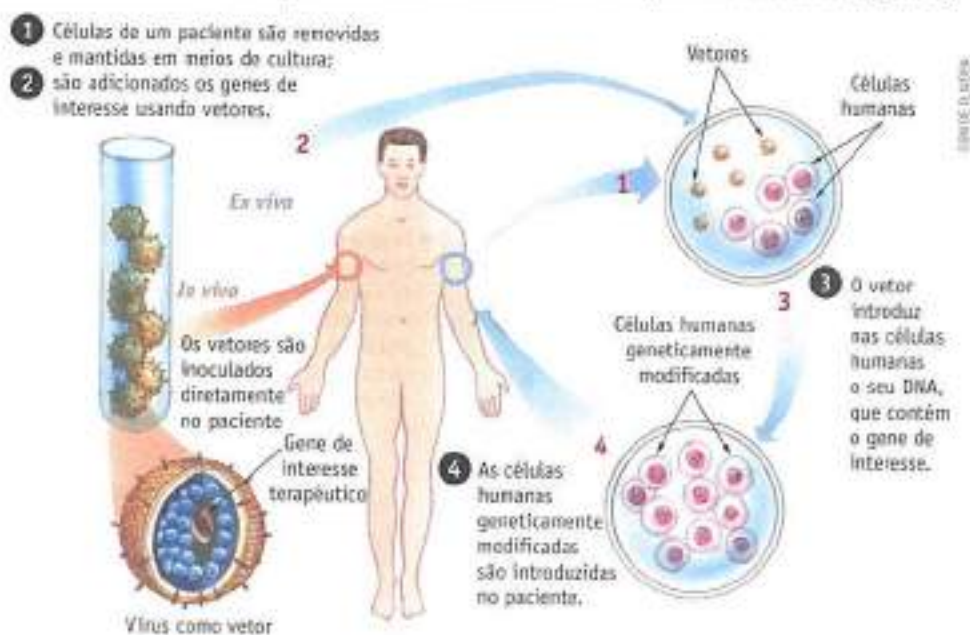
5. Terapia gênica

Essa técnica consiste em substituir o alelo anormal, que causa doença, pelo alelo normal. Os estudos de terapia gênica estão até o momento restritos a células somáticas, mas em um futuro próximo pretende-se atuar sobre as células que formam os gametas, de modo que o indivíduo afetado não possa mais transferir o alelo anormal para seus descendentes.

As principais doenças que têm sido alvo da terapia gênica são causadas por apenas um gene, como ocorre com a fibrose cística, imunodeficiência humana (ADA), talassemia, anemia falciforme, hemofilia A, fenilcetonúria, hipercolesterolemia e distrofia muscular.

As principais maneiras de introduzir genes em humanos nos casos de terapia gênica têm sido:

- **Técnica *ex vivo*:** consiste em usar um vetor, como um vírus modificado, que contenha o alelo normal. A seguir, colhem-se glóbulos brancos (leucócitos) do sangue da pessoa afetada e permite-se que os vírus alterados infectem essas células em meio de cultura. Os vírus introduzem nos leucócitos o alelo normal e, assim modificados, os leucócitos são mantidos em meios propícios a sua intensa multiplicação. Depois são reintroduzidos no paciente, num processo semelhante a uma transfusão de sangue.
- **Técnica *in vivo*:** consiste na clonagem em um vetor do alelo normal e de seu preparo para introdução no paciente por meio de injeção na veia ou intramuscular. Alguns dos alelos acabam por ser incorporados às células do paciente e dentro delas passam a comandar a síntese da proteína normal (fig. 9.11).



◀ **Figura 9.11.** Representação esquemática do processo de introdução de genes modificados no corpo humano pelos processos *in vivo* (representado pela seta laranja) e *ex vivo* (representado pelas setas azuis). (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

Colocando em foco: terapia gênica barra doença degenerativa

Técnica usa vírus derivado do HIV para alterar DNA

Um tratamento desenvolvido na França conseguiu interromper a evolução da doença degenerativa adrenoleucodistrofia (ALD) em duas crianças. O filme *O Óleo de Lorenzo* tornou conhecido o drama dos pais com filhos que sofrem da doença.

A ALD afeta 1 em cada 18 mil pessoas. O defeito genético costuma ser herdado da mãe, mas a doença manifesta-se principalmente nos garotos. Leva a um processo de neurodegeneração que começa com quadros de déficit de atenção e evolui para cegueira, surdez, paraplegia, incapacidade de engolir e se comunicar.

A revista *Science* publica um artigo que descreve a nova proposta de tratamento. O grupo responsável pela técnica sempre se mostrou cético quanto à eficácia do óleo descoberto por Augusto Odone para tratar seu filho Lorenzo.

O professor de pediatria da Universidade Paris-Descartes, Patrick Aubourg, um dos principais autores do estudo, investiu de modo pioneiro em outra abordagem de tratamento: o transplante de medula óssea.

Mas a estratégia sempre esbarrou no problema mais comum em qualquer transplante: a descoberta de doadores compatíveis em tempo hábil, pois a cirurgia só é eficaz quando realizada bem no início da doença.

Além disso, o transplante de medula ainda está associado a riscos relativamente altos relacionados à forma como o tecido enxertado reconhecerá o organismo receptor.

A técnica descrita na *Science* revela um possível caminho para resolver o problema de disponibilidade de medulas e, ao mesmo tempo, diminuir os riscos do transplante.

Os pesquisadores extraíram amostras de medulas de duas crianças, utilizaram vírus geneticamente modificados para corrigir o defeito que causa a doença e enxertaram novamente as células corrigidas na medula dos garotos.

Depois de dois anos de acompanhamento, os resultados foram comparáveis aos obtidos com transplante de medula. Apesar de não se chegar à cura, houve ganho na capacidade cognitiva e o progresso da doença sofreu interrupção (fig. 9.12).

Os vírus usados na pesquisa para realizar a correção genética são versões alteradas e inativas do HIV.

"É a primeira vez que conseguimos usar com sucesso os lentivírus derivados do HIV para terapia gênica em humanos", afirma Aubourg. "É também a primeira vez que conseguimos tratar com eficácia uma doença neurológica grave com o uso de terapia gênica."

(...)

Pesquisadores brasileiros consideram importante sublinhar que será necessário realizar testes com um acompanhamento mais longo para garantir que o método é eficaz e seguro.

ENTENDA A PESQUISA

Estudo abre caminho para nova estratégia de tratamento da adrenoleucodistrofia. A técnica poderá ser aplicada em várias doenças neurodegenerativas

A doença

É causada pela deficiência na produção de uma proteína chamada ALD

A ALD É RESPONSÁVEL PELA DEGRADAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIAS LONGAS (AGCL)

AGCL

O ACÚMULO DE AGCL NO SANGUE LEVA À DESTRUIÇÃO DA BAINHA DE MIELINA DOS NEURÓNIOS

ISSO CAUSA A DEGENERAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO

A doença evolui com cegueira, surdez, paraplegia, incapacidade de engolir e se comunicar

A técnica

1 Os pesquisadores extraíram células-tronco adultas da medula de duas crianças com adrenoleucodistrofia

AS CÉLULAS SÃO RESPONSÁVEIS PELA PRODUÇÃO DO SANGUE

2 Em laboratório, utilizaram um vírus derivado do HIV para introduzir o gene sadio produtor da proteína ALD nas células-tronco

3 Devolveram as células-tronco adultas geneticamente modificadas para a medula das crianças

4 Dois anos depois, cerca de 15% das células do sangue ainda continham a versão saudável do gene e produziam ALD suficiente para barrar o avanço da doença

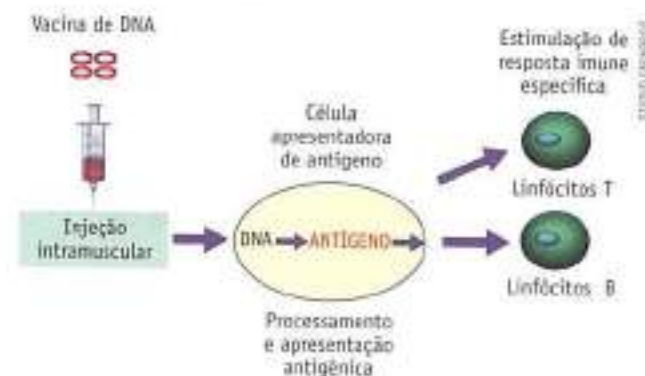
Fonte: Alexandre Gonçalves. In: O Estado de S. Paulo, 6/11/2009.

▲ Figura 9.12. Infográfico sobre terapia gênica para tratamento de adrenoleucodistrofia.

6. Vacinas gênicas

As vacinas gênicas estão em fase de testes para uso em humanos e são bastante promissoras. Elas são produzidas a partir de genes ou fragmentos de genes que codificam antígenos potencialmente capazes de estimular o sistema imunitário (fig. 9.13). Os genes isolados são ligados a plasmídeos, e a vacinação pode ser feita por injeção intramuscular, que é a mais comum, por via oral, intranasal (na forma de aerossol) ou intradérmica, usando bombardeamento de micropartículas de ouro cobertas com o material genético. O material genético (DNA) inoculado é incorporado pelas células, alojando-se no núcleo, mas sem se unir ao DNA nuclear. Usando as vias metabólicas normais da célula hospedeira, o DNA inoculado é transcrito em RNA, que passa para o citossol, onde é traduzido em proteínas, ou seja, o antígeno do agente infeccioso. Este vai desencadear os processos de imunidade humoral e celular sem o risco associado às vacinas convencionais, feitas com o agente patogênico inativado ou com sua capacidade de infecção atenuada. Nesses casos, quando há produção de vacinas em larga escala, podem ocorrer lotes de vacinas com o agente patogênico ativo, podendo levar ao surgimento de casos da doença em pessoas vacinadas com esses lotes.

A imunidade obtida pela vacina de DNA dura por muito tempo, pois a produção de antígeno dentro da célula hospedeira é constante, mantendo os estímulos que desencadeiam respostas imunes. As vacinas de DNA podem ser mantidas em via seca, o que possibilita sua distribuição em regiões de acesso mais difícil. Algumas vacinas gênicas em fase de estudo são para o combate a tuberculose, febre amarela, hepatite B e meningite bacteriana.



▲ Figura 9.13. Esquema mostrando como a vacina de DNA administrada por injeção intramuscular desencadeia respostas imunes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

7. Programas de triagem populacional

O avanço da engenharia genética nas técnicas de identificação de genes que provocam doenças e de alterações cromossômicas tem permitido que se pense em fazer baterias de testes genéticos como rotina em exames laboratoriais.

Essa rotina é ainda incipiente, mas já foram feitos em alguns países programas de triagem populacional.

Há muitos anos foi criado o programa de triagem populacional para adolescentes judeus ortodoxos *ashkenazim*, originários da Europa Central e do Leste Europeu. Nesse grupo é alta a incidência da doença de Tay-Sachs, causada por alelo recessivo. Essa doença provoca grave deterioração neurológica, que geralmente causa a morte na infância. Os adolescentes podem ser homozigóticos dominantes ou heterozigóticos. Uma vez detectado o alelo recessivo na pessoa, ela recebe a orientação adequada sobre os riscos de vir a ter um descendente com essa anomalia. Cerca de 50 mil jovens desse grupo de judeus de Israel, dos Estados Unidos, do Canadá e de vários países da Europa já foram testados.

Alguns centros da Inglaterra estão realizando testes para fibrose cística, uma doença autossômica recessi-

va grave, particularmente comum entre caucasianos.

Outro programa considerado um sucesso foi o de triagem populacional realizado em Chipre, para se identificar portadores da **talassemia**, uma forma de anemia causada por alelos com dominância incompleta, em que o indivíduo T^1T^1 não sobrevive, o T^1T^2 tem talassemia leve e o indivíduo T^2T^2 é normal.

Entretanto, nem sempre o programa de triagem populacional é bem aceito. Foi o que ocorreu na década de 1970 nos Estados Unidos, quando o governo instituiu para os afro-americanos um programa de triagem para a doença **anemia falciforme**. Essa doença é comum em pessoas de ascendência africana e é causada por alelos com dominância incompleta, em que os indivíduos S^1S^1 morrem de anemia, os S^1S^2 têm anemia leve e os S^2S^2 são normais. Pela falta de informações e de aconselhamento, o programa levou a uma discriminação contra os portadores do alelo na comunidade negra, alterando as possibilidades de emprego e seguro saúde.

Como se pode notar, todas as tentativas de conhecer melhor o genoma humano envolvem problemas éticos que merecem ser debatidos e muito bem esclarecidos.

7.1. Proteoma: o desafio para o século 21

O que é proteoma?

Conhecendo-se as sequências de DNA dos genes, pode-se deduzir a sequência de aminoácidos das proteínas por eles codificadas. Essa informação é de grande importância, já que a sequência de aminoácidos de uma proteína (ou estrutura primária) é a característica primordial que define sua forma e função. Por outro lado, o sequenciamento de genes revela muito pouco sobre como as proteínas de um organismo operam individualmente ou em conjunto para exercer suas funções. Além disso, sabe-se que, após serem sintetizadas, as proteínas podem sofrer importantes modificações chamadas pós-traducionais, como glicosilações e fosforilações. Tais informações não podem ser retiradas exclusivamente da sequência dos genes, havendo necessidade de estudos diretos das proteínas. Do mesmo modo, o estudo do genoma não permite saber que proteínas estão expressas realmente em uma determinada célula em um dado momento. Dentro desse contexto, torna-se importante o estudo em larga escala das proteínas por meio de projetos de análise de proteomas.

PROTEOMA é um termo relativamente novo, que significa o conjunto de **PROTEÍNAS** expressas por um **genOMA**. O genoma de um organismo, por exemplo o de um ser humano, é praticamente constante, independentemente de qual das diferentes células nucleadas (excetuando-se óvulos e espermatozoides) está sendo analisada ou de variações no meio ambiente. Por outro lado, o proteoma de um neurônio será bastante diferente do proteoma de um linfócito do mesmo indivíduo, já que as diferenças morfológicas e funcionais entre as

duas células são reflexo do conjunto de proteínas produzidas por cada uma. O mesmo tipo de célula pode apresentar diferentes proteomas em resposta a estímulos externos como a ação de drogas, poluição ou mesmo estresse nervoso. O proteoma é, portanto, o resultado da expressão de um conjunto de genes e das modificações pós-traducionais das proteínas produzidas em resposta a condições ambientais definidas.

Aplicações biotecnológicas

A existência de mapas de proteomas disponíveis na internet permite que pesquisadores de todo o mundo, trabalhando em diversos assuntos envolvendo expressão de proteínas, tais como efeito de fármacos, condições patológicas, diferenciação celular, comparação de variedades da mesma espécie e respostas celulares a estímulos externos diversos, possam identificar mais facilmente as proteínas expressas ou reprimidas, precisando para isso apenas obter o perfil bidimensional das proteínas de seu sistema nas mesmas condições dos Mapas de Referência disponíveis.

Hoje, já se vislumbra uma enorme gama de aplicações dos conhecimentos detalhados dos proteomas, principalmente em medicina, agropecuária e biotecnologia. Por exemplo, a comparação de expressão de cepas (variedades) patogênicas e não patogênicas de microrganismos pode ajudar no desenvolvimento de métodos diagnósticos e de agentes terapêuticos. Outra possibilidade da análise de proteomas é a comparação de tecidos humanos normais e doentes. No caso de câncer, várias proteínas marcadoras já foram identificadas por análise de proteomas.

8. Clonagem



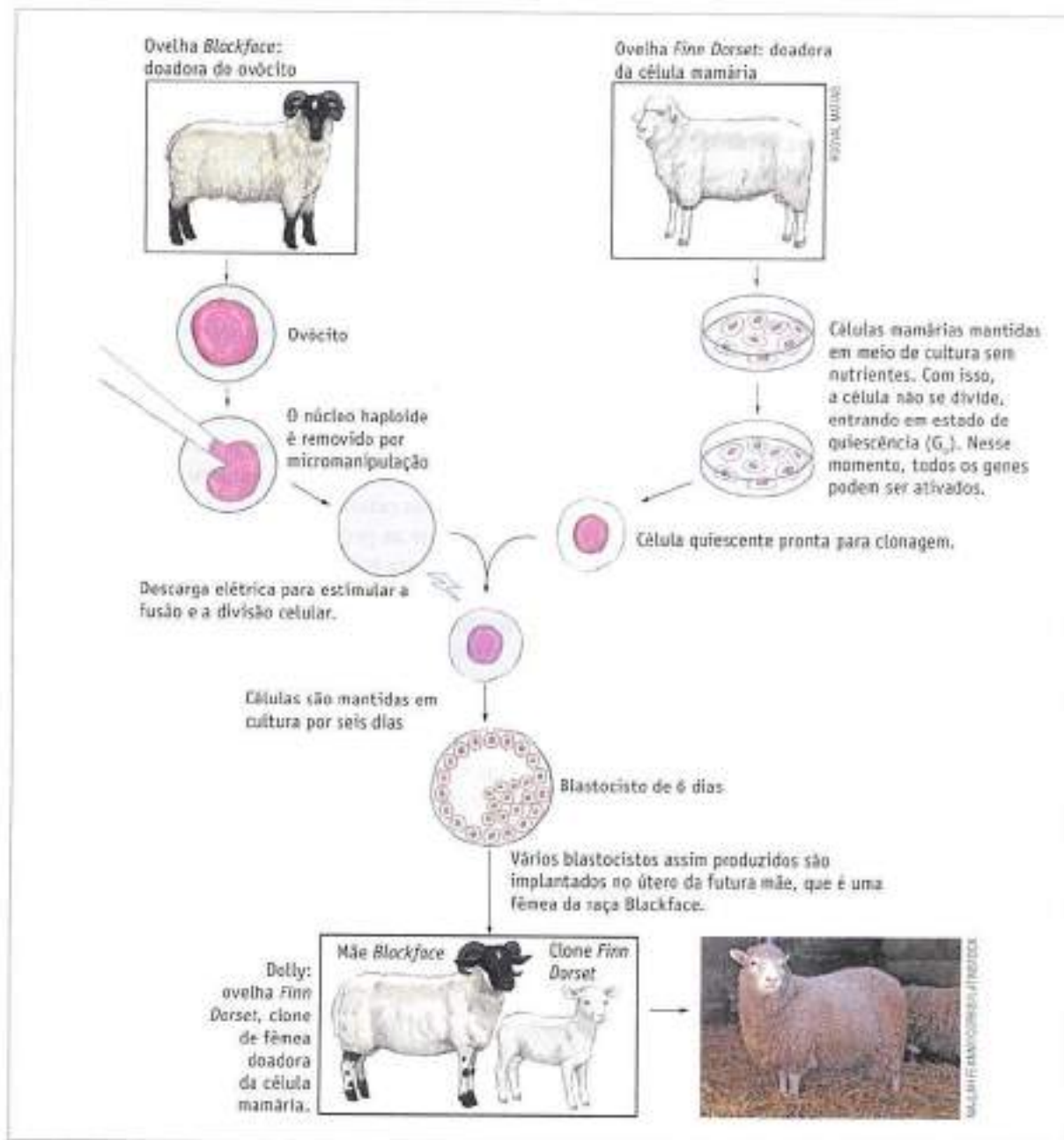
Já comentamos a clonagem do DNA e agora vamos falar da clonagem de organismos multicelulares, mencionando três técnicas desenvolvidas para se obter um clone:

a) reproduz-se em laboratório um acontecimento natural, que é a reprodução vegetativa (mais comum em plantas), ou, no caso de animais como mamíferos, estimula-se em laboratório o surgimento de gêmeos monozigóticos. Neste caso, recolhem-se sêmen e óvulos de animais selecionados que possuem características de interesse e promove-se a fecundação em laboratório. Assim que o zigoto se forma e se iniciam as primeiras divisões celulares, as células originadas são separadas artificialmente e implantadas em fêmeas ("mães de aluguel"), onde se completa o desenvolvimento embrionário. Cada uma dessas células dará origem a um indivíduo ge-

neticamente idêntico. Formam-se, então, clones de animais de interesse para o ser humano;

b) a partir de células somáticas, como foi o caso da ovelha Dolly: uma **célula receptora**, o ovócito retirado do ovário de uma ovelha da raça *blackface*, teve seu material genético removido com auxílio de uma micropipeta. Uma célula (2n) retirada da glândula mamária de uma ovelha adulta da raça *finn dorset* foi mantida em estado de quiescência, ou seja, em condições que a tornaram pouco ativa. Essa célula foi fundida ao ovócito desprovido de material genético nuclear. O ovócito, agora com o núcleo 2n recebido da célula somática, foi estimulado a iniciar o desenvolvimento embrionário. A seguir, o embrião com poucas células foi introduzido no útero de uma "mãe de aluguel".

A figura 9.14 resume os procedimentos para a obtenção da ovelha Dolly.



▲ Figura 9.14. Esquema simplificado mostrando como a ovelha Dolly foi obtida. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

Vale ressaltar que o processo de clonagem não é tão simples quanto parece. No caso descrito, foram produzidos 277 embriões até que um deles, a Dolly, nascesse. Mesmo assim, Dolly apresentou sinais de envelhecimento precoce e artrite, tendo sido sacrificada em 2003 em função de complicações de saúde, aos 7 anos de idade;

c) a partir de células embrionárias, como foi o caso do primeiro animal clonado no Brasil: a bezerra Vitória, da raça Simental, que nasceu em 17 de março de 2001, no Campo Experimental Sucupira, da Embra-

pa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Vitória é fruto da transferência do núcleo de uma célula de embrião de cinco dias, coletado de uma vaca da raça Simental, para um ovócito enucleado retirado de uma vaca de outra raça. Depois, o embrião em início de desenvolvimento foi implantado em uma "vaca de aluguel". Gestação e parto ocorreram normalmente. Aos três anos de idade, Vitória recebeu o sêmen de um touro de sua raça (Simental) e deu à luz no dia 19 de fevereiro de 2004 seu primeiro filhote: a bezerrinha Glória (fig. 9.15).

A possibilidade da clonagem, inclusive a humana, tem levantado intensas discussões éticas.

A clonagem humana para fins reprodutivos, que é a clonagem com a finalidade de obtenção de um indivíduo, não é permitida por lei, mas a clonagem terapêutica, que é feita com a finalidade de produção de células-tronco embrionárias para utilização terapêutica, sim.

É importante frisar que não se clonam indivíduos, mas sim **genomas**, termo que se refere ao conjunto de todo o DNA nuclear que determinado organismo tem em suas células.

A clonagem não impede as interações complexas do genótipo com o ambiente na produção do fenótipo. Assim, apesar de genotipicamente idênticos, os clones não terão exatamente os mesmos fenótipos por causa da ação do meio.

Outra questão a ser analisada nessas clonagens é o **DNA mitocondrial**, que pode conter alguns genes responsáveis por doenças, como é o caso da doença humana chamada atrofia óptica de Leber, um tipo de cegueira.

Se a clonagem for feita apenas com a transferência de núcleo $2n$ para o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial será o do ovócito e o clone

não será completo por causa do material genético das mitocôndrias.

Quando ocorre fusão entre a célula $2n$ e o ovócito desprovido de DNA nuclear, o DNA mitocondrial é em parte do ovócito e em parte da célula somática, e o clone terá mitocôndrias tanto do ovócito quanto da célula que se fundiu a ele.

Testes de maternidade (para constatar quem é a mãe de uma criança) podem ser feitos pela análise do DNA mitocondrial, pois as mitocôndrias dos descendentes são herdadas apenas da mãe.



▲ Figura 9.15. Fotografia de Vitória, o primeiro clone bovino brasileiro, e sua filha Glória, em fevereiro de 2004.

9. Organismos transgênicos

Organismos transgênicos são aqueles que recebem genes de outras espécies de seres vivos. A importância deles está na obtenção de indivíduos com características vantajosas e que produzam substâncias de interesse para o ser humano.

A transferência de genes de um organismo para outro já foi feita com sucesso em camundongos: o gene que produz o hormônio de crescimento humano foi isolado e transferido para zigotos de camundongo, logo após a fertilização *in vitro*; os ovócitos foram removidos cirurgicamente e fecundados com espermatozoides; em cada zigoto foram injetadas inúmeras cópias do gene, com o auxílio de uma delicada agulha de vidro (fig. 9.16).



▲ Figura 9.16. Fotomicrografia mostrando introdução do material genético em ovócito de mamífero. O ovócito está preso por sucção à pipeta, e o material genético está sendo introduzido por uma microagulha de vidro. O ovócito mede cerca de 100 μm de diâmetro.

Algumas dessas cópias se integraram, ao acaso, no genoma do zigoto. Então os zigotos foram reimplantados em fêmeas, e a embriogênese prosseguiu normalmente. Os camundongos transgênicos adultos atingiram tamanho duas a três vezes maior que o normal.

No Brasil, foi produzido um camundongo transgênico que apresenta um gene de água-viva incorporado ao seu DNA. Esse gene codifica a síntese de uma proteína responsável pela cor verde fluorescente. Um vírus modificado foi usado como vetor da inserção do gene de água-viva no DNA de zigotos de camundongo. Os zigotos desenvolveram-se em adultos que adquirem a cor verde fluorescente se iluminados com luz especial (fig. 9.17).



▲ Figura 9.17. Fotografia de filhotes de camundongo normais e transgênicos sob luz especial. Os camundongos transgênicos sintetizam uma proteína de água-viva, que confere a cor verde fluorescente à sua pele, sob essa iluminação.

Acredita-se que esses resultados possam ser úteis em futuras pesquisas sobre o câncer, pois a proteína verde fluorescente poderia ser utilizada para marcar células cancerígenas, que seriam, então, facilmente visualizadas em microscópio, sob luz azul.

Na Inglaterra, os cientistas já conseguiram produzir ovelhas transgênicas, que apresentam o gene humano responsável pela produção da proteína alfa-1-antitripsina. Essas ovelhas lançam essa proteína no leite produzido em suas glândulas mamárias (fig. 9.18).

A ausência dessa proteína na espécie humana provoca deficiência hepática e suscetibilidade a enfisema pulmonar. O tratamento atual, bastante caro, é feito com proteína extraída do sangue de pessoas normais. Por meio dessas ovelhas transgênicas tem sido possível obter essa proteína a um custo bem inferior.

Nas plantas, os métodos empregados na obtenção de organismos transgênicos (organismos geneticamente modificados — OGMs) são principalmente a **transformação pela bactéria *Agrobacterium tumefaciens***, a **biobalística** e a **eletroporação de protoplastos**.

A *Agrobacterium tumefaciens* é uma bactéria que ocorre no solo e que tem a capacidade de introduzir seus plasmídeos no interior de células de plantas, representando assim um vetor natural de transferência de material genético. Os genes desses plasmídeos conseguem se integrar ao genoma nuclear da planta, passando a comandar a síntese de certas substâncias, que desencadeiam uma doença denominada galha-de-coroa, um tipo de tumor. Usando enzimas de restrição, os genes indesejáveis desses plasmídeos causadores de tumores têm sido removidos, e no lugar deles, têm-se colocado genes de interesse, sem interferir nas propriedades que permitem a integração do DNA do plasmídeo ao DNA da célula hospedeira. Assim, qualquer gene pode ser introduzido em uma célula vegetal utilizando-se essa ferramenta oferecida pela própria natureza.



▲ Figura 9.18. Fotografia de ovelhas transgênicas que expressam o gene humano que codifica a proteína alfa-1-antitripsina. A proteína é usada no tratamento de pessoas que não a produzem em quantidade suficiente, o que pode causar enfisema pulmonar.

Esse sistema de transformação de plantas baseado em *A. tumefaciens* tem sido aplicado a um grande número de plantas dicotiledôneas, como tomate, petúnia, soja, algodão e outras.

Quando se começou a usar essa bactéria para transformar cereais, os resultados iniciais não apresentaram êxito. Entretanto, hoje já se conseguiu empregar essa bactéria na transformação de monocotiledôneas, como o milho e o arroz, e também do fungo *Saccharomyces cerevisiae*. Isso indica que *A. tumefaciens* tem a capacidade de transferir DNA a uma ampla gama de organismos eucariontes, e não apenas a plantas.

O fracasso inicial de se transformar os cereais com essa bactéria fez com que se desenvolvessem outras técnicas de transferência de genes: a biobalística e a eletroporação.

O processo de biobalística teve como objetivo inicial introduzir material genético no genoma nuclear de plantas. Desde então, sua universalidade de aplicações tem sido avaliada, demonstrando ser um processo também efetivo e simples para a introdução de genes em bactérias, protozoários, fungos, algas e animais.

Nesse processo, microprojéteis de ouro ou tungstênio, cobertos com o DNA de interesse, são acelerados por meio de equipamentos especiais a velocidades superiores a 1 500 km/h e introduzidos nas células.

As micropartículas aceleradas penetram na parede e na membrana celular de maneira não letal. Em seguida, o DNA é dissociado das micropartículas pela ação do líquido celular, ocorrendo o processo de integração do gene exógeno no genoma do organismo a ser modificado.

Uma das vantagens desse sistema é permitir a introdução gênica em qualquer tipo celular. Ele tem sido considerado o método mais universal para a transferência de genes por ser totalmente físico, não dependendo de vetores como bactérias ou vírus. Exemplos de plantas transgênicas obtidas por esse processo são a soja, o arroz, o mamão papaia e o aspargo (fig. 9.19).

A eletroporação de protoplastos é um método utilizado para introduzir macromoléculas em células vegetais.

Protoplastos são células vegetais desprovidas de paredes celulares e, teoricamente, podem ser isolados de qualquer tecido vegetal. Os protoplastos previamente selecionados e purificados são mantidos em solução juntamente com os plasmídeos que contêm os genes a serem introduzidos. A entrada desses genes nos protoplastos ocorre pela eletroporação: utiliza-se uma descarga de alta voltagem que induz a abertura de poros temporários na membrana plasmática, o que permite a penetração e a eventual integração dos genes do plasmídeo ao genoma do protoplasto. É o método preferencial quando se trata de plantas monocotiledôneas, como o milho e o trigo.

Muitos são os exemplos de plantas transgênicas. Vamos comentar apenas alguns.

Várias espécies vegetais, como milho, algodão, tomate e outras, portam e manifestam genes de bactérias que lhes conferem resistência a insetos. Com isso, são menos predadas por esses organismos.

Já foram produzidos batata, feijão e mamão transgênicos resistentes ao ataque de vírus, e bananas resistentes ao ataque de fungos.

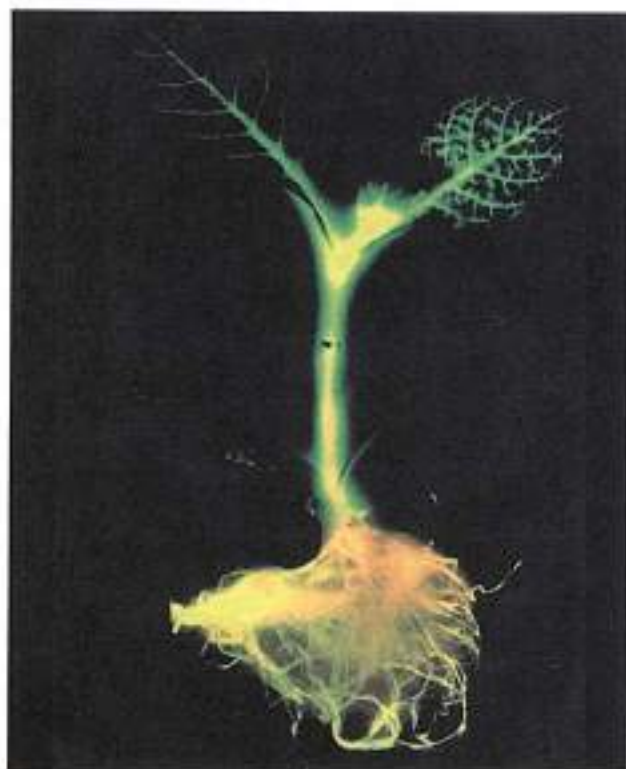
Variedades de soja transgênica resistentes a herbicidas também já foram desenvolvidas, assim como uma variedade de arroz rica em betacaroteno, substância precursora da vitamina A.

Um exemplo curioso é o de plantas de tabaco contendo o gene responsável pela bioluminescência do vaga-lume. Quando essas plantas são regadas com água contendo a proteína luciferina, elas produzem luz (fig. 9.20). Isso ocorre porque o gene do vaga-lume presente nas células da planta é responsável pela síntese de uma enzima chamada luciferase, que reage com a luciferina, liberando energia luminosa.

Outro caso interessante também envolve plantas de tabaco, que receberam genes de mexilhão. Os mexilhões sintetizam uma substância fortemente adesiva que forma os fios do bisso e que os mantém fixos às rochas; essa "cola", além de potente, é resistente à água (fig. 9.21). O objetivo da pesquisa, desenvolvida na Inglaterra, é o de obter plantas de tabaco capazes de produzir a "cola" proteica, que poderá ser isolada e então utilizada para diversos fins, até para unir pedaços quebrados de dentes.



▲ Figura 9.19. Fotografia de sementes de soja (à esquerda) e de plantas de mamoeiros (à direita) transgênicos produzidos pela Embrapa, em Brasília (DF).



▲ Figura 9.20. Fotografia de planta de tabaco com gene de vaga-lume, que lhe deu a característica de bioluminescência.



▲ Figura 9.21. Fotografia de mexilhões e, dentro de um frasco, planta de tabaco geneticamente modificada. A planta recebeu genes de mexilhão que codificam a síntese da substância adesiva dos fios que prendem o animal ao substrato (fios do bisso).

Colocando em foco: de Dolly a Polly e o uso de animais transgênicos na Medicina

A mesma equipe de cientistas que clonou a ovelha Dolly foi responsável por outro feito científico: a produção da ovelha transgênica Polly pelo processo de clonagem.

Por meio dessa clonagem transgênica, foram isolados o DNA da glândula mamária de uma ovelha adulta e o DNA de leucócitos humanos. Do DNA humano foi isolado o alelo de um dos fatores importantes para que a coagulação do sangue ocorra normalmente e que é ausente nos hemofílicos. Esse alelo foi acrescentado ao DNA da ovelha.

Esse DNA modificado foi introduzido em células mamárias da ovelha que foram cultivadas em laboratório. Depois, o núcleo dessas células foi removido e introduzido em um ovócito do qual haviam sido retirados os cromossomos. A seguir, o ovócito modificado foi submetido a uma descarga elétrica, o que desencadeou o desenvolvimento embrionário.

O embrião foi introduzido no útero de outra ovelha, onde se desenvolveu, dando origem à Polly, nascida em meados de 1997. Essa ovelha produz o fator de coagulação, que é liberado em seu leite. Assim, pessoas que não produzem esse fator poderiam obtê-lo pela alimentação.

Técnicas como essa podem permitir a formação de órgãos (por exemplo, o coração) geneticamente alterados em animais. Esses órgãos provenientes de mamíferos transgênicos, por exemplo, porcos, poderiam ser usados até mesmo em transplantes para um ser humano.

10. Recuperação de espécies em extinção

No filme *Jurassic Park*, de Steven Spielberg, é proposta a recuperação de seres extintos, como os dinossauros, por meio do material genético de fósseis. Recuperar parte do material genético de fósseis é possível e isso tem sido feito, mas ainda não existe a possibilidade de se recuperar o organismo inteiro.

No entanto, espécies extintas mais recentemente e com parentes muito próximos ainda vivos têm maiores chances de serem recuperadas. Foi o que aconteceu com a zebra quagga, extinta em 1883 (fig. 9.22). O Projeto Quagga foi instituído pela cientista Reinhold e sua equipe, na África do Sul, em 1990. Esses cientistas examinaram o DNA de zebras de outras espécies que apresentavam características da quagga (poucas listras na parte traseira, coloração amarronzada e igual nas patas) e compararam com o DNA das quaggas extintas, que estão empalhadas em museus.

Então, escolheram as zebras geneticamente mais aparentadas com a quagga e realizaram cruzamentos, até que começaram a nascer quagga (fig. 9.23).

Embora esse seja um exemplo interessante, há discordância entre os cientistas quanto ao fato de a zebra quagga ser realmente uma espécie distinta das demais. Há os que consideram a quagga uma subespécie da zebra (*Equus burchelli*). A subespécie é considerada uma variação dentro da espécie, podendo haver cruzamento com descendentes férteis entre elas. Se esse for o caso, a que teria sido extinta é a subespécie *Equus burchelli quagga*, e não a espécie. Em 2006, os cientistas do Projeto Quagga anunciaram que a terceira e a quarta gerações dessas zebras são formadas por animais muito semelhantes às extintas quaggas. Portanto, embora esses resultados possam ser considerados um sucesso na recuperação de organismos extintos, o assunto ainda é controverso.

Figura 9.22. Gravura da extinta zebra quagga.



Figura 9.23. Fotografia de zebra atual, semelhante à quagga, obtida por cruzamento seletivo.



11. Aconselhamento genético

Os avanços da Engenharia Genética nos últimos anos têm permitido maior conhecimento a respeito dos cromossomos e de seus genes, o que possibilita melhorias no serviço de aconselhamento genético.

O aconselhamento genético é especialmente indicado nos casos a seguir:

- Casais normais que não conseguem ter filhos porque a mulher não consegue engravidar ou levar uma gestação a termo, passando por abortos consecutivos. Convém esclarecer, no entanto, que é comum ocorrer aborto na primeira gestação (frequência de 30%, que é bastante alta) e que, nesse caso, não há necessidade de maiores preocupações, pois em geral a segunda gravidez vai a termo. O aconselhamento genético é indicado a partir do terceiro aborto sucessivo.
- Casais normais com casos de doenças genéticas na família da mulher e/ou do homem.
- Casais normais que já tiveram um filho com ano-

malia genética ou cromossômica.

- Casais consanguíneos, pois têm risco maior de ter filhos com anomalias; esse risco é da ordem de 10% para primos em primeiro grau.
- Casais com mais de 35 anos de idade, sendo mais importante a idade da mulher. Antes dos 35 anos, a chance de se ter um filho com anomalias cromossômicas, como a síndrome de Down, é inferior a três casos em mil. Depois dos 35 anos, essa probabilidade aumenta consideravelmente: para mulheres com 40 anos a probabilidade é da ordem de um caso em cem, e quando a mãe chega aos 44 anos essa probabilidade vai para 2,4 em cem.
- Casais em que pelo menos um dos cônjuges recebeu radiação ionizante, tomou drogas mutagênicas para tratamento de câncer ou fez uso de drogas que provocam mutações, como a droga ilegal LSD.
- Casos médico-legais referentes a testes de paternidade ou troca de crianças.

12. Diagnóstico pré-natal

O diagnóstico pré-natal permite que se saiba com antecedência se a criança que vai nascer é do sexo feminino ou do masculino e se ela pode apresentar alguma das anomalias cromossômicas ou genéticas, detectáveis por meio de várias técnicas laboratoriais.

Apesar de muito valioso, esse diagnóstico, quando aponta anomalias graves no feto, gera problemas éticos muito sérios a respeito de se manter ou interromper a gravidez. Em muitos países, como o Brasil, o aborto só é permitido em casos de estupro, para salvar a vida da mãe ou nos casos em que o feto é anencéfalo (não tem o cérebro). Assim, a questão do aborto envolve aspectos religiosos, éticos e morais que merecem ampla discussão, especialmente agora que os casais podem saber se o filho que está sendo gerado apresenta anomalias.

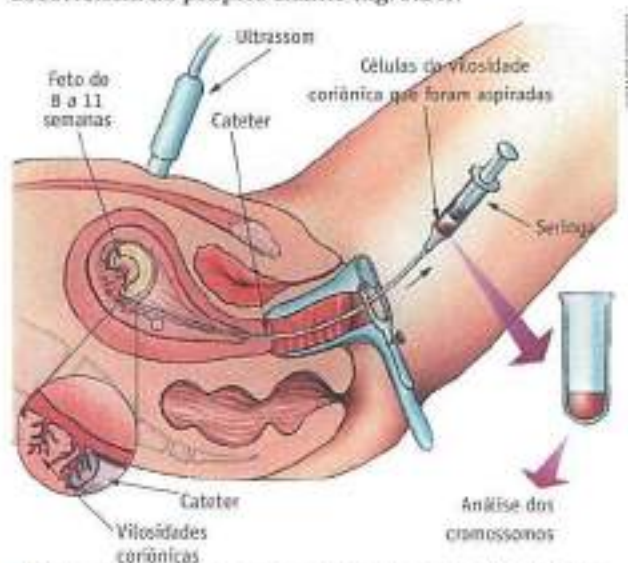
A seguir descreveremos algumas técnicas utilizadas para o diagnóstico pré-natal.

12.1. Exame das vilosidades coriônicas

Por esse exame é possível determinar o sexo do feto, anomalias cromossômicas e estudar o DNA a fim de detectar anomalias genéticas. Esse exame só pode ser feito entre a oitava e a décima primeira semana de gravidez e é o que fornece diagnóstico mais precoce. Ele é feito com o auxílio de ultrassonografia, que orienta o médico na introdução de uma cânula flexível ou cateter pela vagina. Esse cateter deve passar pelo colo do útero até atingir as vilosidades coriônicas, estruturas formadas

pelos anexos embrionários do feto e que contribuem para a formação da placenta.

Células das vilosidades coriônicas são aspiradas e mantidas em meios de cultura especiais, onde se dividem. Interrompe-se a mitose dessas células, e as que estão em metáfase têm seus cromossomos analisados. Esse exame só deve ser feito nos casos indicados por aconselhamento genético, pois há risco de aborto em decorrência do próprio exame (fig. 9.24).



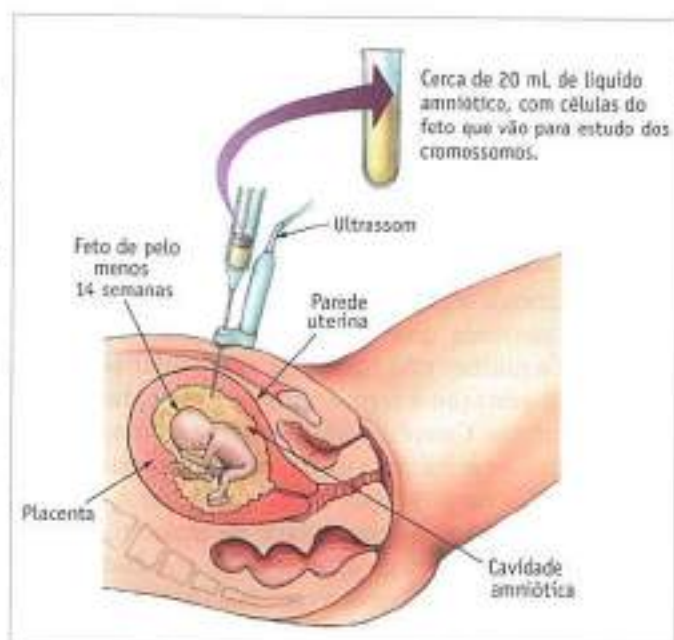
▲ Figura 9.24. Esquema de procedimento médico de coleta de amostra das vilosidades coriônicas. (A região pélvica da mãe está representada em corte longitudinal; cores-fantasia.)

12.2. Amniocentese

Com a amniocentese, obtêm-se as mesmas informações que no exame das vilosidades coriônicas, mas ela só pode ser feita a partir da 14ª semana de gestação. A amniocentese consiste na coleta do líquido amniótico, por meio de uma seringa introduzida na barriga da mãe. Essa coleta também deve ser acompanhada por ultrassonografia (fig. 9.25).

No líquido amniótico estão presentes células originadas da pele e dos sistemas urinário e respiratório do feto. Essas células são mantidas em culturas, e então seus cromossomos são analisados. Também existe risco de aborto em decorrência do exame, por isso ele é indicado somente por aconselhamento genético.

Figura 9.25. Esquema do procedimento médico da coleta de amostra do líquido amniótico. (Região pélvica da mãe representada em corte longitudinal; cores-fantasia.) ▶



12.3. Ultrassonografia

É o exame mais comum, e não apresenta riscos para o feto ou para a mãe. É feito utilizando-se ondas sonoras de alta frequência, que são convertidas em imagens transmitidas por uma tela de computador (fig. 9.26). Esse exame não proporciona análise dos cromossomos do feto, pois não se coletam células do embrião. No entanto, permite diagnosticar anomalias do sistema nervoso central, como espinha bífida, anencefalia (ausência de cérebro) e hidrocefalia (cérebro alterado pela presença de líquido), anomalias renais, anomalias no trato digestório, anomalias cardíacas e defeitos nos ossos. Em alguns casos é possível saber o sexo do embrião observando-se a genitália externa.



▲ **Figura 9.26.** Fotografia de ultrassonografia sendo realizada em gestante.

12.4. Fetoscopia

Feito em situações muito especiais, nesse exame o feto é visualizado por meio de uma cânula com fibra óptica introduzida na barriga da mãe. Dessa forma, podem-se observar anomalias morfológicas, como fendas faciais e defeitos nos membros. Por meio dessa técnica também é possível introduzir uma agulha e obter amostra do sangue e da pele do feto para fazer diagnósticos antes do nascimento.



Bioética como Ética Aplicada e Genética

1. Ética aplicada e Bioética

A história do pensamento ético do último terço do século 20 caracteriza-se pelo crescente interesse na solução dos problemas de ordem individual e coletiva que preocupam as pessoas e a humanidade no seu dia a dia. Temas como o da poluição da hidrosfera e da atmosfera, por exemplo, alarmam pessoas e entidades nos mais diversos níveis, quer nacionais ou internacionais. Em outro âmbito, mas dentro da problemática moral, o que fazer perante uma gravidez cujo feto é anencefálico? Ou qual a melhor alternativa para remediar a dor insuportável de um paciente terminal? Nesses casos e em outros parecidos, trata-se de assuntos significativos que têm a ver com a conduta certa ou conduta errada, com ato bom ou ato mau. Como é amplamente sabido, esta é a tarefa fundamental da ética.

(...)

Se a ética, de forma geral, se ocupa do que é correto ou incorreto no agir humano, a ética aplicada trata de questões relevantes para a pessoa e a humanidade. Um tema é eticamente relevante quando considerado pela maioria dos seres racionais, exemplificando, o uso sem limites dos recursos naturais. Conforme Singer, "uma parte importante da ética normativa corresponde à ética aplicada, que trata de questões práticas como o aborto, a eutanásia, sobre se há justificativa em criar e em matar animais para a alimentação e sobre a obrigação de compartilhar nossa riqueza com aqueles que vivem em extrema pobreza em outros países".

(...)

A ética aplicada, como introdução dos princípios que sustentam a ética ou as diversas teorias éticas nos problemas da vida quotidiana, não é, contudo, uma novidade. A Ética Política, por exemplo, tem sua origem na filosofia clássica de Platão. A Ecoética e a Bioética são formas novas da ética aplicada que caracterizam a sociedade, a cultura e os valores morais da civilização contemporânea.

(...)

Com o termo Bioética tenta-se focalizar a reflexão ética no fenómeno vida. Constata-se que existem formas diversas de vida e modos diferentes de consideração dos aspectos éticos com elas relacionados. Multiplicaram-se as áreas diferenciadas da

Bioética e os modos de serem abordadas. A ética ambiental, os deveres para com os animais, a ética do desenvolvimento e a ética da vida humana relacionada com o uso adequado e o abuso das diversas biotecnologias aplicadas à medicina são exemplos dessa diversificação. É esse último, contudo, o significado que tem prevalecido na prática. Com o espetacular desenvolvimento da biologia molecular e da genética médica, a humanidade deparou-se com novos questionamentos de caráter ético. Para Noelle Lenoir, presidente do Comitê Internacional de Bioética da UNESCO, a Bioética nasceu a partir da seguinte pergunta importância capital: "Qual a influência do desenvolvimento da biologia molecular no futuro do homem?". (...) Nobel de Química de 1993, Mullis, responsável pela descoberta de uma técnica chamada reação em cadeia da polimerase (PCR), o que permite produzir milhares de cópias de DNA. A quem cabe o direito de reproduzir a molécula que carrega as informações hereditárias de uma pessoa? Quais as vantagens ou perigos para a sociedade a partir do uso indiscriminado das mesmas? Indiscutivelmente, o papel da Bioética tem-se fortalecido com o progresso da biologia molecular e da genética.

2. Bioética e genética

A possibilidade de isolamento e clonagem de genes para a substituição de genes defeituosos é hoje uma forma de terapia. Essas novas técnicas vão modificar notavelmente o tratamento médico no futuro.

A tecnologia do DNA recombinante vem revolucionando a genética clínica e a indústria farmacêutica. Está em construção uma nova imagem do paciente e também da medicina. Aparece o doente assintomático, aquele que está com saúde hoje, mas com uma doença no genoma que poderá irromper futuramente. A identificação de um fator genético deficiente permitirá prevenir uma doença, atrasar seu aparecimento ou limitar seus efeitos. Trata-se da medicina preditiva aplicada à genética, em alto grau de desenvolvimento. (...)

Trechos do artigo escrito pelo Ph.D. Joaquim Clotet, Membro do Kennedy Institute of Ethics; Membro do Hastings Center; Professor da Faculdade de Medicina da PUC/RS.

Disponível na íntegra em: <www.pucrs.br/fabio/genetica3/index_arquivos/Aulas_genetica/BioeticaC.htm>. Acesso em: maio 2013.

1. Há diversas questões nos trechos selecionados desse artigo. Retome as perguntas e discuta-as em classe. Se possível, leia esse artigo na íntegra acessando o *site* indicado e procure mais informações sobre bioética em outras fontes confiáveis de consulta. Discuta seus dados com os demais colegas da classe.
2. Escolha uma das questões propostas na versão completa do artigo e faça uma pesquisa na internet ou em outras fontes sobre o tema, levantando argumentos que expressem diferentes pontos de vista. Analise o assunto e elabore sua própria conclusão sobre o que foi discutido no material pesquisado. Em seguida, divulgue seu texto em um *blog* ou rede social, de modo que seu professor e seus colegas possam ler e comentar o material que você produziu.



Retomando

faça no
caderno
não escreva
no livro

Neste capítulo, você conheceu um pouco mais a respeito da Biotecnologia e viu alguns exemplos de técnicas interessantes. Retome suas respostas às questões da seção **Pense nisso** e reescreva-as. A Biotecnologia é recente? Você consome produtos de técnicas biotecnológicas?



Ampliando e integrando conhecimentos

faça no
caderno
não escreva
no livro

Atividade 1: Homozigotos e heterozigotos

Considere que, no esquema abaixo, estão representados dois pequenos segmentos de DNA de um par de cromossomos homólogos que chamaremos de par 7. Isolados do núcleo de células de Márcio. Considere também que esses segmentos correspondem a alelos de um gene hipotético, lembrando que os alelos são formados por um número muito maior de bases nitrogenadas e que o exercício que vamos fazer é uma extrema simplificação.



- a) Analisando essa sequência de bases nitrogenadas, você diria que Márcio é homozigótico ou heterozigótico para esse par de alelos? Justifique sua resposta.
- b) Vamos agora comparar esse gene de Márcio com o de sua irmã Clarice, cuja sequência está representada abaixo. Repare que os alelos de Clarice diferem dos alelos de seu irmão em apenas um par de nucleotídeos, destacado em laranja. Você diria que Clarice é homozigótica ou heterozigótica para esse par de alelos?



- c) Usando a cor vermelha para os alelos encontrados no DNA de Márcio e a cor azul para os de Clarice, represente no seu caderno a condição heterozigótica para esse par de alelos.

Atividade 2: Discriminação genética

Leia o texto sobre um caso fictício a seguir:

Informações genéticas e discriminação

Nos Estados Unidos, durante o intervalo de uma reunião de trabalho, uma assistente social deixou escapar um comentário que lhe custou caro: disse aos colegas que sua mãe morreria em consequência da doença de Huntington. Pelas leis da probabilidade, ela teria 50% de chance de desenvolver a doença e outros 50% de probabilidade de ter uma vida saudável sem jamais manifestar os sintomas que mataram sua mãe. Os empregadores, ao ficarem sabendo da história, resolveram não correr o risco e demitiram a funcionária.

Estudiosos da área de genética humana e biotecnologia alertam: o mesmo conhecimento que pode levar a tratamentos pode ser usado como motivo para discriminação.

O texto trata do tema “determinismo genético”: a informação contida nos genes e a herança de certas características são decisivas na determinação do fenótipo das pessoas. No caso de muitas características, é a herança genética que realmente explica o seu aparecimento, como a cor dos olhos, por exemplo. No entanto, a influência do meio no qual o indivíduo se desenvolve pode interferir no surgimento de um fenótipo. Qual é a sua opinião a respeito? Faça uma redação com o tema em seu caderno. Depois, junto a seus colegas e com a orientação do professor, promova um debate na sala de aula sobre o assunto.

Atividade 3: Alimentos transgênicos

Quando o assunto é a produção e o consumo de alimentos transgênicos, há muita polêmica, principalmente a respeito das questões ambientais e de segurança alimentar. Leia alguns argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e outros a favor deles, elaborados a partir de opiniões de diversos profissionais: cientistas da área de biotecnologia e da área de ecologia, funcionários de empresas multinacionais que desenvolvem sementes transgênicas, grupos de defesa do meio ambiente.

As plantas transgênicas podem resolver o problema da fome no mundo, pois crescem mais rápido e evitarão que mais florestas fossem devastadas para atender à crescente demanda por áreas de plantio.

Ainda não há provas científicas de que os transgênicos trazem perigos para a saúde humana.

Agricultores afirmam que os transgênicos contribuem para a preservação do ambiente, pois plantas resistentes a pragas permitem o uso de quantidades muito menores de venenos.

Segundo empresas produtoras de sementes geneticamente modificadas, estudos demonstram que o plantio de soja transgênica reduz a erosão do solo em 90%.

Não há informações corretas para o consumidor sobre os alimentos transgênicos, causando medo na população. No Reino Unido, por exemplo, alimentos transgênicos foram rotulados de “comida Frankenstein”.

Segundo uma organização não governamental, há pesquisas indicando que o problema da fome poderia ser resolvido se houvesse distribuição justa dos alimentos. O mundo já produz alimento suficiente para toda a população, nem por isso há menos fome.

Há pesquisadores que confirmam que os alimentos transgênicos não oferecem perigo imediato, mas são necessários estudos de longo prazo para avaliar os riscos.

O pólen de uma planta transgênica pode fecundar espécies nativas, alterando a biodiversidade natural.

Algumas variedades de milho receberam um gene de bactéria para produzir uma toxina mortal para os insetos-praga. A toxina pode atingir também outras espécies de insetos que habitam o milharal, mas não atacam a lavoura. O caso é crítico no Brasil, onde as espécies de insetos são muitas, e algumas nem são conhecidas.

Com plantas transgênicas resistentes a inseticidas e a herbicidas, pode-se aplicar mais agrotóxico que o normal, sem prejudicar a lavoura. A quantidade exagerada de veneno pode selecionar ervas-daninhas e insetos extremamente resistentes.

Você pode perceber que o debate é acirrado e que existem muitas informações conflitantes. Atualize-se sobre a questão, fazendo o seguinte:

- Procure em jornais, revistas e sites mais argumentos contra os alimentos geneticamente modificados e a favor deles. Procure também saber quais são as últimas regulamentações sobre o cultivo de plantas transgênicas no país, consultando o site do Ministério do Meio Ambiente ou outras publicações. Com que posições você concorda?
- Produza um texto com as suas opiniões sobre o assunto e, junto aos colegas e ao professor, publique o texto em um blog feito pela turma. Use esse site para discutir e divulgar o que a turma pensa sobre o tema. Você pode incluir imagens, vídeos e links para outros sites, por exemplo.

Atividade 4: Investigação policial

Em uma investigação policial, Breno foi encontrado morto em seu apartamento e não havia sinais de sangue no local. Descobriu-se a causa de sua morte. O médico legista, ao analisar o corpo, encontrou sob as unhas de Breno células epiteliais desagregadas, sugerindo que, antes de morrer, teria arranhado uma pessoa. Durante a investigação, a polícia chegou a dois suspeitos e conduziu teste de DNA para tentar saber qual deles foi o culpado. Para isso, foram coletados

1. (Enem) Define-se genoma como o conjunto de todo o material genético de uma espécie, que, na maioria dos casos, são as moléculas de DNA. Durante muito tempo, especulou-se sobre a possível relação entre o tamanho do genoma – medido pelo número de pares de bases (pb) –, o número de proteínas produzidas e a complexidade do organismo. As primeiras respostas começam a aparecer e já deixam claro que essa relação não existe, como mostra a tabela abaixo.

Espécie	Nome comum	Tamanho estimado do genoma (pb)	Nº de proteínas descritas
<i>Oryza sativa</i>	Arroz	5 000 000 000	224 181
<i>Mus musculus</i>	Camundongo	3 454 200 000	249 081
<i>Homo sapiens</i>	Homem	3 400 000 000	459 114
<i>Rattus norvegicus</i>	Rato	2 900 000 000	109 077
<i>Drosophila melanogaster</i>	Mosca-da-fruta	180 000 000	86 255

Dados obtidos em: <www.cbs.tdu.dk> e <www.ncbi.nlm.nih.gov>.

De acordo com as informações da tabela acima,

- o conjunto de genes de um organismo define o seu DNA.
 - a produção de proteínas não está vinculada à molécula de DNA.
 - o tamanho do genoma não é diretamente proporcional ao número de proteínas produzidas pelo organismo.
 - quanto mais complexo o organismo, maior o tamanho de seu genoma.
 - genomas com mais de um bilhão de pares de bases são encontrados apenas nos seres vertebrados.
2. (Enem) A Embrapa possui uma linhagem de soja transgênica resistente ao herbicida IMAZAPIR. A planta está passando por testes de segurança nutricional e ambiental, processo que exige cerca de três anos. Uma linhagem de soja transgênica requer a produção inicial de 200 plantas resistentes ao herbicida e destas são selecionadas as dez mais “estáveis”, com maior capacidade de gerar descendentes também resistentes. Esses descendentes são submetidos a doses de herbicida três vezes superiores às aplicadas nas lavouras convencionais. Em seguida, as cinco melhores são separadas e apenas uma delas é levada a testes de segurança. Os riscos ambientais da soja transgênica são

pequenos, já que ela não tem possibilidade de cruzamento com outras plantas e o perigo de polinização cruzada com outro tipo de soja é de apenas 1%.

A soja transgênica, segundo o texto, apresenta baixo risco ambiental porque

- a resistência ao herbicida não é estável e assim não passa para as plantas-filhas.
 - as doses de herbicida aplicadas nas plantas são 3 vezes superiores às usuais.
 - a capacidade da linhagem de cruzar com espécies selvagens é inexistente.
 - a linhagem passou por testes nutricionais e após três anos foi aprovada.
 - a linhagem obtida foi testada rigorosamente em relação à sua segurança.
3. (Enem) Do veneno de serpentes como a jararaca e a cascavel, pesquisadores brasileiros obtiveram um adesivo cirúrgico testado com sucesso em aplicações como cola-gem de pele, nervos, gengivas e na cicatrização de úlceras venosas, entre outras. A cola é baseada no mesmo princípio natural da coagulação do sangue. (...) Os produtos já disponíveis no mercado utilizam fibrinogênio e trombina bovina. Nessa nova formulação são utilizados fibrinogênio de búfalos e trombina de serpentes. A substituição da trombina bovina pela da cascavel mostrou, em testes, ser uma escolha altamente eficaz na cicatrização de ferimentos.
- (ERENO, D. Veneno que cola. In: Pesquisa Fapesp, n. 156, abr. 2009.)
- A principal vantagem deste novo produto biotecnológico é:
- estar isento de contaminação por vírus humanos e permitir uma coagulação segura, ou seja, a transformação de fibrinogênio em fibrina.
 - estimular o sistema imunológico a produzir anticorpos que irão transformar as moléculas de protrombina em trombina com a participação de íons cálcio.
 - evitar rejeições pelos pacientes que utilizam essa técnica e desta forma transformar eficientemente a trombina em protrombina, responsáveis pela coagulação.
 - aumentar a formação do tampão plaquetário uma vez que a trombina é uma enzima que transforma a fibrina em fibrinogênio que estimula a formação de plaquetas.
 - esterilizar os locais em que é aplicado graças à ação antibiótica da trombina e o aumento da síntese dos fatores de coagulação no fígado com a participação dos íons potássio.

ANEXO 5

Além de conhecer a estrutura do DNA, a maneira como a informação genética é passada de forma fiel de geração a geração, e ainda de que modo se usa essa informação em cada organismo, a Biologia Molecular estuda maneiras de manipular o material genético e de aplicar os conhecimentos na resolução de problemas cotidianos. Com a **Engenharia Genética** os cientistas têm feito isso, utilizando técnicas diversas e visando metas distintas, como compreender melhor fenômenos naturais e aprimorar a qualidade da nossa vida.

Tecnologia do DNA recombinante

A possibilidade de combinar características desejáveis de um organismo em outros começou a se tornar realidade com o desenvolvimento das técnicas moleculares para obter **DNA recombinante**. Em uma célula eucarionte ou procarionte podemos inserir fragmentos de DNA (genes inteiros ou apenas partes deles) de outras origens, de forma que a maquinaria da célula os expresse (transcreva e traduza em proteínas) como se fossem dela mesma. O desenvolvimento de algumas ferramentas e técnicas foi fundamental para o progresso dessa área. Veremos algumas das mais importantes a seguir.

Enzimas de restrição

Uma das maiores dificuldades na manipulação de genes específicos é sua própria organização e composição na célula. Eles estão organizados em longas cadeias de DNA, nos cromossomos, e sua composição não difere muito de gene para gene, sendo formados por proporções muito similares dos quatro nucleotídeos, o que não permite que sejam separados por características químicas. Assim, a identificação e separação de fragmentos específicos de DNA (contendo um gene de interesse, por exemplo) foi um grande desafio para os biólogos moleculares.

A chave para superar essa dificuldade apenas surgiu com a descoberta das **enzimas de restrição**, em 1970. Essas enzimas são proteínas extraídas de bactérias e são utilizadas por esses organismos na defesa contra ataques virais. Elas reconhecem moléculas de DNA com estrutura de dupla-hélice com sequências de nucleotídeos específicas e as "cortam", interrompendo o ataque dos vírus. Diferentes espécies de bactérias produzem distintas enzimas que reconhecem várias sequências de nucleotídeos.

Atualmente, algumas centenas de enzimas de restrição foram identificadas e são aplicadas em diversas pesquisas. Elas reconhecem sequências específicas de 4 a 8 nucleotídeos nas moléculas de DNA antes de realizar os cortes precisos. Com a escolha correta das enzimas, é possível gerar fragmentos de DNA com tamanhos previsíveis (que podem ser separados por uma técnica que estudaremos a seguir) que poderão ser manipulados, permitindo o isolamento de um gene de interesse, por exemplo. Um dos tipos de enzimas de restrição mais utilizados é o que gera pontas coesivas.

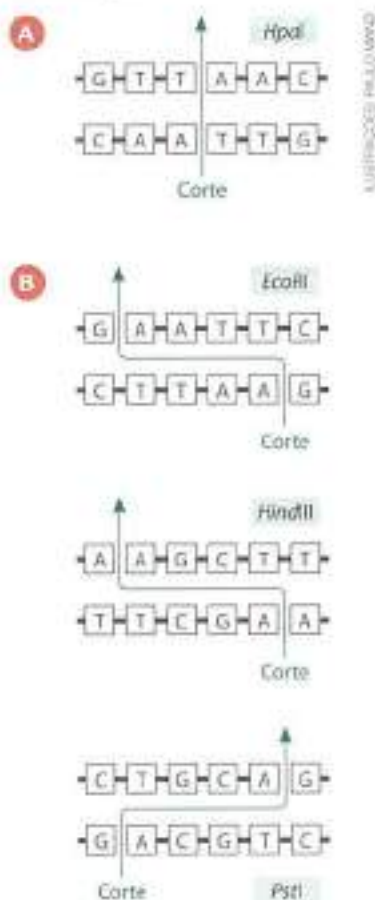


Objeto educacional digital
Tecnologia do DNA recombinante



Orientações para o professor
no livro digital

Utilização das enzimas de restrição



Exemplos de sequências reconhecidas e tipos de corte de enzimas de restrição. (A) Enzima que corta as duas fitas de DNA de forma alinhada, gerando uma "ponta cega"; (B) enzimas que cortam as duas fitas de DNA de forma não alinhada deixando "caudas" de fita simples nas extremidades, chamadas de pontas coesivas.

Fonte: ALBERTS, H. et al. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.



Após o isolamento de um fragmento que foi tratado com esse tipo de enzima de restrição, ele pode ser facilmente unido a outra molécula de DNA tratada com a mesma enzima. As pontas coesivas das duas moléculas que ficam com apenas uma fita pareiam-se normalmente e podem ser unidas por outras enzimas chamadas ligases. As moléculas de DNA formadas pela união de dois ou mais fragmentos de DNA é dado o nome de DNA recombinante.

Clonagem molecular em vetores

As moléculas do DNA recombinante só podem ser manipuladas após ter suas quantidades, naturalmente pequenas, amplificadas. Uma das formas de obter essa amplificação é a clonagem molecular em vetores. O uso da palavra *clonar* dentro da Biologia Molecular tem como principal significado gerar múltiplas cópias; mas por vezes o simples isolamento de um gene ou fragmento é descrito como uma clonagem. No processo de amplificação são usadas moléculas de DNA que tenham capacidade de autorreplicação, conhecidas como **vetores de clonagem**.

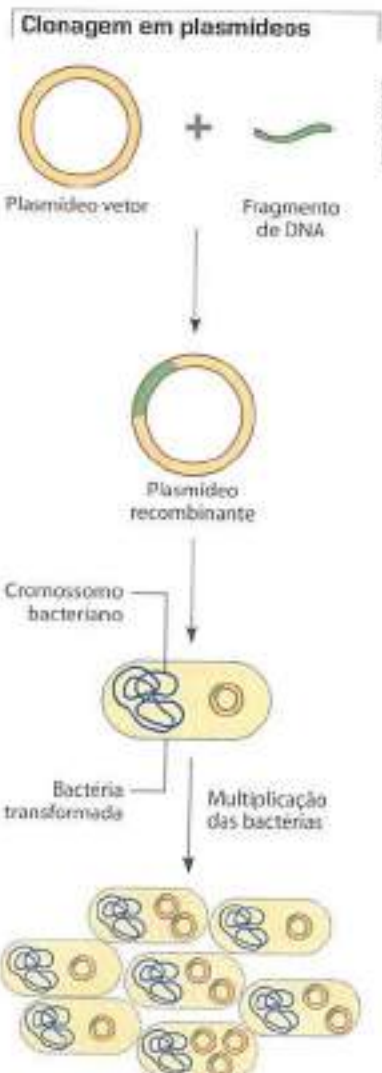
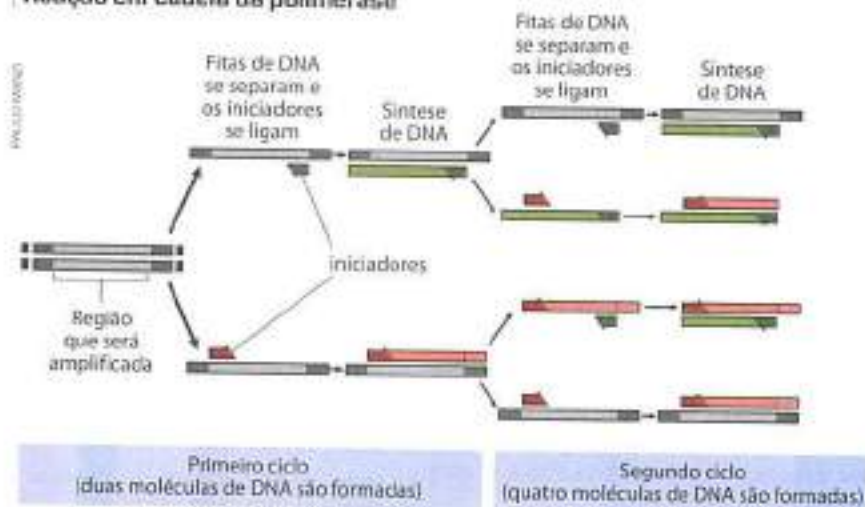
Tradicionalmente, a clonagem molecular utiliza como principal fonte de vetores outra peculiaridade das bactérias – a existência de **plasmídeos**. Trata-se de moléculas de DNA circular que ficam isoladas do DNA cromossômico das bactérias. Esses plasmídeos são substancialmente menores que o DNA cromossômico, por isso são facilmente separados em uma preparação de DNA bacteriano. O tratamento do DNA de interesse e de um plasmídeo com a mesma enzima de restrição pode então permitir a criação de uma molécula recombinante que será reconhecida pela maquinaria celular das bactérias.

No citoplasma de novas bactérias, a molécula recombinante é então multiplicada diversas vezes durante o ciclo de vida da bactéria, que é bastante rápido. Cada bactéria frequentemente possui muitas cópias de cada plasmídeo, que vão se multiplicando e são transmitidos para as células-filhas durante a divisão celular. Assim, há múltiplos clones do DNA de interesse dentro de células de bactérias, das quais podem ser facilmente extraídos e purificados para uso posterior.

Reação de amplificação em cadeia da polimerase

Outra forma de clonagem molecular foi desenvolvida pelo bioquímico estadunidense Kary Mullis em 1983, a **reação de amplificação em cadeia da polimerase (PCR)** – do inglês *Polymerase Chain Reaction*. Essa técnica tornou a clonagem ainda mais rápida e fácil.

Reação em cadeia da polimerase



Representação esquemática do processo de clonagem usando enzimas de restrição e plasmídeos. (Os elementos da imagem não estão em proporção de tamanho entre si; uso de cores-fantasia.)

Fonte: LODISH, H. et al. *Molecular cell biology*, 4. ed. Nova York: W. H. Freeman, 2000.

Representação esquemática do processo de clonagem usando reação em cadeia da polimerase – PCR.

Fonte: ALBERTS, B. et al. *Biologia molecular da célula*, 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

A metodologia de PCR foi desenvolvida empregando alguns princípios similares aos que ocorrem *in vivo* durante a replicação do DNA. Assim, podem ser usadas como molde, por exemplo, preparações de DNA extraídas do organismo de interesse. A delimitação da região de interesse que se deseja clonar (amplificar) é realizada pela escolha de **iniciadores**, pequenas sequências de nucleotídeos (cerca de 20) sintetizadas quimicamente que devem servir de início da amplificação realizada pelas polimerases de DNA. A amplificação então ocorre em progressão exponencial, pois as novas cadeias sintetizadas começam a servir de molde nos ciclos seguintes para a síntese de mais moléculas. Com isso, a PCR possibilita uma forma de clonagem em escala de bilhões de vezes, sem a necessidade de usar células vivas.

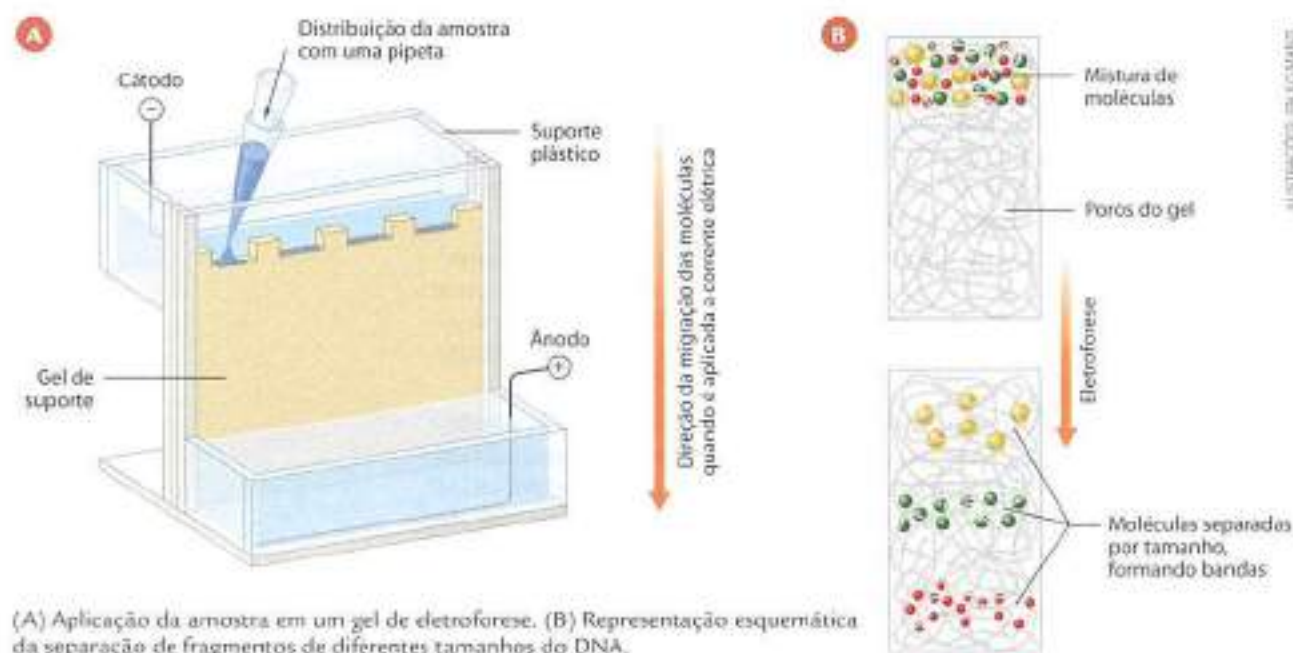
Eletroforese de DNA em gel

Esta metodologia, a **eletroforese**, é aplicada na análise dos resultados das técnicas do DNA recombinante aqui descritas. Simplificadamente a eletroforese de DNA em gel é um método usado para separar cadeias de ácidos nucleicos de tamanhos diferentes. Os princípios básicos do seu funcionamento são: a carga negativa do DNA em condições-padrão; a atração dessas moléculas para o polo positivo durante a aplicação de uma corrente elétrica; e a mobilidade (velocidade) proporcional ao tamanho das moléculas através de um gel.

Assim, a amostra de DNA que se deseja analisar é colocada em um gel, geralmente de agarose, e aplica-se uma corrente durante um período. Fragmentos-padrão de tamanho já conhecido são aplicados em conjunto e comparados com as amostras sendo testadas. A visualização é feita com adição de corantes de ácidos nucleicos, como o brometo de etídio, que se liga às moléculas de DNA e fica evidente quando exposto à luz ultravioleta. As amostras testadas se apresentam em um padrão de bandas distribuídas pelo gel.

Além da análise dos resultados, a técnica permite o uso dos fragmentos de tamanho específico (por exemplo, após o tratamento com enzimas de restrição, ou amplificação por PCR) a partir da extração das bandas esperadas do gel e a purificação do DNA contido nelas.

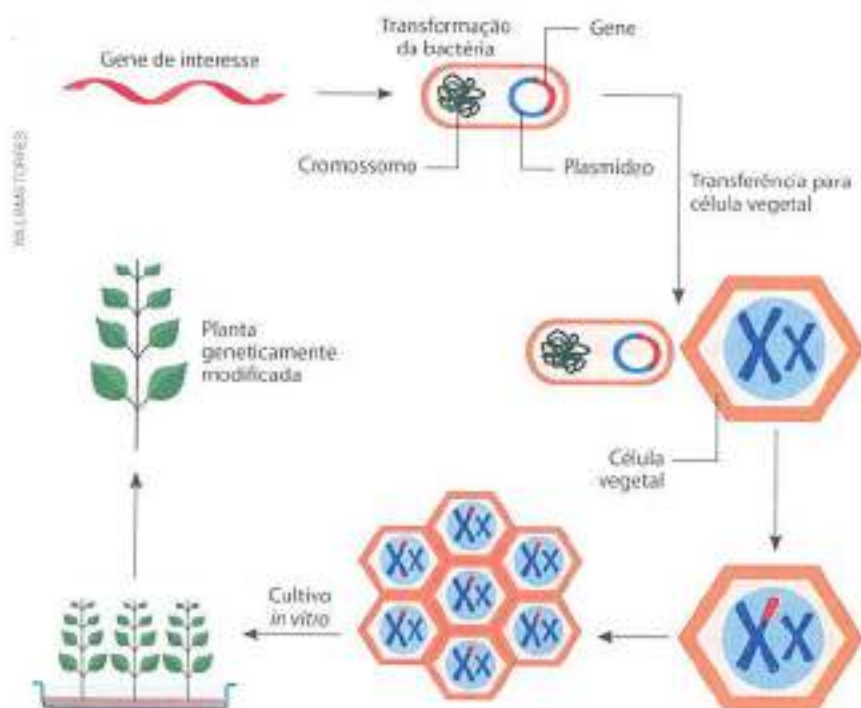
Eletroforese de DNA



Organismos geneticamente modificados

Uma das mais controversas aplicações da tecnologia do DNA recombinante é a possibilidade da criação de organismos geneticamente modificados (OGM).

Produção de planta geneticamente modificada



Esquema simplificado do processo de geração de uma planta geneticamente modificada. A bactéria *Agrobacterium tumefaciens* tem a capacidade natural de infectar tecidos vegetais. Ao manipular seu DNA podemos transferir genes de interesse para plantas. (Os componentes da imagem não estão em proporção de tamanho entre si; uso de cores-fantasia.)

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al. *Biology*. 5. ed. Menlo Park: Benjamin/Cummings, 1959.

Assim, um organismo é classificado como OGM quando o material genético de outro organismo é expresso por sua maquinaria celular. Esse produto, geralmente proteína, pode ter algumas funções distintas:

- **Ser benéfico para o próprio OGM.** Um exemplo simples é a inserção de genes em plantas que promovem resistência a pragas, reduzindo assim a necessidade de pesticidas químicos. Por exemplo, a expressão do gene inserido produz uma toxina que atua sobre as larvas de insetos herbívoros. Outro caso é a obtenção de resistência a herbicidas, de modo que plantas sem interesse comercial, como as ervas daninhas, podem ser eliminadas das áreas de cultivo sem prejuízo para as demais plantas. Em ambos os casos, o aumento da produtividade é o principal objetivo da criação desses OGM.
- **Produzir substâncias de interesse à espécie humana.** Um exemplo já tradicional é a produção de insulina em escala comercial para suprir os tratamentos dos pacientes com diabetes. Bactérias geneticamente modificadas contêm plasmídeos com o gene humano codificador para a insulina.
- **Fornecer novas características ao OGM.** Um exemplo é a combinação, em um único plasmídeo, de diversos genes que possibilitam às bactérias metabolizar todos os componentes do petróleo. Um OGM marinho com essa característica permite minimizar os impactos de vazamentos de petróleo no oceano. Outros exemplos são bactérias que, após serem geneticamente modificadas, apresentam metabolismos eficientes em tratamentos de esgotos e em processos industriais, como a produção de etanol.

Em todos os casos, o fornecimento dessa nova habilidade ou característica pode ser benéfico para o OGM, mas geralmente o objetivo principal é resolver problemas comuns da nossa sociedade. Frequentemente os OGM também são descritos como transgênicos, e o debate em muitos países do mundo com relação à liberação do cultivo de plantas assim designadas tem sido intenso. Em oposição aos benefícios que prometem propiciar, há a falta de estudo e conhecimento sobre todas as consequências da presença deles na natureza. A nova característica poderia fornecer vantagens ao OGM em relação a organismos naturais a ponto de acarretar desequilíbrios ecológicos. E ainda existe o fato de não ser conhecido o efeito desses transgenes e seus produtos no organismo humano quando consumimos alimentos provenientes de OGM.

Principais pesquisas com OGM no Brasil

"Polêmicas à parte, o fato é que o Brasil desenvolve dezenas de pesquisas com plantas transgênicas. [...] [Entre as mais importantes podemos citar:]

Alface – [...] [Com] um gene para resistência a fungo. O gene foi isolado de um cogumelo comestível chamado *Flammulina* [...]. O objetivo é testar as variedades geneticamente modificadas contra a *Sclerotinia*, um fungo que causa a podridão do alface. [...] [Em outro estudo está sendo desenvolvida] uma planta-vacina transgênica para combater a leishmaniose, uma doença infecciosa causada pelo protozoário do gênero *Leishmania*. Essa tecnologia consiste na introdução do gene da proteína Lack (antígeno da leishmaniose) em plantas de alface e tem como objetivo fazer com que as pessoas se tornem imunes à enfermidade com a simples ingestão da hortaliça.

Feijão – [...] [Já existem] plantas transgênicas de feijão para resistência ao vírus do mosaico dourado, considerado o pior inimigo da cultura na América do Sul. [...]

Soja – Além das variedades de soja transgênica para resistência a herbicidas, que já estão desenvolvidas e prontas para serem testadas no campo, [...] [vem sendo testada uma] delas, de aplicação para a saúde humana, para expressar o hormônio do crescimento que, por ser muito caro, é pouco acessível à população. [...] Além do hormônio de crescimento, [...] um gene de um anticorpo, que pode ser eficaz na prevenção de vários tipos de câncer. [...]

Tolerância à seca – A partir de um gene isolado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), estão sendo iniciadas pesquisas para desenvolvimento de plantas de soja tolerantes à seca. O gene está sendo inserido em plantas de soja e, se der certo, será introduzido em outras culturas de importância socioeconômica. [...]"

Fonte: FLORIAN, A. Conheça as principais pesquisas com OGMs no Brasil. *Repórter Terra*. Disponível em: <http://www.terra.com.br/repórterterra/transgenicos/pesquisas_brasil.htm>. Acesso em: 16 jan. 2013.

Impressão digital do DNA

Outra importante aplicação das técnicas de manipulação de DNA é a identificação de indivíduos por "impressão digital do DNA" (tradução do termo em inglês *DNA fingerprinting*). Consiste no uso de fragmentos de DNA, que apresentam tamanhos específicos em todos os indivíduos, sendo muito similares entre membros próximos da mesma família.

Combinações de técnicas diferentes são utilizadas nesse tipo de análise; enzimas de restrição, ou PCR, são usadas em conjunto com eletroforese em gel para separação dos fragmentos. Em relação às aplicações práticas, a impressão digital do DNA pode ser usada para:

- **Verificação de paternidade.** As pessoas herdam as moléculas de DNA dos pais. Dessa forma, a verificação do padrão de tamanho dessas moléculas em uma criança pode identificar os doadores dessa característica, que são seu pai e sua mãe.
- **Identificação criminal.** Todas as células de uma pessoa têm o mesmo material genético. Assim, a análise comparativa dos DNA encontrados em amostras de cabelo, pele, sangue e outros fluidos corporais retirados de cenas de crimes com as amostras obtidas diretamente dos suspeitos pode confirmar a presença deles no local do crime.
- **Identificação pessoal única.** Ainda não é realizada principalmente em virtude do elevado custo necessário para sua implantação, mas teoricamente a tecnologia poderia ser empregada para gerar impressões digitais do DNA que seriam únicas e exclusivas de cada indivíduo do mundo.



Clonagem de organismos multicelulares

Os avanços da Engenharia Genética também levaram no começo dos anos 1990 ao desenvolvimento de uma metodologia revolucionária e controversa de manipulação do material genético conhecida como **clonagem por transferência nuclear**. Essa técnica permite a transferência de todo o conjunto de moléculas de DNA, junto com toda a estrutura nuclear, de uma célula somática qualquer de um indivíduo para o citoplasma de uma célula germinativa (óvulo) sem núcleo de outro indivíduo. Como resultado foi possível obter, após a estimulação do crescimento dessa nova célula que mimetiza um zigoto recém-formado, o desenvolvimento de um novo organismo que apresenta a mesma bagagem genética do organismo doador do núcleo, ou seja, a clonagem de organismos multicelulares.

O primeiro animal gerado dessa maneira foi uma ovelha, a Dolly, que se tornou mundialmente famosa a partir de 1996. Desde então diversos outros mamíferos foram clonados com relativo sucesso. Relativo porque, assim como a própria Dolly, todos ainda apresentam problemas de desenvolvimento, principalmente os relacionados a uma taxa de envelhecimento precoce. A imagem ao lado ilustra alguns passos da clonagem da Dolly.

Apesar de por definição permitir a obtenção de cópias idênticas de organismos multicelulares, o desenvolvimento da clonagem de organismos multicelulares é justificado pela possibilidade de produção em série de animais inteiros ligeiramente modificados para atender a demandas humanas. Entre os exemplos desse objetivo podemos mencionar a obtenção de cabras clonadas que secretam em seu leite fatores de coagulação humana. Essa técnica ainda pode permitir a criação de organismos-modelo clonáveis para o estudo de doenças humanas.

Clonagem da ovelha Dolly



Esquema simplificado do processo de clonagem por transferência nuclear usado para gerar o primeiro clone multicelular da história - a ovelha Dolly. (Os componentes da imagem não estão em proporção de tamanho entre si; uso de cores-fantasia.)

Fonte: POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. *Modern biology*. 2. ed. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 2006.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 11.101 de 18 de fevereiro de 2006.

Atividades Responda em seu caderno

Aplicação

1. Mesmo antes do desenvolvimento das modernas técnicas de Biologia Molecular, nossa espécie já praticava uma forma de Engenharia Genética. Pensando exclusivamente no melhoramento ou criação de novas variedades de plantas e animais, como ocorriam esses processos tradicionalmente?
2. Explique por que o principal conjunto de métodos e técnicas da Engenharia Genética é conhecido como tecnologia do DNA recombinante.
3. Qual o principal ou os principais motivos para a utilização de bactérias no processo de clonagem de fragmentos de DNA?
4. Que detalhe de sequência você imagina ser necessário existir em iniciadores para PCR quando se deseja clonar o fragmento amplificado em um plasmídeo que foi cortado com uma enzima de restrição específica como a *Hind III* (observar imagem da página 73)?

Comunicação

5. Escreva um pequeno texto em que seja traçada uma comparação entre os passos do processo de replicação gênica e a técnica de PCR. Ilustre-o e apresente para a classe.
6. Em dupla, pesquisem sobre a opinião de algum importante formador de opinião pública a respeito dos OGM, impressão digital de DNA ou clonagem de organismos multicelulares. Vocês concordam com a opinião dessa pessoa sobre alguns usos práticos da Engenharia Genética? Expliquem.

As eras genômica e pós-genômica

Como e por que obter a sequência gênica completa de um organismo?

Com o contínuo aprimoramento das técnicas do DNA recombinante, a Biologia Molecular pôde vislumbrar e atingir resultados surpreendentes, de implicações ainda não totalmente compreendidas. A crescente possibilidade de estudar e manipular diversos genes da grande variedade de organismos existente permitiu aos cientistas projetar a realização de ambiciosos objetivos. Entre eles, determinar a sequência completa de nucleotídeos do material genético (DNA) de diversas espécies, inclusive a nossa. Ao conjunto completo de genes e sequências regulatórias que fazem parte do DNA denominamos **genoma**. Estudaremos neste Tema alguns aspectos de importantes conquistas da Biologia Molecular durante o período de desvendamento dos genomas (era genômica) e as perspectivas resultantes desse esforço no período após o desvendamento (era pós-genômica).

Sequenciamento de DNA

O ponto de partida que possibilitou o começo da era genômica foi a automação da metodologia utilizada para identificar a sequência de bases de fragmentos de DNA. Diferentes técnicas de **sequenciamento de DNA** vinham sendo empregadas, mas a desenvolvida por Frederick Sanger, um bioquímico inglês, em 1977, foi aprimorada e usada em sequenciadores automáticos. Esse método é conhecido como sequenciamento dideoxi, em razão de uma modificação química nos nucleotídeos que permite seu funcionamento. Este e os demais requisitos básicos para realização da técnica são apresentados a seguir.

- **Iniciadores.** Pequenas moléculas de DNA sintetizadas artificialmente que delimitam a sequência-alvo a ser identificada, de maneira similar ao que ocorre durante a PCR (mas sem amplificação).
- **Desoxirribonucleotídeos.** Nucleotídeos com cada uma das quatro bases nitrogenadas (A, T, C e G). São utilizadas as mesmas concentrações para cada nucleotídeo.
- **Dideoxirribonucleotídeos fluorescentes.** Nucleotídeos com cada uma das quatro bases nitrogenadas (A, T, C e G), modificados pela ausência de um oxigênio na pentose e marcados com moléculas fluorescentes que apresentam diferentes cores quando são analisados por um detector. São utilizadas as mesmas concentrações para cada nucleotídeo, porém em menor quantidade que os desoxirribonucleotídeos.
- **DNA molde.** Fragmento de DNA que contém a sequência a ser identificada. Podem ser usados plasmídeos (ou outros vetores) e produtos de PCR.
- **Polimerase de DNA.** Enzima que sintetizará a nova cadeia de DNA, adicionando nucleotídeos não modificados e modificados.

Sucintamente, para o sequenciamento ocorrer, novas moléculas de DNA têm de ser sintetizadas com os nucleotídeos modificados que permitem a identificação de cada uma das bases nitrogenadas do fragmento de DNA. Todos os requisitos citados anteriormente são reunidos e, a partir dos iniciadores, a polimerase de DNA começa a acrescentar os nucleotídeos de acordo com o DNA molde. Como estão em maior concentração, a tendência de ocorrer ligação de nucleotídeos não modificados é maior. Contudo, assim que um nucleotídeo modificado é ligado, obtém-se uma molécula de DNA marcada fluorescentemente e em razão da ausência de oxigênio na pentose não é possível ocorrer outras ligações. Essa etapa se repete diversas vezes, de forma que se obtém uma grande quantidade de moléculas de DNA marcadas, idênticas à sequência-alvo, mas com tamanho variando em um nucleotídeo.



Ao final dessa etapa, as moléculas marcadas são então separadas por eletroforese em gel, por exemplo, que permite distinguir fragmentos com diferença de um único nucleotídeo. Como é possível identificar cada nucleotídeo terminal pela cor, um detector reconhece e determina cada uma das bases nitrogenadas contidas nesses nucleotídeos.

■ Projetos genoma

No final dos anos 80, foram lançados diversos esforços ao redor do mundo para sequenciar o genoma de diferentes organismos. A motivação inicial para o desenvolvimento desses projetos foi de origem médica, para determinar a base genética de doenças humanas.

Os primeiros seres a terem seu material genético totalmente desvendado foram os vírus, pois de forma geral apresentam genoma bastante reduzido (a maioria tem menos de 10.000 pares de bases) em relação aos demais organismos. O primeiro genoma de ser vivo sequenciado foi de uma bactéria, *Haemophilus influenzae* (cerca de 1.800.000 pares de bases), em 1995. Poucos anos depois a bactéria *Escherichia coli* (4.600.000 pares de bases) também foi sequenciada, assim como diversos outros procariontes de interesse clínico e científico.

O primeiro genoma de organismo eucarionte desvendado foi o das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (cerca de 12.000.000 pares de bases), em 1996. *Caenorhabditis elegans*, um nematódeo, foi o primeiro animal a ter seu genoma (cerca de 100.000.000 pares de bases) identificado, em 1998. O genoma de *Drosophila melanogaster* (cerca de 137.000.000 pares de bases), obtido em 2000, serviu como piloto para o desenvolvimento do **Projeto Genoma Humano**.

■ Projeto Genoma Humano

Esse projeto teve início em 1990 por iniciativa do governo estadunidense, com colaboração financeira do Reino Unido. O projeto também contou com participação importante de universidades e centros de pesquisa do Japão, França, Alemanha e Espanha.

Prevvia-se que o enorme desafio de obter a sequência de todos os 3.000.000.000 pares de bases do nosso genoma seria finalizado em cerca de 15 anos. Porém, em 2000 um rascunho já havia sido publicado. A sequência completa foi finalizada em 2003, dois anos antes do previsto inicialmente. Confira a seguir um resumo dos principais resultados obtidos inicialmente:

- Apenas cerca de 2% do genoma humano deve codificar proteínas;
- O número de genes que codificam proteínas deve ser apenas cerca de 25.000;
- A maioria dos genes possui éxons que podem ser utilizados em formas alternativas, aumentando o número total de proteínas geradas;
- Existem cerca de 8.000.000 alterações de único nucleotídeo na população.

As aplicações e benefícios potenciais de obter a sequência do genoma humano, e sua comparação com genomas de outras espécies, transcendem o campo da Biologia e Medicina Molecular. Além de ajudar a entender doenças e direcionar tratamentos mais apropriados, permite, por exemplo, avanços na ciência forense e uma compreensão mais ampla da evolução dos seres vivos.

Comparação de tamanho do material genético

Espécie	Cromossomos	Genes	Pares de bases
Ser humano (<i>Homo sapiens</i>)	46	~ 25.000	3,2 bilhões
Camundongo (<i>Mus musculus</i>)	40	~ 25.000	2,6 bilhões
Mosca-das-frutas (<i>Drosophila melanogaster</i>)	8	13.000	137 milhões
Nematódeo (<i>Caenorhabditis elegans</i>)	12	19.000	97 milhões
Bactéria (<i>Escherichia coli</i>)	1	3.200	4,6 milhões

Fonte: Human Genome Project Information. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sci/techresources/Human_Genome/faq/compngen.shtml>. Acesso em: 21 jun. 2013.

Genômica funcional

Apenas a sequência de pares de bases dos genomas não apresenta diretamente muita utilidade, pois longas sequências de A, T, C e G organizadas das mais variadas maneiras não fornecem pistas óbvias a respeito de seus papéis nas células. Esse foi o primeiro desafio da era pós-genômica. Apesar do conhecimento consolidado sobre o código genético e sobre a estrutura gênica, a tarefa de determinar as funções codificadas em nosso DNA está longe de ser trivial.

A determinação dos papéis desempenhados, a definição da estrutura dos genes e principalmente das proteínas expressas por eles é uma atividade que necessita de enorme poder computacional. Dessa forma, a **bioinformática**, que combina biologia com a ciência da computação, tem sido fundamental para os avanços na área.



Pesquisadora analisando resultados de dados genômicos por meio da bioinformática.

Contudo, os resultados obtidos pela bioinformática geram hipóteses biológicas que necessitam de comprovação experimental. Uma das formas de iniciar a validação dessas hipóteses geradas pelos dados genômicos é usando metodologias em larga escala para análise de expressão gênica.

Proteômica

Uma das análises de expressão gênica é a chamada **proteômica**. Consiste na observação das proteínas geradas pelos genes. A técnica necessita de metodologias de separação das proteínas, como eletroforese em gel, e de sequenciamento de proteínas, algo um pouco mais laborioso que o sequenciamento de DNA.

De qualquer forma, a bioinformática se torna necessária novamente para análise dos dados de expressão. Esses resultados precisam ainda ser intensamente estudados antes de se tornarem candidatos a aplicações práticas, como as que veremos a seguir.

Terapia gênica

Um dos objetivos do Projeto Genoma Humano foi promover o aumento do conhecimento sobre o material genético humano e o desenvolvimento das **terapias gênicas**. Por definição, a terapia gênica é uma técnica de tratamento de doenças genéticas na qual um gene é introduzido nas células do paciente de forma a compensar uma disfunção presente em seu genoma.



Um exemplo já clássico desse tipo de procedimento foi desenvolvido para aprimorar o tratamento da **fibrose cística**. Essa enfermidade é causada por uma mutação no gene conhecido como *CFTR*, que em condições normais codifica uma proteína envolvida no trânsito de íons nas células do sistema respiratório. A mutação que leva à doença gera uma proteína que não consegue desempenhar esse papel, provocando então os sintomas da doença, que incluem a formação excessiva de muco bastante pegajoso, que dificulta a respiração. O tratamento tradicional era bastante precário. As pesquisas em fibrose cística avançaram principalmente em 1989, com a identificação do gene *CFTR*. Vamos observar na ilustração um esquema de como ocorre a terapia gênica para fibrose cística.

Terapia gênica da fibrose cística



Esquema simplificado da terapia gênica para fibrose cística. (Os elementos da imagem não estão em proporção de tamanho entre si; uso de cores-fantasia.)

Fonte: POSTLETHWIT, J.H.; HOPSON, J.L. *Molecular biology*, 2. ed. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 2006.

Com a obtenção da sequência completa de nosso genoma e do uso das técnicas de genômica funcional, os pesquisadores adquiriram mais conhecimentos e ferramentas que poderão ser aplicados no desenvolvimento de terapias gênicas para outras doenças, como aids, hemofilia e alguns tipos de câncer.

Bioética

Com os avanços na Biologia Molecular, surgiu a necessidade de discutir cada vez mais as consequências biológicas, sociais e éticas das novas descobertas, tanto para nós mesmos quanto para o mundo que nos cerca. A bioética trata dessas questões. O termo foi criado por um médico oncologista estadunidense, Van Rensselaer Potter, em 1970. Desde então, mas principalmente agora, as principais preocupações da bioética são: abusos no uso de cobaias (animais e seres humanos) em experimentos; consequências do surgimento acelerado de novas técnicas de manipulação de moléculas, células, tecidos, órgãos e organismos completos; uso de informações biológicas pessoais para fins discriminatórios; e os impactos das descobertas biológicas na ecologia global.

A obtenção da sequência do genoma da nossa espécie é um ponto de muita atenção para a bioética, assim como a manipulação de **células-tronco**. A análise particular de genomas pode tanto trazer benefícios – como a possibilidade de criação de tratamentos específicos para cada paciente – quanto ser usada para discriminar indivíduos nos quais propensões a doenças graves sejam detectadas. Já o uso das células com potencial para originar tecidos e órgãos para fins medicinais levanta questionamentos éticos em sua forma de obtenção, que apresenta melhores resultados quando obtidas de embriões humanos recém-formados. Outro importante ponto de discussão são os OGM e as consequências ainda pouco avaliadas de seu uso na produção de alimentos.

De qualquer forma, quanto mais avanços na Biologia Molecular, maior serão as discussões sobre os aspectos bioéticos da Ciência.

**Um genoma por 1.000 dólares**

"[...] Em 2007, o médico americano Jeffrey Gulcher não tinha muitos motivos para se preocupar com a saúde. Embora sedentário e um pouco acima do peso, sentia-se bem aos 48 anos. Naquele ano, a empresa que ajudou a fundar, a *Decode Genetics*, havia lançado um serviço de análise de DNA. A amostragem era minúscula – menos de 0,1% do seu genoma –, mas o resultado seria suficiente para descobrir um risco maior de desenvolver determinadas doenças. Gulcher resolveu se submeter ao teste e descobriu que tinha duas vezes mais chance de ter câncer de próstata do que a média da população. Procurou um urologista e, após uma biópsia, descobriu que tinha um tumor agressivo na próstata. Graças ao diagnóstico precoce, seu tratamento foi bem-sucedido.

O primeiro sequenciamento completo de DNA humano custou um investimento de um bilhão de dólares. Hoje, o processo sai por cerca de 5.000 dólares nos Estados Unidos. Em questão de dois anos [a partir de 2010], [...] por 1.000 dólares ou menos qualquer pessoa terá um mapa detalhado com a predisposição genética para uma série de doenças e características. Os dados também poderão revelar se o paciente tem resistência a determinado tipo de droga e qual dose de medicamento seria mais eficiente para combater vírus, câncer e outras ameaças à saúde. 'O sequenciamento de DNA será um processo rotineiro no futuro, como o raio X e a ressonância magnética.' Em 2013, [estima-se que] 30.000 pessoas terão seu mapa genômico particular. Em 2014, um milhão.

[...] O mapeamento do genoma pode ficar mais barato, mas a maior parte dos centros de sequenciamento genético ainda está restrita aos Estados Unidos e à Europa, onde há mais investimento em pesquisa científica. Além disso, a indústria farmacêutica não vai cobrar barato por eventuais remédios personalizados que surjam a partir de análises genéticas.

A geneticista brasileira Mayana Zatz lembra também que a análise do genoma é tarefa bastante complexa. 'É possível relacionar algumas doenças com alguns genes, mas ainda estamos longe de entender o processo completamente', diz. [...]"

Fonte: PIRES, M. T. Mapear genoma será tão rotineiro quanto exame de raio X. *Veja On-line*. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/seu-genoma-por-1-000-dolares>>. Acesso em: 18 jan. 2013.

**Atividades****Responda em seu caderno****Aplicação**

1. Observe novamente o título deste Tema e procure explicar os termos *era genômica* e *pós-genômica* dentro do contexto em que foram estudados.
2. Relacione a terapia gênica estudada nesse Tema à criação de OGM vista no Tema 3. Quais são as principais semelhanças e diferenças?

Comunicação

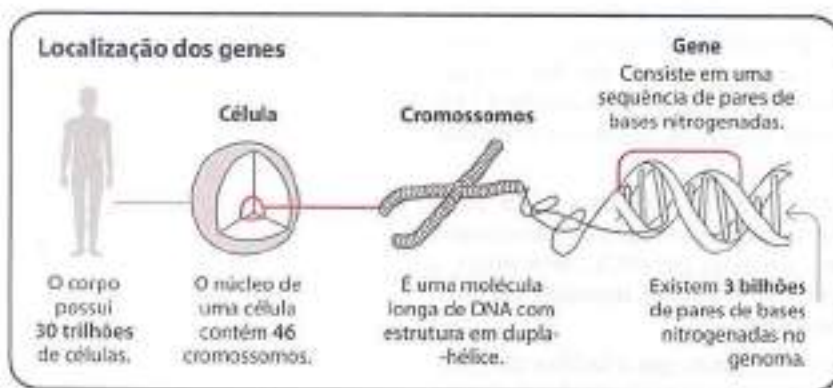
3. Em grupo, escolham um gene hipotético causador de uma doença também hipotética. Imaginem que a sequência desse gene não seja totalmente conhecida, apenas as suas extremidades. Monte um cartaz explicando os passos para estudar esse gene até que os conhecimentos possam ser aplicados em uma metodologia de terapia gênica.
4. Discuta com o restante da classe suas respostas para os seguintes questionamentos: Você pagaria alguma quantia para ter seu genoma sequenciado? Qual sua opinião sobre a busca por predisposição a doenças genéticas? Apenas benefícios surgem com o conhecimento de tais predisposições? Essa prática deveria ser implantada como rotina ou se tornar obrigatória em nosso país?



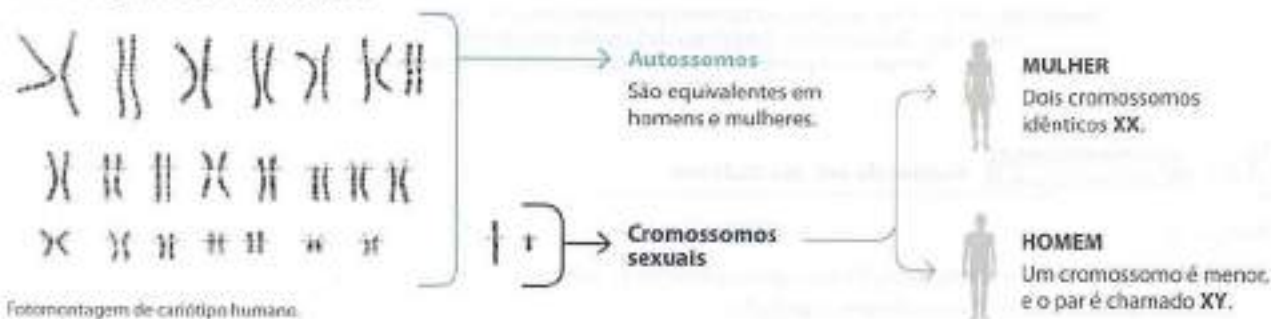
Genoma humano

O material genético contém as instruções que determinam o desenvolvimento de um organismo. Portanto, é conhecido como "o livro da vida".

Entre os anos de 1990 e 2003, havia dois projetos para decodificar o material genético humano. Um esboço inicial do genoma foi publicado em 2000. Então, cientistas da Alemanha, China, Estados Unidos, França, Japão e Reino Unido conseguiram decifrá-lo quase completamente. O conhecimento do genoma humano é um passo crucial para encontrar a cura para cerca de 4.000 doenças hereditárias.



Como os genes são transmitidos



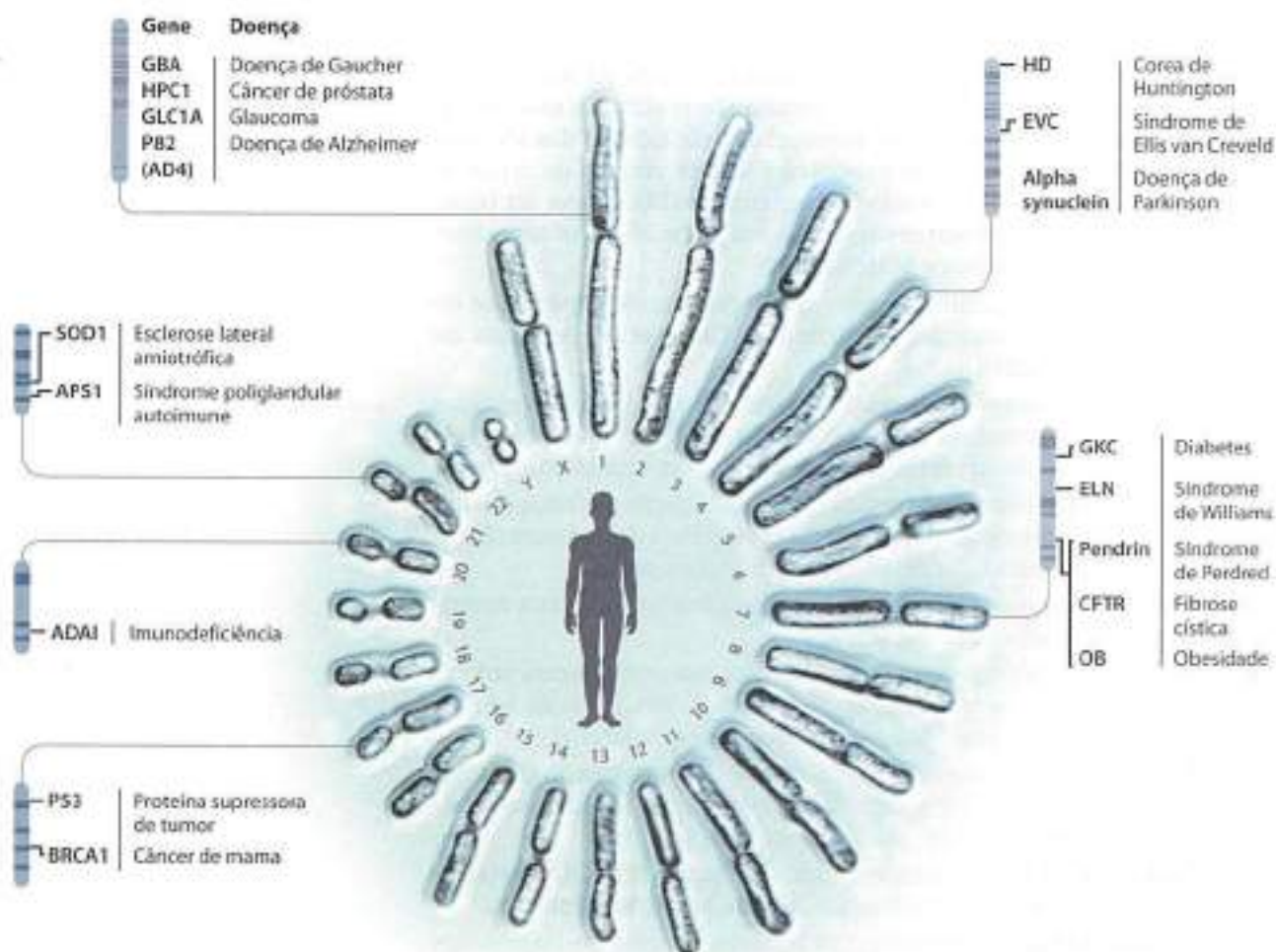
Algumas das características genéticas são determinadas pela interação de um par de **alelos**.

Uma pessoa com um alelo recessivo para determinada doença genética pode transmiti-la aos seus descendentes.



O mapa dos genes

Após o sequenciamento completo do genoma humano, foi possível localizar os genes presentes em cada cromossomo. Cientistas acreditam que um simples erro em uma sequência gênica predispõe pessoas a doenças. Existem mais de 1.400 genes que podem causar doenças hereditárias quando apresentam alterações. A seguir estão apenas alguns exemplos.



Remédios sob medida

As informações do genoma humano podem ser usadas no desenvolvimento de drogas direcionadas às peculiaridades de cada paciente. Antes de produzir esse tipo de droga, o efeito na pessoa doente é estudado para definir quem pode e quem não pode ser beneficiado com seu uso.

- 1 A droga é administrada a um grupo de pacientes.



- 2 A informação genética de cada paciente é estudada na busca por semelhanças.



■ Discuta com seus colegas:

1. Qual impacto as descobertas do genoma humano têm nas nossas vidas?
2. Com o mapeamento dos genes de cada pessoa será possível traçar um perfil genético. Discuta os usos desse conhecimento.
3. Se soubermos que uma pessoa tem o gene relacionado com alguma doença, podemos afirmar que essa pessoa irá desenvolver a doença?

CREDITO DO IMAGINÁRIO: SCIENTIUM

O perito criminal é um profissional contratado pelo poder público, a serviço da justiça. Ele tem a responsabilidade de realizar a análise crítica e científica dos locais onde ocorreram crimes, localizando e estudando as provas técnicas e vestígios do delito. Além da tentativa de reconstituição da cena do crime, neste estudo são realizados exames laboratoriais específicos para tornar possível a identificação dos autores, armas utilizadas, modo como se procedeu e até as vítimas do crime. O profissional de perícia, selecionado por concurso público, deve ter curso superior em Ciências Biológicas ou, então, em Farmácia, Química, Biomedicina, Engenharia, Física e Matemática.

Para ser um perito criminal, é necessário ter grande capacidade de observação e de concentração, raciocínio rápido e ética. Algumas de suas principais atividades são:

- **Acidentes de trânsito** – observação, coleta e/ou análise de vestígios encontrados no pavimento, das posições finais adquiridas pelos veículos e das avarias decorrentes do acidente em estruturas ou pessoas.
- **Balistica forense** – estudo de armas de fogo, munição e efeitos de disparos por elas produzidos, para esclarecer detalhes de sua ocorrência sempre que estiverem relacionadas com infrações penais.
- **Documentoscopia** – análise de documentos para verificar sua autenticidade ou determinar sua autoria.
- **Toxicologia e química forense** – identificação de substâncias utilizadas em crimes (por exemplo, envenenamentos) e avaliação de adulterações em produtos e processos que estejam fora da lei.
- **Genética forense** – uso dos conhecimentos e das técnicas de Genética e de Biologia Molecular para identificação ou individualização de seres humanos, outros animais, plantas e microrganismos.
- **Crimes ambientais** – exames em locais de supressão de vegetação, alteração de cursos de corpos d'água, destruição de nascentes etc.
- **Papiloscopia forense** – identificação humana através de impressões digitais, palmares e plantares, com o uso de métodos técnico-científicos.



Perito criminal observando, coletando e analisando evidências em uma cena de crime.

Perícia criminal e cultura

“Quem tem TV paga em casa com certeza já tropeçou nas séries da família CSI, de ‘Crime Scene Investigation’, nome dado a departamentos de polícia técnica nos EUA. E dificilmente deixou de ser fisgado pela mescla inverossímil de compromisso categórico com as vítimas e eficiência tecnocientífica que move os CSIs (investigadores) de Las Vegas, Miami e Nova York. A audiência é tanta que os CSIs de carne e osso começam a se perguntar se o tiro da celebridade não está saindo pela culatra. [...]”

A preocupação com expectativas desmesuradas do público é tamanha que cientistas forenses americanos organizaram uma mesa-redonda na reunião anual da [...] associação que faz o meio-de-campo entre esfera pública e comunidade científica. [...]

Os especialistas se queixaram do irrealismo galopante das séries, em que testes toxicológicos e de DNA são feitos em minutos. Na vida real, demoram dias, semanas. No Brasil, meses – quando são feitos.

Já há relatos, entre policiais e promotores americanos, de vítimas e parentes insatisfeitos com a defasagem entre o que veem na TV e a performance real dos CSIs. Os jurados também estariam exigentes demais e propensos a desqualificar as perícias apresentadas nos tribunais, por sua escassa quantidade ou baixa tecnologia. Nos estúdios de televisão, afinal, não há restrições orçamentárias para comprar máquinas de última geração. Nem uma fila de 200 mil a 300 mil testes de DNA por finalizar.

Não se deve subestimar a falta de bom senso das pessoas do público, decerto, mas não se trata de um equívoco seu. Elas estão somente se entusiasmando com o que a atividade policial poderia ser e não é. Quando a TV mostrar coisas impossíveis de realizar, por razões científicas e não burocráticas, a saída é denunciar o engodo cultural – mas no universo CSI os exageros cabem melhor na categoria de licença televisiva aceitável do que na de fraude científica, cabe avisar. [...]

Fonte: LEITE, M. Efeito CSI. Folha de S. Paulo. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/sp2702200503.htm>. Acesso em: 20 jun. 2013.

Renato Chaves

Precursor da perícia no estado do Pará, Renato Chaves da Silva e Souza foi um médico de grande influência na área de serviços de perícia nas décadas de 1920 e 1930.

Nasceu em Santarém, PA, em 3 de janeiro de 1890). Formou-se em medicina em 1912 no Rio de Janeiro e foi professor de anatomia em Belém, PA. Em 1924, foi nomeado diretor dos Serviços Médico Legal do Pará. Faleceu em 13 de dezembro de 1929, aos 39 anos por problemas cardíacos.

Lutou pela regulamentação da perícia científica, propondo a implantação de cursos regulares de perícias científicas. Humanista, se preocupou em prestar primeiros socorros e transporte de paciente em ambulâncias; e se aprofundava na história para citar exemplos de perícia.

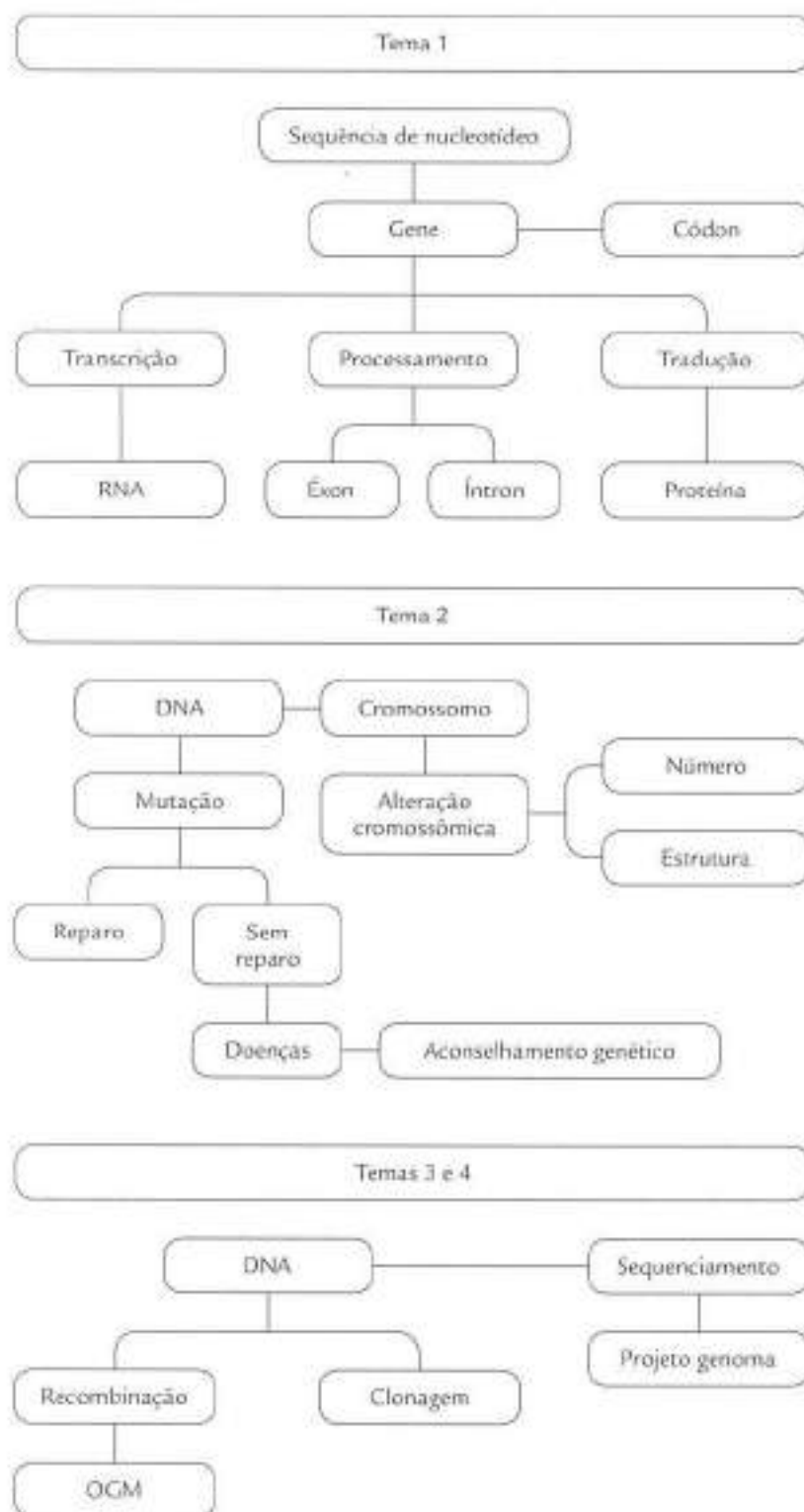
O Centro de Perícias Renato Chaves, criado em sua homenagem em 1971, inclui o Instituto de Criminalística e o Instituto Médico Legal (IML) do Pará. Destaca-se nas áreas de documentoscopia forense, exames veiculares, laboratório físico-químico-biológico, estudos de DNA, laboratório de toxicologia forense, entre outros.



Compreensão da informação Responda em seu caderno

Organize suas ideias

- 1 Copie os mapas de conceito abaixo em seu caderno. A seguir, complete-os com expressões de conexão em cada um dos fios que ligam os diferentes conceitos.



Identifique

- 2 Observe a sequência de DNA dupla fita a seguir e faça o que se pede.

```

ATG AGT CAA TTT AAG CAT TGA AGT
||| ||| ||| ||| ||| ||| ||| |||
TAG TCA GTT AAA TTC GTA ACT TCA

```

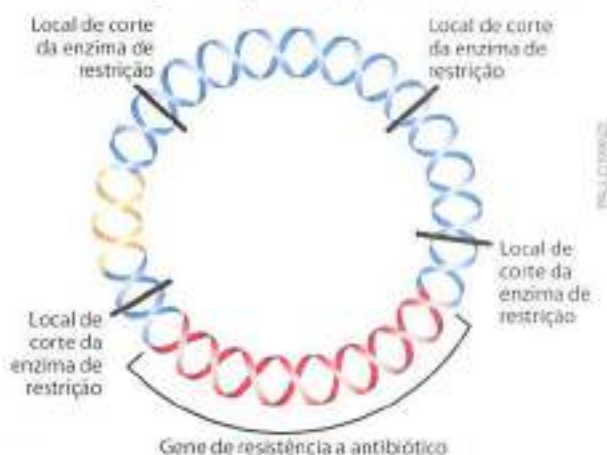
- a) Determine a sequência de uma molécula de RNA_m que seria transcrita a partir da sequência de DNA.
 b) Determine também a sequência de aminoácidos que a sequência de RNA_m codificará.
- 3 Em qual das alternativas abaixo a sequência na produção de uma proteína está correta?
- a) Transcrição, remoção de introns e remoção de éxons.
 b) Tradução, remoção de éxons e produção de RNA_t.
 c) Tradução, remoção de introns e produção de RNA_m.
 d) Transcrição, remoção de introns e tradução.

Aplique

- 4 O que aconteceria se no processo de tradução o ribossomo pulasse um ou mais códons completos? E o que aconteceria se ele pulasse apenas um nucleotídeo? O que seria mais drástico? Explique sua resposta.
- 5 Escreva um pequeno texto sobre a seguinte afirmação: "Genes controlam a respiração celular".
- 6 O código genético é essencialmente universal. Quais são as implicações para as pesquisas em Biologia Molecular e para a medicina? Qual é o significado dessa observação na compreensão da origem da vida na Terra?
- 7 Explique como uma mutação de mudança na fase de leitura poderia compensar outra.
- 8 Como uma abordagem de terapia gênica poderia causar outro defeito genético? Se achar necessário, faça uma pesquisa.
- 9 Quem seria um melhor candidato à terapia gênica: pessoas com translocações cromossômicas ou pessoas com mutações pontuais? Explique.
- 10 Se uma bactéria *E. coli* sintetiza DNA a uma taxa de 100.000 nucleotídeos por minuto e a replicação do seu DNA demora 30 minutos para ser concluída, quantos pares de base existem no cromossomo circular desse organismo?
- 11 Durante a década de 1940 os pesquisadores americanos George Beadle e Edward Tatum realizaram uma série de experimentos que permitiram a formulação da hipótese que ficou conhecida como "um gene – uma enzima". Em 1958 receberam o prêmio Nobel pela grande contribuição para a Ciência. Contudo, avanços na área indicam que a hipótese deve ser modificada. Por quê?

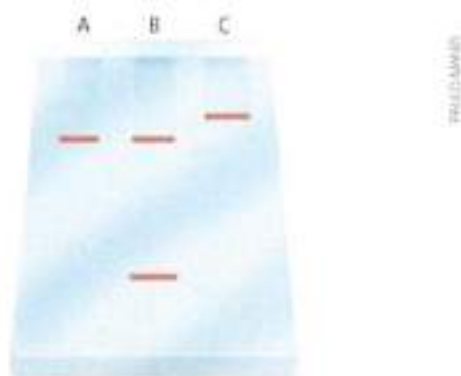
- 12 Se os aminoácidos fossem codificados por quatro bases em vez de três, quantos códons distintos poderiam ser formados?
- 13 Se um fragmento de DNA tem 27% de adenina, quanto será a proporção de citosina? Qual seria sua resposta se fosse um fragmento de RNA?
- 14 Imagine que uma bactéria se encontra em uma situação de elevado estresse ambiental. Seria benéfico para essa bactéria controlar a eficiência dos próprios mecanismos de correção de erros na duplicação do DNA para aumentar a taxa de mutações incorporadas? Justifique sua resposta.

Observe a imagem a seguir e responda à questão 15.



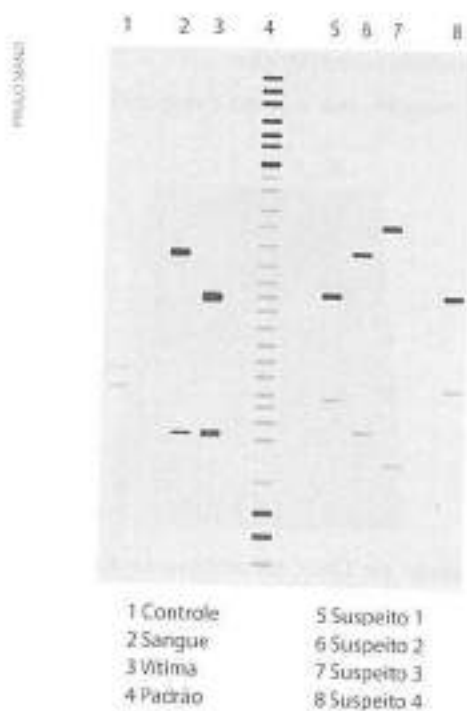
- 15 Qual é o papel da molécula acima na clonagem de DNA?
- a) Transportar o DNA de interesse para dentro da célula hospedeira.
 b) Identificar a fonte do DNA de interesse.
 c) Identificar a célula hospedeira.
 d) Deixar o DNA de interesse susceptível à digestão por enzimas de restrição.

Observe a imagem, leia o texto e responda às questões 16 a 18.



Uma molécula de DNA recombinante foi criada pela união de um plasmídeo e um fragmento de DNA de interesse. Uma análise por eletroforese em gel foi realizada para verificar que o plasmídeo e o DNA foram ligados. As amostras foram colocadas nos poços A, B e C.

- 16 Em qual poço foi colocada a amostra contendo o DNA recombinante? Justifique.
- 17 Em qual poço foi colocada a amostra contendo o plasmídeo? Justifique.
- 18 Em qual poço foi colocada a amostra com DNA recombinante após a ação de uma enzima de restrição? Justifique.
- 19 Indivíduos que são heterozigotos para anemia falciforme devem evitar condições que possam reduzir drasticamente a quantidade de gás oxigênio disponível no corpo, como por exemplo a prática de atividades físicas em elevadas altitudes. Por quê?
- 20 Um jovem de 20 anos com fibrose cística tem uma irmã que vai se casar. Se você fosse esse rapaz, como explicaria para sua irmã quais são as chances de ela ter um filho com fibrose cística? Faça uma pesquisa sobre a fibrose cística e o conceito de prevalência para complementar sua explicação.
- 21 No passado agricultores e criadores desenvolviam novas variedades de plantas e de animais por meio da seleção de indivíduos com as características desejadas e cruzamento entre eles. Cite uma vantagem e uma desvantagem da Engenharia Genética em relação a esse método.
- 22 A imagem a seguir apresenta um gel de análise de impressão digital de DNA com 8 amostras distintas para a investigação de um homicídio. Entre elas temos amostras de sangue: encontrado na cena do crime, da vítima do crime e de quatro suspeitos. Analise a imagem e responda se é possível afirmar que a amostra de sangue encontrada pertence à vítima ou a algum dos suspeitos.

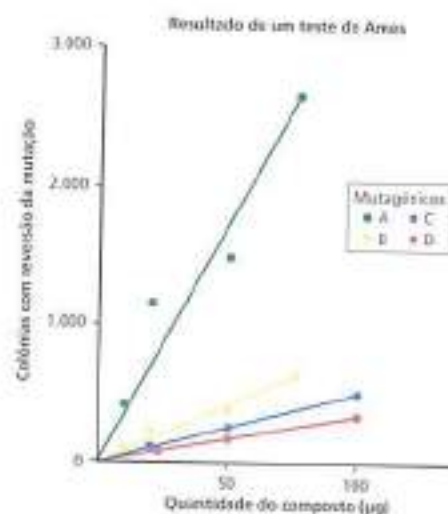


Interpretação e análise

Responda em seu caderno

Aprofunde

O teste de Ames é usado para identificar compostos mutagênicos. O teste usa uma linhagem de bactéria que não consegue sintetizar o aminoácido histidina. As bactérias são expostas ao composto que se deseja verificar e são cultivadas em um meio sem histidina. As bactérias que conseguem crescer adquirem o que chamamos de reversão, uma mutação que permite que se retorne a condição natural das bactérias, de produzir histidina sem problemas. Observe o gráfico a seguir e responda às questões 23 e 24.



- 23 Qual dos compostos testados no experimento representado no gráfico acima é o mais mutagênico? Justifique.
- 24 Descreva a relação entre a quantidade do composto sendo testado e a mutação.

Pensamento crítico

Responda em seu caderno

Transgênicos na alimentação humana

"A tecnologia de inserir um gene de um ser vivo em outro, a transgenia, já está no mercado há exatos 28 anos [em 2010]. [...] De lá para cá, os transgênicos começaram a fazer parte da vida diária da população [...]. Foi, no entanto, na última década que a presença dos alimentos geneticamente modificados na mesa das pessoas decolou. Em 2000, havia 13 países plantando sementes transgênicas em todo mundo em uma área de 40 milhões de hectares. Em 2009, este número havia saltado para 25 países em uma área de 134 milhões de hectares basicamente de soja, milho, algodão e canola segundo dados do Serviço Internacional para Aquisição de Aplicações em Agrobiotecnologia (ISAAA).

POF/MACIO JOSE FERREIRA

Reprodução proibida. Art. 171 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 2000.

[...] Os números poderiam ser maiores ainda segundo Ingo Potrykus do projeto *Golden Rice Humanitarian*, organização sem fins lucrativos, que juntamente com Peter Beyer foi um dos criadores do arroz dourado. Esta variedade transgênica do grão produz o nutriente betacaroteno, essencial para a visão e que não está presente no arroz convencional.

Segundo Potrykus, as sementes geneticamente modificadas podem salvar milhões de vidas humanas se puderem se livrar do excesso de rigor na regulamentação. 'A discriminação não é justificada cientificamente' [...]. E continua: 'A regulamentação existente demanda anos e anos de testes moleculares e bioquímicos de segurança embora diversas agências internacionais tenham verificado que as sementes geneticamente modificadas são benignas. Não houve casos substanciais de dano ao ambiente nem à saúde humana mesmo nos Estados Unidos, local em que a adoção desta tecnologia é muito grande. Enquanto isso uma planta criada pelo sistema tradicional, que também tem seu genoma modificado, não precisa de nenhum dado de segurança apenas necessita

demonstrar que funciona tão bem quanto as outras existentes no mercado' [...]'.

Fonte: GRECO, A. Transgênicos se consolidam na alimentação humana. *IG - Último Segundo*, Dez. 2010. Disponível em: <<http://ultimossegundo.ig.com.br/retrospectiva2000a2010/transgenicos+se+consolidam+na+alimentacao+humana/n1237899355637.html>>. Acesso em: 5 mar. 2013.

- 25** Qual foi a porcentagem de aumento na plantação de alimentos transgênicos de 2000 a 2009?
- 26** Qual é a importância do arroz dourado para o bem-estar das sociedades humanas?
- 27** Em qual observação científica se baseia Potrykus para defender mudanças radicais nas políticas de liberação de organismos geneticamente modificados?
- 28** Em 1982 foi lançada comercialmente a insulina humana produzida por microrganismos. Foi a primeira utilização para benefício do ser humano da tecnologia que permite transgenia. Compare a relevância dessa conquista com o lançamento de soja transgênica resistente a agrotóxico, com base na relação entre risco e benefício de sua disponibilização para a sociedade.

Conexões Responda em seu caderno

"Para que clonar humanos?"

Pois bem, se a clonagem é possível em diversas espécies e está chegando tão perto do homem, eu pergunto: Para que clonar humanos? As razões apresentadas até hoje são as mais variadas. Algumas delas – por exemplo, 'Para produzir doadores de órgãos' ou 'Para produzir exércitos de indivíduos superiores' – são bizarras e remissivas do nazismo e da sociedade descrita no clássico *Admirável Mundo Novo*, de Aldous Huxley.

Teoricamente, se por um acidente ou doença você viesse a necessitar de um transplante de algum órgão, um clone seu seria de fato o melhor doador – os órgãos do clone seriam perfeitamente imunocompatíveis com você, uma vez que esse indivíduo seria uma cópia genética sua. Mas seria moral e eticamente aceitável gerar um ser humano com o intuito de ser repositório de órgãos-estepe?

Quando um desses órgãos fosse necessário, estaríamos preparados para retirá-lo do clone em detrimento de sua vida? Essa proposta é consensualmente inaceitável."

Fonte: PEREIRA, L. V. *Clonagem: da ovelha Dolly às células-tronco*. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2005.

1. Qual sua opinião sobre clonagem reprodutiva em seres humanos?
2. Discuta com seus colegas as diferenças entre clonagem reprodutiva e terapêutica.
3. Qual a importância de discutir ética e moral em assuntos como clonagem e manipulação genética?
4. Se um clone humano fosse formado, ele seria idêntico ao indivíduo original? Explique como você chegou a essa conclusão.

Valores e atitudes Responda em seu caderno

O Brasil já é o segundo país no mundo em área plantada com culturas transgênicas, principalmente de soja, algodão e milho. A regulamentação ocorreu em 2005 pela Lei de Biossegurança, e a quantidade de hectares em 2009 já estava em cerca de 21 milhões, ficando atrás apenas dos EUA com 64 milhões. Esse enorme crescimento só foi possível porque nossa lei permite a plantação e comercialização de organismos geneticamente modificados mesmo antes de qualquer estudo de impacto ambiental ou de riscos para a saúde.

1. Você já observou em rótulos de produtos a menção sobre organismos geneticamente modificados? Quais? Você os consome ou consumiria? Justifique.
2. O que você acha sobre a nossa Lei de Biossegurança? Como ela afeta o ambiente e a saúde da população brasileira?
3. Qual benefício um alimento transgênico deveria oferecer à população para que fosse inteiramente justificável seu lançamento no mercado sem testes rigorosos sobre seu impacto na saúde e meio ambiente? Proponha essa característica e justifique sua escolha.

Revise o problema proposto na abertura da Unidade

Compartilhamos com nossos parentes parte do nosso material genético. Esse material genético, nosso DNA, pode sofrer alterações durante nossa vida, em consequência do próprio envelhecimento, que causa problemas no processo de replicação, de reparo de erros e na meiose das células germinativas. Exposições a situações e substâncias mutagênicas também podem causar alterações e quando ocorrem nas células germinativas podem passar para nossos descendentes.

Algumas doenças hereditárias são recessivas, de modo que só se expressam quando em homozigose. E assim indivíduos heterozigotos podem nem saber que apresentam o fator genético para tal doença.

Esses indivíduos podem recorrer ao aconselhamento genético. Exames de cariótipo e detecção de mutações e/ou alterações no DNA já conhecidas podem esclarecer dúvidas durante o planejamento familiar. Os futuros pais são informados, podendo então avaliar os riscos de desenvolvimento de doenças genéticas e conhecer as opções de tratamento, caso elas existam.

- Em sua região, existem serviços de aconselhamento genético? Eles são coordenados pelo governo? São gratuitos?

FIQUE POR DENTRO

Internet

Centro de Estudos do Genoma Humano

<<http://genoma.ib.usp.br>>

Apresenta informações sobre as pesquisas científicas e projetos realizados e em realização no Centro de Estudos do Genoma Humano. As informações contidas na página são de fácil compreensão e tratam de temas atuais da Biologia Molecular. Há também materiais para uso didático e informações sobre os serviços prestados, como testes de paternidade, detecção de microssatélites e sequenciamento.

Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular

<<http://www.sbbq.org.br>>

A sociedade realiza cursos e reuniões na área, e seu endereço na internet pode ser utilizado como fonte de informações sobre o tema.

Ministério da agricultura – organismos geneticamente modificados

<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/organismos-geneticamente-modificados>>

Apresenta diversas informações sobre organismos geneticamente modificados, legislação, listas de plantas e animais autorizados, notícias recentes, entre outras.

Programa Educacional em Biologia Molecular

<<http://www.virtual.epm.br/cursos/biomol/biomol.htm>>

Página da Unifesp, com informações, ilustrações e testes sobre os diversos assuntos abordados pela Biologia Molecular.

Acessos em: 23 jan. 2013.

Filme

Gattaca. 1997. Andrew Niccol. Estados Unidos.

O filme retrata um futuro em que os seres humanos são criados geneticamente em laboratório, e as pessoas concebidas biologicamente são consideradas inválidas.

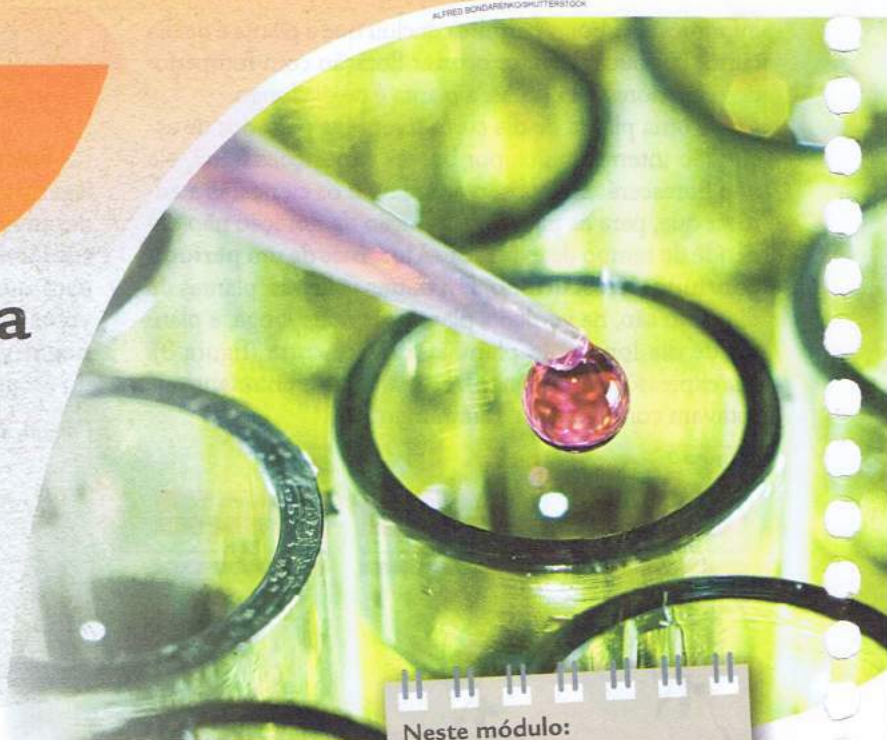
Livro

Sequenciaram o genoma humano... e agora? Lygia da Veiga Pereira. Moderna. 2. ed., 2005.

Este livro esclarece o que é o genoma humano e o impacto das novas descobertas para a humanidade. Também discute os perigos éticos e sociais desse novo conhecimento.

ANEXO 6

Biotecnologia



1 O QUE É BIOTECNOLOGIA?

Biotecnologia é o conjunto de conhecimentos e técnicas que permite o emprego de material genético, enzimas isoladas, células vivas, culturas de tecidos ou organismos vivos para a obtenção e/ou modificação de produtos e para a solução de muitos problemas.

De todos os processos biotecnológicos, o mais conhecido e usado é a **fermentação**, empregada na produção de álcool combustível, de antibióticos, de solventes orgânicos. Participa, ainda, do tratamento do esgoto e da geração de biogás.

Portanto, a biotecnologia tradicional é movida pela **fermentação** e depende da atuação de **enzimas**, isoladas ou *in vivo* (ou seja, empregadas por organismos vivos). Já a moderna biotecnologia tem como material de trabalho o próprio **material genético**, que é, com exceção do existente em alguns vírus, o ácido desoxirribonucleico (**DNA**).

Neste módulo:

- As tecnologias de DNA recombinante e PCR, usadas em engenharia genética.
- Vantagens e riscos do uso dos OGMs na agricultura.
- A produção de vacinas por processos biotecnológicos.
- Princípios e aplicações da terapia gênica e a possibilidade de detectar anormalidades cromossômicas antes do nascimento.
- O uso do DNA na identificação de pessoas e o mapeamento da sequência genética humana.
- As técnicas de clonagem, o estudo das células-tronco e a produção de anticorpos monoclonais.

2 ENGENHARIA GENÉTICA

Existem organismos muito fáceis de cultivar, como as bactérias. Se implantarmos fragmentos de DNA em seus cromossomos, elas passarão a sintetizar, junto a suas proteínas, as que forem determinadas por esses fragmentos.

Muitas doenças humanas resultam da deficiência de certas proteínas. Uma delas é o diabetes melito, em que há deficiência da insulina, que contém 51 aminoácidos. O gene que determina a produção de insulina pode ser incorporado no material genético de algumas bactérias, que passam a produzi-la. É possível, então, a obtenção da insulina do meio de cultura. Por ser insulina humana, embora fabricada por uma bactéria, é mais eficiente e segura que a insulina de porco, habitualmente empregada no tratamento dos diabéticos.

No caso dos hemofílicos, essas pessoas não produzem adequadamente o fator VIII, proteína importante para a coagulação do sangue. Sintetizado por bactérias, esse fator evita que os hemofílicos tenham de receber derivados do sangue, permanente ameaça de infecção pelo HIV, vírus causador da aids, e pelo vírus das hepatites B e C.

Desde 1973, quando pela primeira vez foram realizadas com sucesso, as aplicações da manipulação gênica têm-se estendido para diversas áreas, como a medicina, a agricultura e a pecuária. Esse procedimento baseia-se na obtenção de moléculas híbridas de DNA, resultantes da fusão de trechos de DNA de diferentes espécies, técnica conhecida como **DNA recombinante**.

TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

Em engenharia genética, habitualmente empregam-se microrganismos, principalmente bactérias. Além de seu cromossomo circular, as bactérias podem conter plasmídios, porções circulares de DNA dispersas no citoplasma. Geralmente, eles conferem algumas vantagens às células portadoras e podem ser transferidos de uma bactéria para outra.

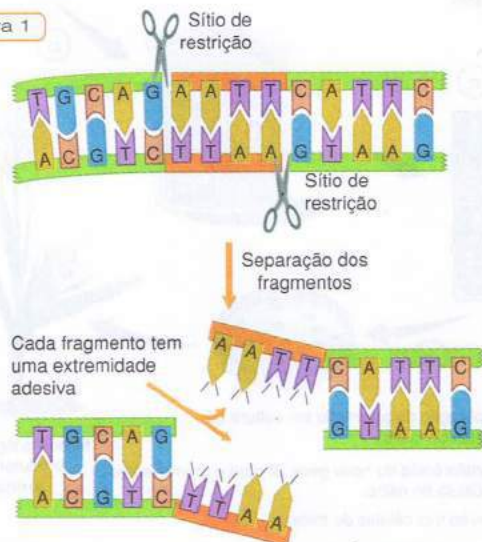
O processo inicia-se com o fracionamento de DNA humano em pontos específicos de sua sequência de bases, por meio de **endonucleases de restrição** (ou **enzimas de restrição**), enzimas extraídas de bactérias, que funcionam como “tesouras químicas”.

Na natureza, as endonucleases de restrição permitem que as bactérias se defendam do ataque de vírus. Quando um bacteriófago liga-se à bactéria e inocula o DNA, as endonucleases de restrição “picotam” o DNA viral, evitando que ele se incorpore ao cromossomo bacteriano e assuma o controle metabólico da célula. O nome de cada endonuclease de restrição remete à espécie de bactéria da qual ela é obtida: a enzima EcoRI, por exemplo, é retirada de *Escherichia coli*.

As enzimas de restrição são usadas para abrir os plasmídios. Então, os fragmentos de DNA humano são unidos aos plasmídios por meio de outro tipo de enzima, as **ligases**. Finalmente, penetrando em bactérias, os plasmídios são usados como **vetores** (ou veículos) do material genético humano. A partir daí, as bactérias passam a obedecer às ordens que o DNA humano determina.

Organismos transgênicos — ou, mais corretamente, organismos geneticamente modificados (OGMs) — são aqueles que contêm gene de outra espécie inserido em seu material genético.

Figura 1



As moléculas de DNA são cortadas pelas endonucleases de restrição em pontos específicos, permitindo a adesão de bases nitrogenadas dos plasmídios, por meio de ligases, ao DNA.

Diversas substâncias podem ser produzidas por bactérias modificadas geneticamente pela incorporação dos genes que contêm as informações para sua produção.

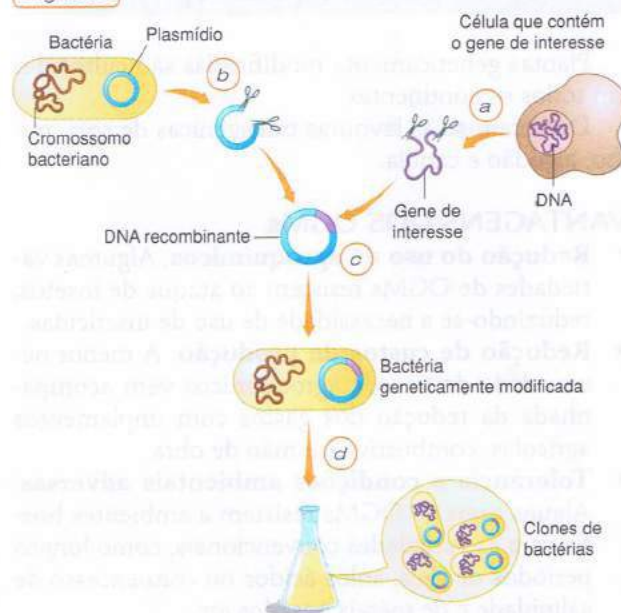
Animais transgênicos vêm sendo utilizados como modelos para estudo de doenças, como o diabetes melito e o câncer; é grande, também, seu potencial como sistemas biológicos produtores de proteínas com finalidade terapêutica.

TABELA 1

Produtos obtidos por manipulação genética de microrganismos

Produto	Uso
Antígeno do vírus da hepatite B	Vacina contra a hepatite B
Eritropoetina	Tratamento da anemia
Fator natriurético atrial	Tratamento da insuficiência cardíaca e da hipertensão arterial
Fator VIII	Tratamento da hemofilia
Hormônio de crescimento humano	Tratamento do nanismo hipofisário
Insulina	Tratamento do diabetes melito
Interferon gama	Tratamento do câncer
Interleucina-2	Tratamento do câncer

Figura 2



- O gene de interesse é obtido por meio de endonucleases de restrição.
- O plasmídio bacteriano é extraído e rompido por meio de endonucleases de restrição.
- O fragmento de DNA é unido ao plasmídio bacteriano por meio de ligases.
- O fragmento de DNA veiculado pelo plasmídio é incorporado em outras células bacterianas e passa a controlar a síntese da substância de interesse.

Pela técnica do DNA recombinante, os plasmídios bacterianos atuam como verdadeiras fábricas de substâncias úteis ao ser humano.

REAÇÃO EM CADEIA DA POLÍMERASE (PCR)

A reação em cadeia da polimerase (PCR, do inglês *polymerase chain reaction*) é um processo simples e eficiente de aumentar a quantidade de DNA de certa

amostra. É realizada em equipamentos automatizados e, graças a esse método, em pouco mais de duas horas, pode-se multiplicar por mais de um milhão a quantidade de DNA disponível em uma amostra.

Inicialmente, a solução contendo o DNA a ser “clonado” é aquecida por dois minutos. Com isso, ocorre desnaturação da molécula e as duas cadeias separam-se. A seguir, nucleotídeos livres começam a se emparelhar com nucleotídeos complementares, em cada uma das cadeias recém-separadas. Finalmente, uma enzima chamada **Taq-polimerase** (uma DNA-polimerase resistente a altas temperaturas, obtida de bactérias que vivem em fontes termais) une esses nucleotídeos, formando, junto de cada cadeia original, uma cadeia complementar. Com isso, surgem duas moléculas idênticas de DNA. O ciclo pode ser reiniciado, repetindo-se aproximadamente a cada seis minutos. Esse método permite pesquisar a presença de DNA em amostras de material biológico, como sangue, espermatozoides, restos de tecidos, fósseis etc.

3 ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS (OGMs)

Plantas geneticamente modificadas são cultivadas em todos os continentes.

Destacam-se as lavouras transgênicas de soja, milho, algodão e canola.

VANTAGENS DOS OGMs

- **Redução do uso de agroquímicos.** Algumas variedades de OGMs resistem ao ataque de insetos, reduzindo-se a necessidade de uso de inseticidas.
- **Redução de custos de produção.** A menor necessidade do uso de agroquímicos vem acompanhada da redução dos gastos com implementos agrícolas, combustíveis e mão de obra.
- **Tolerância a condições ambientais adversas.** Alguns tipos de OGMs resistem a ambientes hostis para as variedades convencionais, como longos períodos de seca, solos ácidos ou com excesso de salinidade e de metais pesados etc.
- **Aumento do valor nutritivo.** Algumas variedades transgênicas caminham nesse sentido. É o caso de um cultivar de arroz (chamado “arroz dourado”) com maior teor de betacaroteno, um precursor da vitamina A.
- **Elevação da produtividade.** Estima-se que, em média, as plantas transgênicas sejam até 3% mais produtivas que as variedades convencionais. Essa elevação é pequena e, habitualmente, não representa um fator decisivo na escolha.

OGMs NA AGRICULTURA

A biotecnologia e as técnicas de manipulação genética desenvolvem, principalmente, variedades de plantas resistentes a insetos ou a herbicidas. Buscam,

ainda, variedades de plantas resistentes a geadas, acidez do solo, escassez de água. Outras variedades também têm sido testadas:

- cana-de-açúcar e soja, das quais são extraídas resinas capazes de substituir o plástico, com a vantagem de serem biodegradáveis;
- café descafeinado;
- frutos (como o tomate Flav-Savr®) que têm melhor sabor, amadurecem mais lentamente (sem amolecer) e resistem mais tempo sem refrigeração;
- milho e soja mais ricos em proteínas;
- algodão com as fibras já coloridas (como a variedade índigo, com fibras naturalmente azuladas);
- arroz enriquecido em ferro;
- plantas (por exemplo, banana e batata) com antígenos que funcionam como “vacinas comestíveis” contra doenças infantis, substituindo as injeções.

MILHO Bt

As lavouras comerciais de milho sofrem o ataque de numerosas espécies de pragas agrícolas, como a lagarta-do-cartucho, a broca e a lagarta-rosada. Em geral, recebem doses maciças de defensivos agrícolas, principalmente inseticidas. A variedade geneticamente modificada conhecida por **milho Bt** recebeu da bactéria da espécie *Bacillus thuringiensis* (daí a sigla Bt) o gene que determina a produção de uma toxina que mata lagartas de inseto, mas não causa dano ao ser humano. O milho Bt torna-se particularmente resistente ao ataque da lagarta-do-cartucho e da broca.

Figura 3



a Duplicação do plasmídeo em cultura de células do milho.

b Transferência do novo gene Bt para o cromossomo da célula do milho.

c Divisão das células do milho.

d Cultura de tecido vegetal com o plasmídeo portador do gene Bt.

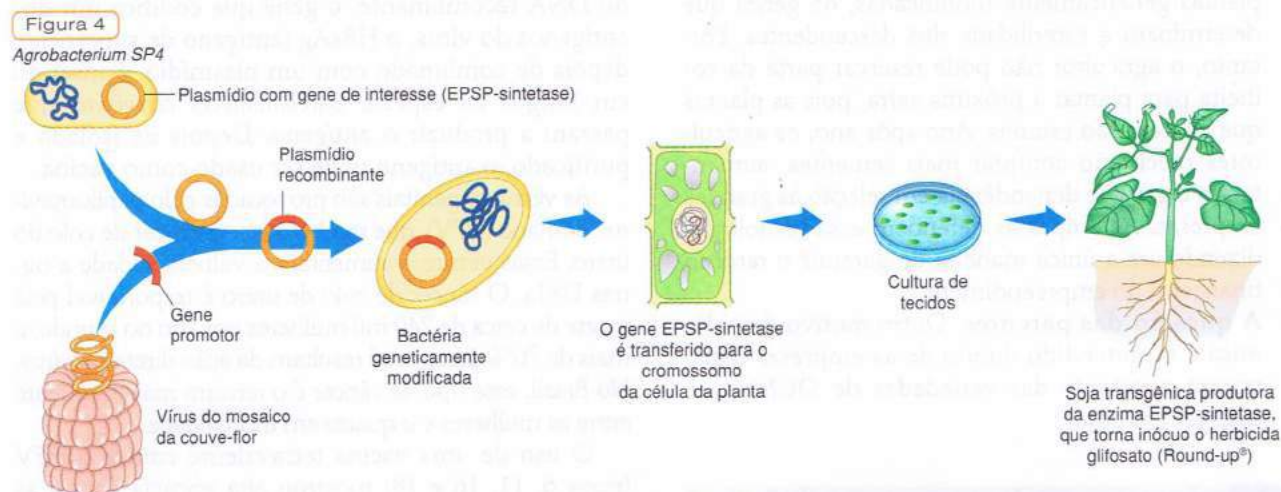
O plasmídeo do *Bacillus thuringiensis* (que produz a toxina) é usado no desenvolvimento do milho Bt, resistente ao ataque de pragas.

SOJA RESISTENTE AO GLIFOSATO

Nenhuma planta geneticamente modificada causou tanta polêmica quanto a **soja Round-up Ready®**. As lavouras de soja exigem a utilização maciça de defensivos agrícolas, como inseticidas, fungicidas e herbicidas. Evidência disso está ocorrendo no Brasil, nos últimos anos: as plantações de soja têm sido atacadas pela ferrugem asiática, doença provocada por um fungo, que tem causado preocupação entre os agricultores e aumentado os gastos com agroquímicos.

As lavouras de soja recebem quantidades elevadas de herbicidas durante a pré-emergência, ou seja, logo depois do plantio, quando ainda não se completou a germinação da semente. Se as lavouras receberem herbicidas do grupo do glifosato, as plantas acabam morrendo. A soja transgênica é tolerante ao glifosato (Round-up®), porque possui um gene (obtido de uma bactéria) que determina a produção de uma enzima capaz de tornar inócuo o herbicida.

Como a soja resiste ao glifosato, o herbicida pode ser aplicado em qualquer período da cultura. Por isso, em tese, não seriam necessárias as aplicações maciças de herbicidas na pré-emergência. Bastaria que os produtores aplicassem apenas nos locais em que surgissem plantas invasoras.



No desenvolvimento da soja transgênica, foram utilizados genes de vários organismos, entre eles, a bactéria *Agrobacterium SP4*, que forneceu o gene EPSP-sintetase, e o vírus do mosaico da couve-flor, que forneceu o gene promotor.

RISCOS DOS OGMs

RISCOS AMBIENTAIS

- **Alteração de palatabilidade ou aroma.** As mudanças genéticas podem, em tese, alterar o sabor e/ou o cheiro das plantas, fazendo com que se alterem as relações entre elas e seus predadores ou polinizadores.
- **Morte de espécies não alvo.** As plantas que recebem genes que determinam a produção de toxinas, tornando-se “inseticidas”, podem provocar a morte de espécies que não são seus parasitas ou predadores.
- **Morte de polinizadores.** Entre as espécies não alvo afetadas pelas plantas transgênicas, podem estar as de insetos polinizadores, o que afetaria a reprodução da própria planta.
- **Transmissão horizontal.** Em plantas, pode ocorrer transmissão horizontal de material genético, ou seja, a passagem de fragmentos de material genético de uma planta de uma espécie para plantas de espécies diferentes. Essa possibilidade abriria o caminho para que um gene que confere resistência a um herbicida seja transferido para espécies invasoras, originando superpragas.
- **Comprometimento da fixação de nitrogênio.** Ainda não são completamente claros os efeitos da transgenia sobre as bactérias fixadoras de nitrogênio que vivem em nódulos de leguminosas, como a soja.

RISCOS A SERES HUMANOS E OUTROS ANIMAIS

- **Reações alérgicas.** Já foram demonstradas reações alérgicas em pessoas que ingeriram alimentos processados com plantas geneticamente modificadas, como a soja. Os casos relatados são de urticária, dermatite e reações respiratórias.
- **Alteração imunológica.** Trata-se de uma questão ainda bastante polêmica. Um pesquisador britânico noticiou ter encontrado deficiência das defesas orgânicas contra infecções em ratos alimentados com batata transgênica.

RISCOS ECONÔMICOS

- **Dependência de um ou poucos fornecedores.** No mundo todo, são as grandes empresas transnacionais que possuem tecnologia para o desenvolvimento de variedades transgênicas e, em geral, são as mesmas que produzem os defensivos agrícolas contra os quais essas variedades são resistentes. Assim, o produtor rural tem poucas opções no momento de decidir pela compra de sementes transgênicas. Um caso evidente é o da soja transgênica Round-up Ready® e do herbicida glifosato (nome comercial: Round-up®), ambos produzidos por uma grande empresa transnacional.
- **Terminator technology.** Trata-se da inclusão, nas plantas geneticamente modificadas, de genes que determinam a esterilidade dos descendentes. Portanto, o agricultor não pode reservar parte da colheita para plantar a próxima safra, pois as plantas que nascem são estéreis. Ano após ano, os agricultores precisarão comprar mais sementes, aumentando o grau de dependência em relação às grandes empresas. As empresas defendem essa tecnologia, dizendo ser a única maneira de garantir o retorno financeiro do empreendimento.
- **A questão das patentes.** Outro motivo de polêmica é o pretendido direito de as empresas registrarem a patente das variedades de OGMs que conseguem obter.

4 BIOTECNOLOGIA E VACINAS

As infecções pelos protozoários *Trypanosoma cruzi*, *Trypanosoma brucei* e *Leishmania sp.* ocorrem endemicamente em países tropicais e subtropicais, onde representam grave problema de saúde pública.

Na América Latina, existem cerca de 18 milhões de indivíduos infectados pelo *Trypanosoma cruzi*. Desse total, de 20% a 30% evoluem para a doença de Chagas. Na África subsaariana, chega a 88 milhões o número de indivíduos infectados pelo *Trypanosoma brucei*, que causa a doença do sono, caracterizada por distúrbios neurológicos. Os protozoários do gênero *Leishmania* podem provocar lesões ulcerosas na pele e em mucosas ou, ainda, acometer o fígado, o baço, a medula óssea e os linfonodos.

Os medicamentos usados no tratamento dos indivíduos infectados por parasitas nem sempre têm a elevada eficácia e a reduzida toxicidade desejadas. Somando-se a isso o desenvolvimento da resistência dos parasitas às drogas, torna-se cada vez mais importante a busca de terapias alternativas. O estudo dos códigos genéticos desses parasitas possibilitará aos pesquisadores identificar o calcanhar de aquiles de cada um deles, abrindo caminho para a produção de medicamentos e de vacinas feitos “sob medida”, ou seja, que agirão em mecanismos específicos e terão, por consequência, maior eficácia e menor toxicidade.

DSTs E VACINAS

As doenças sexualmente transmissíveis (DSTs) mais importantes são a aids, a hepatite B e as verrugas genitais, todas de etiologia viral. A aids é causada pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV), que debilita o sistema imunológico, deixando o indivíduo infectado exposto a infecções oportunistas e tumores, que poderão levá-lo, eventualmente, à morte. Vacinas contra a aids ainda estão em fase experimental.

O agente etiológico da hepatite B é o vírus da hepatite B (HBV ou VHB), que provoca duas doenças graves: a cirrose hepática e o câncer de fígado. A hepatite B pode ser prevenida pela administração de uma vacina de grande eficácia, produzida pela técnica do DNA recombinante: o gene que codifica um dos antígenos do vírus, o HBsAg (antígeno de superfície), depois de combinado com um plasmídeo, é inserido em fungos da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, que passam a produzir o antígeno. Depois de isolado e purificado, o antígeno pode ser usado como vacina.

As verrugas genitais são provocadas pelo papilomavírus humano (HPV), que também causa câncer de colo do útero. Essas verrugas aumentam a vulnerabilidade a outras DSTs. O câncer de colo de útero é responsável pela morte de cerca de 240 mil mulheres por ano no mundo, e mais de 70% desse total resultam da ação direta do vírus. No Brasil, esse tipo de câncer é o terceiro mais frequente entre as mulheres e o quarto em mortalidade.

O uso de uma vacina tetravalente contra o HPV (tipos 6, 11, 16 e 18) mostrou alta eficácia contra as verrugas genitais e câncer de colo de útero causado pelo vírus. A vacina é profilática, ou seja, protege as mulheres que ainda não entraram em contato com o vírus.

VACINAS DE DNA

As vacinas clássicas são produzidas com microrganismos (geralmente vírus ou bactérias) vivos atenuados, microrganismos inativados, toxinas modificadas (denominadas toxoides) ou fragmentos antigênicos (proteínas e polissacarídeos) desses agentes infecciosos. As vacinas de DNA prometem uma grande revolução no campo das imunizações.

Para produzir uma vacina de DNA, o gene codificador do antígeno de interesse, combinado com um plasmídeo, é introduzido em bactérias (geralmente *Escherichia coli*), no interior das quais é clonado. Depois de isolados e purificados, os plasmídios recombinantes podem ser administrados como vacina.

As principais formas de administração são a injeção intramuscular e o revólver de genes, o qual introduz, na derme do indivíduo que se pretende imunizar, micropartículas de ouro revestidas de DNA, disparadas sob alta pressão. O organismo passa então a produzir o antígeno codificado pelo gene, induzindo a resposta imune humoral, mediada por anticorpos, e a resposta imune celular, mediada por células citotóxicas, capazes de identificar e destruir as células invadidas pelo agente infeccioso.

Como vantagens das vacinas de DNA, podemos destacar: dispensam o cultivo de agentes infecciosos perigosos; não apresentam o risco de os agentes infecciosos atenuados recuperarem a virulência; podem ser administradas a crianças, idosos e indivíduos imunodeprimidos, como os portadores do HIV e aqueles submetidos a tratamento quimioterápico; são termoe estáveis, ou seja, mantêm a capacidade de imunizar mesmo quando mantidas à temperatura ambiente; induzem tanto a resposta imune humoral quanto a resposta imune celular, conferindo imunidade de longa duração ou por toda a vida.

5 PRINCÍPIOS DA TERAPIA GÊNICA

Pesquisadores da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) trabalharam em parceria para obter cabras e vacas geneticamente modificadas (ou transgênicas) com capacidade de secretar o fator IX no leite. Uma vez isolada do leite, essa proteína pode ser usada no tratamento de pacientes com hemofilia, uma doença hereditária caracterizada por distúrbios na coagulação do sangue. Das possíveis vantagens do fator IX produzido por essa técnica, destacam-se: diminuição do custo do tratamento, maior disponibilidade do produto e redução do risco de adquirir doenças como a aids, a hepatite B e a hepatite C, que podem ser transmitidas pelo sangue e por seus derivados.

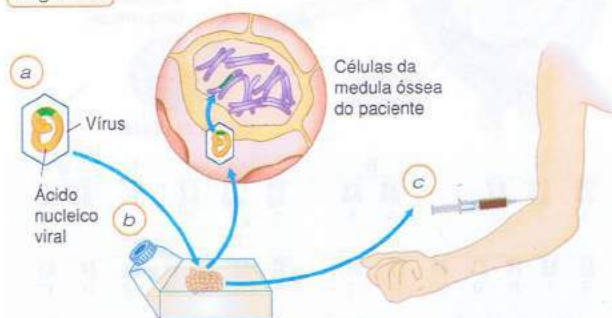
A etapa inicial para produzir essas biofábricas foi criar camundongos geneticamente modificados pela introdução, no genoma desses animais, do gene que codifica o fator IX. A “humanização” dos camundongos, isto é, a introdução de genes humanos em seu genoma, possibilita o estudo de várias doenças, por exemplo, a hemofilia, o diabetes, a hipertensão arterial, a doença de Alzheimer e o câncer. Esse processo também tem grande importância para a indústria farmacêutica, que usa modelos animais para desenvolver medicamentos.

Produtos isolados da ação de certos genes são usados há muito tempo no tratamento de doenças genéticas. A insulina e o fator VIII são exemplos conhecidos, empregados, respectivamente, em pacientes com diabetes melito e hemofilia A. O tratamento dessas doenças oferece riscos quando essas substâncias são obtidas de animais ou de sangue de pessoas, o que as torna potencialmente capazes de causar manifestações alérgicas graves ou de transmitir infecções, como as hepatites B e C e a aids. Diversos genes humanos podem ser localizados com precisão, isolados e clonados. Tal procedimento tem sido usado no tratamento de doenças hereditárias e é conhecido por **terapia gênica** (ou **geneterapia**).

A terapia gênica consiste em modificar o patrimônio genético das células de um indivíduo, introduzindo nelas um gene que lhes dá a capacidade de sintetizar uma substância que não era produzida.

Tal introdução é feita com o emprego de um vetor capaz de levar o gene às células do doente. Esse vetor pode ser, por exemplo, um vírus modificado. Métodos físicos e químicos também são empregados. Entre as doenças humanas para as quais a terapia gênica já foi aplicada com sucesso, está a síndrome da imunodeficiência grave combinada (SCID), forma rara e letal de disfunção do sistema imunológico, que torna o portador suscetível a qualquer forma de infecção. Esse distúrbio é causado pela falta de uma enzima, a adenosina-deaminase (ADA). Um dos casos mais comentados de pessoas afetadas pela SCID foi o garoto David, que se tornou conhecido, na década de 1970, como o “menino da bolha”, porque vivia no interior de um ambiente completamente isolado e estéril. David morreu aos 12 anos de idade, após um transplante de medula óssea. A terapia gênica para a SCID começou a ser empregada na década de 1990. Além da SCID, a terapia gênica vem sendo usada com resultados promissores no tratamento da fibrose cística e da distrofia muscular, uma degeneração do tecido muscular que acomete meninos, provoca paralisia e acarreta a morte.

Figura 5



- O gene humano responsável pela síntese da enzima ADA, anteriormente clonado por uma bactéria, é incorporado a um retrovírus.
- Células sanguíneas isoladas do paciente são infectadas com o retrovírus e mantidas em cultura.
- Quando em quantidade suficiente, as células geneticamente alteradas, agora com a capacidade de sintetizar a enzima ADA, são reintroduzidas no paciente.

A terapia gênica possibilita a cura de doenças hereditárias, por meio da modificação do patrimônio genético de cada indivíduo.

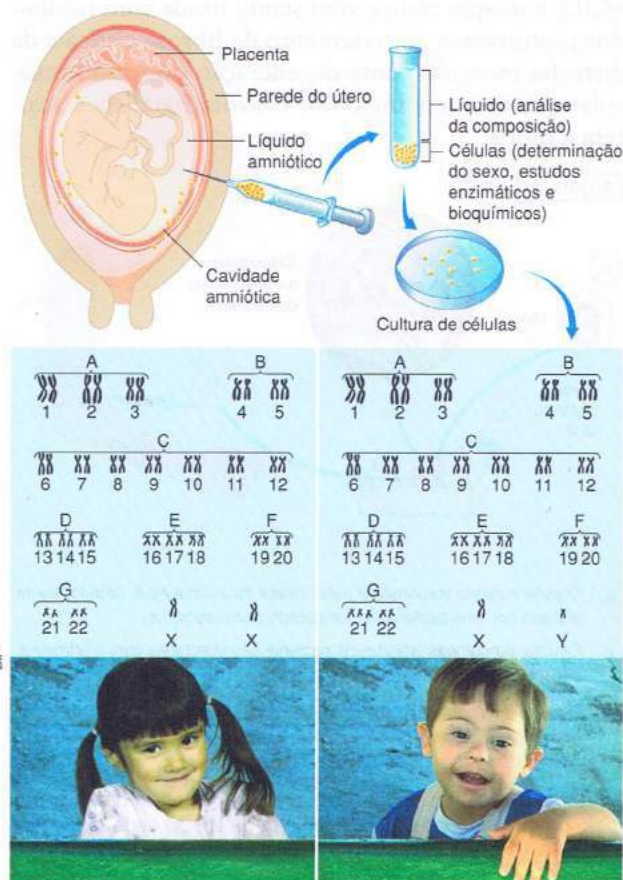
6 DETECÇÃO PRÉ-NATAL DE DOENÇAS CROMOSSÔMICAS

Algumas doenças genéticas associam-se à alteração do número e/ou da estrutura dos cromossomos.

Tais doenças, como a síndrome de Down, podem ser diagnosticadas pela observação do cariótipo de células do paciente. Antes do nascimento, pode-se fazer o estudo cromossômico de células fetais, obtidas por **amniocentese** (punção do útero), que permite a obtenção de amostra de líquido amniótico. Uma técnica alternativa consiste em colher uma amostra de **vilosidades coriônicas**, por sucção de tecido fetal da placenta. Após o nascimento, as células habitualmente usadas são os leucócitos.

As células são banhadas com solução contendo substância que estimula a divisão celular. A seguir, acrescenta-se colchicina, substância que interrompe a divisão celular na metáfase. Colocadas em solução hipotônica, as células absorvem água e "incham". Isso separa os cromossomos uns dos outros. Os grupos de cromossomos são identificados e fotografados, os cromossomos homólogos são agrupados aos pares e colocados em ordem decrescente de tamanho. Pela análise dos cromossomos (por meio das fotos), o investigador pode saber se há uma anormalidade cromossômica nas células estudadas.

Figura 6



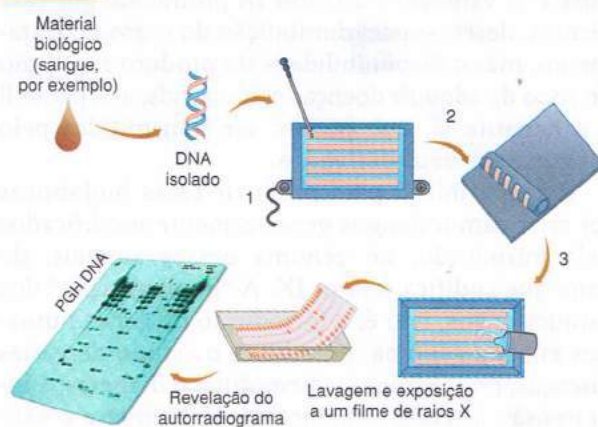
Na amniocentese, células do líquido amniótico são retiradas e mantidas em culturas de células. Após uma série de tratamentos, são possíveis a visualização dos cromossomos e a montagem do cariótipo. À esquerda, cariótipo de menina normal (observe o par de cromossomos X); à direita, cariótipo de menino com síndrome de Down (note a presença de um par de cromossomos sexuais XY e um cromossomo 21 a mais).

Uma pessoa alega ser filha de um astro de televisão e requer que a paternidade seja reconhecida. O juiz encarregado do caso solicita que seja retirada uma amostra de sangue dessa pessoa, da mãe e do suposto pai. Os policiais chegam ao local onde um assassinato foi cometido, e alguns fios de cabelo do criminoso são encontrados nas proximidades. Em outro lugar, uma mulher foi estuprada, e o médico que a atendeu coletou e conservou parte do esperma depositado em sua vagina.

Até há bem pouco tempo, situações como essas poderiam permanecer indefinidamente sem solução. No entanto, elas podem ser decididas graças ao auxílio das modernas técnicas de análise do DNA. Uma pequena quantidade de material biológico permite esclarecer com precisão quase absoluta crimes ou investigação de paternidade.

A técnica baseia-se no fato de que o DNA de cada pessoa possui sequências que se sucedem de forma peculiar, em tamanhos e quantidades que são únicos para cada indivíduo. Exceto gêmeos univitelínicos, que são geneticamente idênticos, não há duas pessoas com o mesmo padrão de repetição desses fragmentos ao longo de suas moléculas de DNA. Trata-se de uma "impressão digital" molecular (figura 7).

Figura 7



- 1) Fragmentos de DNA tratados com endonucleases de restrição são separados por eletroforese.
- 2) Desnaturação e transferência dos fragmentos para a fita de náilon.
- 3) Marcação com material radioativo.

Etapas da "impressão digital" do DNA, técnica que permite a identificação precisa de indivíduos, baseada na análise comparativa de seu material biológico.

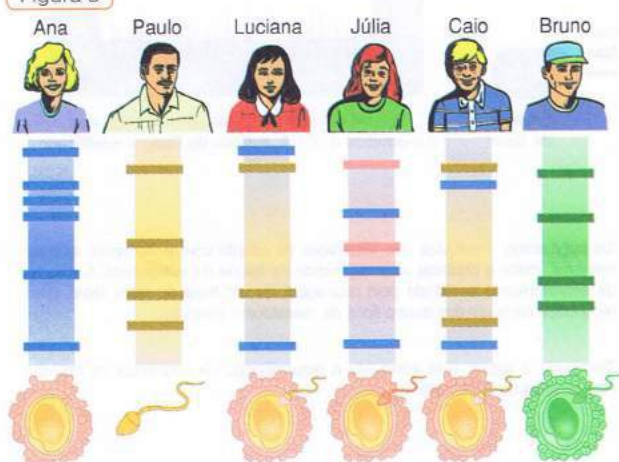
Esse método de análise consiste em fragmentar o DNA a ser testado de células — leucócitos, espermatozoides, células do folículo piloso ou outras — por meio de endonucleases de restrição. Os fragmentos obtidos são separados por eletroforese e depois transferidos para uma fita de náilon. Sondas de DNA (fragmentos curtos de DNA que se ligam com sequências específicas do DNA a ser testado) marcadas com material radioativo são postas em solução, na qual se introduz a fita de náilon contendo o DNA aderido.

Depois a fita é lavada, para remover o excesso de sondas de DNA em solução, e colocada em contato com um filme de raios X. O filme será marcado apenas onde houver fragmentos de DNA radioativo (sondas) ligados aos fragmentos de DNA da amostra que estavam na fita de náilon, estabelecendo-se um padrão de faixas que é absolutamente individual.

A "impressão digital" do DNA permite concluir, com exatidão de quase 100%, se o material genético encontrado em uma amostra de sangue, de cabelo, de espermatozoides ou de outro material biológico é de certa pessoa.

Quando o material examinado for sangue ou outro tecido que contenha células diploides, deverá ser total a coincidência com o DNA obtido do sangue do indivíduo. Em DNA obtido de espermatozoides, haverá concordância pela metade, porque essas células são haploides. Nos casos de investigação de paternidade ou de identificação de crianças desaparecidas, o DNA do filho apresentará 50% de concordância com o DNA de cada um dos genitores.

Figura 8



Pela análise comparativa da impressão digital do DNA dessa família, podemos concluir que Luciana e Caio são filhos de Ana e Paulo, Júlia é filha de Ana com outro homem, e Bruno é adotado.

8 MAPEANDO GENES HUMANOS

No início do século XX, Thomas Morgan e Walter Sutton postularam a **teoria cromossômica da herança**, segundo a qual os genes se localizam nos cromossomos, onde estão enfileirados como as contas de um colar. Alfred Sturtevant complementou as ideias de Morgan, afirmando que, quanto mais afastados estivessem dois genes em um mesmo par de cromossomos homólogos, maior deveria ser a taxa de recombinação entre eles. Dessa forma, desenvolvia-se uma técnica de

medida, ainda que indireta, da distância entre os genes. Nascia o **mapeamento cromossômico**, e os cromossomos da drosófila foram os primeiros a ser mapeados. Após os trabalhos pioneiros de Morgan, geneticistas de todo o mundo passaram a pesquisar a localização de genes nos cromossomos humanos. Em 1986, já eram mais de 1.500 os genes codificados.

Em 1987, desencadeou-se o **Projeto Genoma Humano** (em uma parceria entre o Departamento de Energia dos Estados Unidos e os Institutos Nacionais de Saúde do mesmo país), cuja meta era sequenciar todos os cerca de 3 bilhões de pares de nucleotídeos presentes nos cromossomos humanos. Além de cientistas dos Estados Unidos, o núcleo do projeto incluiu também pesquisadores do Canadá, Japão, Alemanha, Itália, França e Inglaterra. Não apenas por coincidência, são os mesmos países que compõem o poderoso G-7.

A conclusão do PGH (cujo custo total foi estimado em US\$ 5 bilhões) estava prevista para 2005, mas os primeiros dados — cerca de 90% do sequenciamento — chegaram ao conhecimento do público no primeiro semestre de 2000. A espantosa velocidade com que chegou ao final em 2003 deveu-se, entre outras coisas, ao desenvolvimento de sequenciadores automatizados, a partir de 1991.

A primeira etapa do PGH consistiu em localizar cerca de 30 mil genes humanos. Entretanto, essa não foi a única meta deste que é considerado o mais ambicioso projeto científico de todos os tempos, desde a ida de astronautas à Lua.

Com o PGH, pretendeu-se não apenas mapear todo o genoma, como também conhecer detalhes do seu funcionamento.

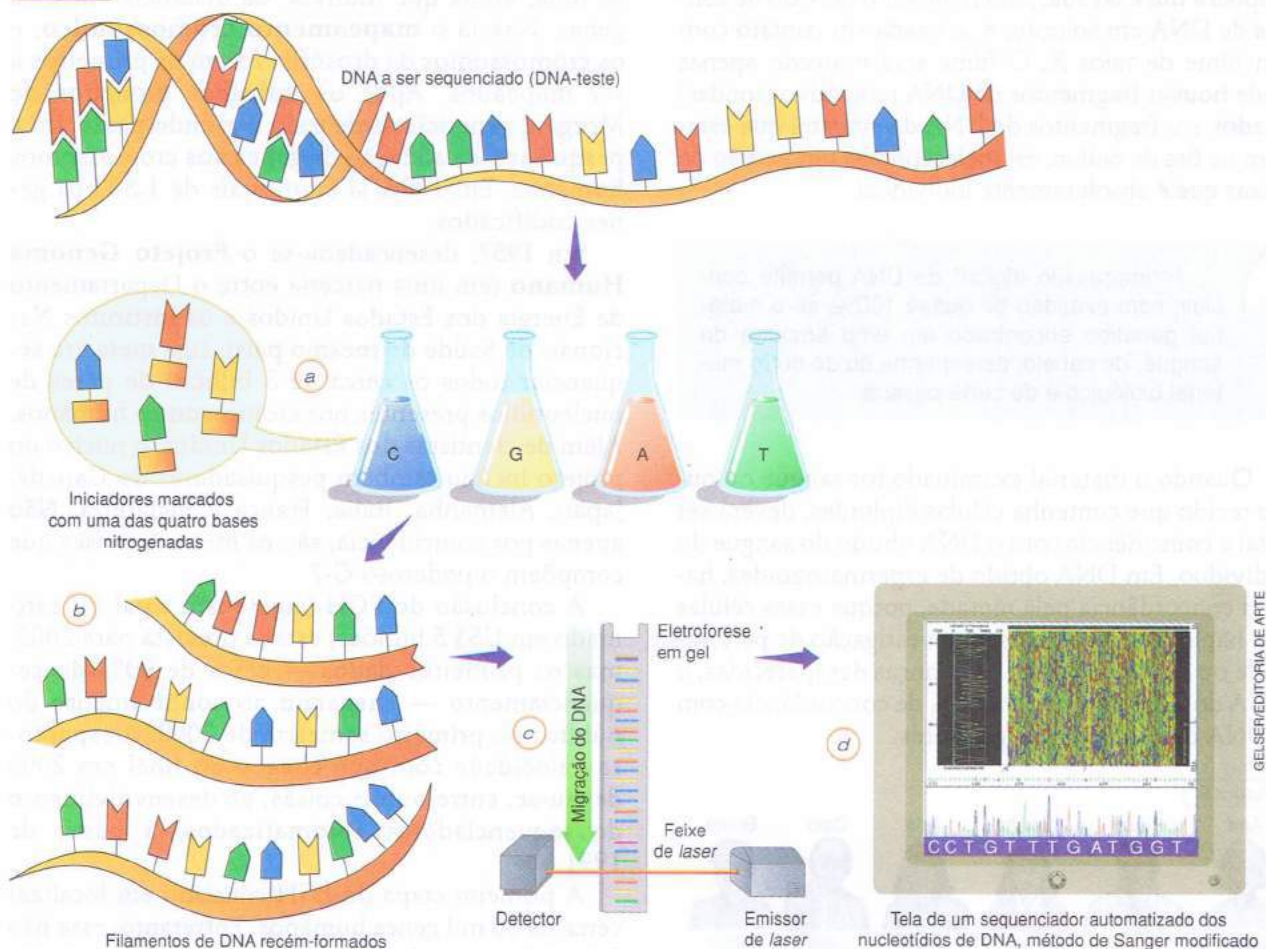
No campo da saúde, o PGH deverá criar uma nova forma de medicina — a **medicina preditiva** — que poderá dar com antecedência informações sobre o estado de saúde das pessoas. Com as descobertas do PGH, será possível conhecer os fatores de predisposição às principais doenças; dependendo dos resultados, os indivíduos terão de tomar medidas que evitem a ocorrência de algumas delas, adotando precauções de vários tipos.

DESDOBRAMENTOS DO PGH

Descobrir a função de cada gene e de seus produtos (as proteínas) não era missão do PGH. São tarefas do **Projeto Genoma Estrutural** (que estuda a função dos genes e a interação entre eles) e do **Projeto Proteoma Humano** (estudo da associação entre os genes e as proteínas cuja síntese eles determinam).

Pretende-se, assim, o diagnóstico mais preciso das doenças genéticas e até a cura de algumas delas.

Figura 9



GELSER EDITORIA DE ARTE

- a** Em uma solução, amostras de DNA-teste ligam-se a pequenos segmentos de nucleotídeos (iniciadores ou *primers*) com uma das quatro bases nitrogenadas na extremidade, previamente marcados com cores diferentes. Por ação de uma DNA-polimerase, filamentos complementares são formados.
- b** De acordo com a posição em que o iniciador se ligou ao DNA-teste, maior ou menor será o comprimento do filamento recém-formado. Os filamentos do DNA-teste são separados dos filamentos formados a partir dos iniciadores marcados.

- c** Os segmentos marcados são separados de acordo com o tamanho; quanto menores, maior a distância a ser percorrida na coluna de eletroforese. A coluna de eletroforese é analisada pela passagem de um feixe de raios laser, que reconhece cada um dos quatro tipos de marcadores coloridos.
- d** Terminada a leitura, está concluída a determinação da sequência de bases nitrogenadas do DNA-teste.

Sequenciamento do DNA.

GENÔMICA NO BRASIL

As pesquisas genômicas brasileiras — desenvolvidas pela rede Onsa (*Organization for Nucleotides Sequencing and Analysis*, ou Organização para Análise e Sequenciamento de Nucleotídeos) — iniciaram-se com o sequenciamento dos genes da *Xylella fastidiosa*, bactéria causadora do amarelinho, doença que ataca plantações de laranja. Além desse, outros projetos concluídos ou em desenvolvimento no país incluem:

- Genoma Humano do Câncer;
- Genoma da *Xanthomonas citri* (bactéria causadora do cancro cítrico, que prejudica as colheitas de laranja, feijão, arroz e maracujá);
- Genoma da *Saccharum officinarum* (cana-de-açúcar);
- Genoma do *Schistosoma mansoni* (helminto causador da esquistossomose).

9 CLONAGEM E CÉLULAS-TRONCO

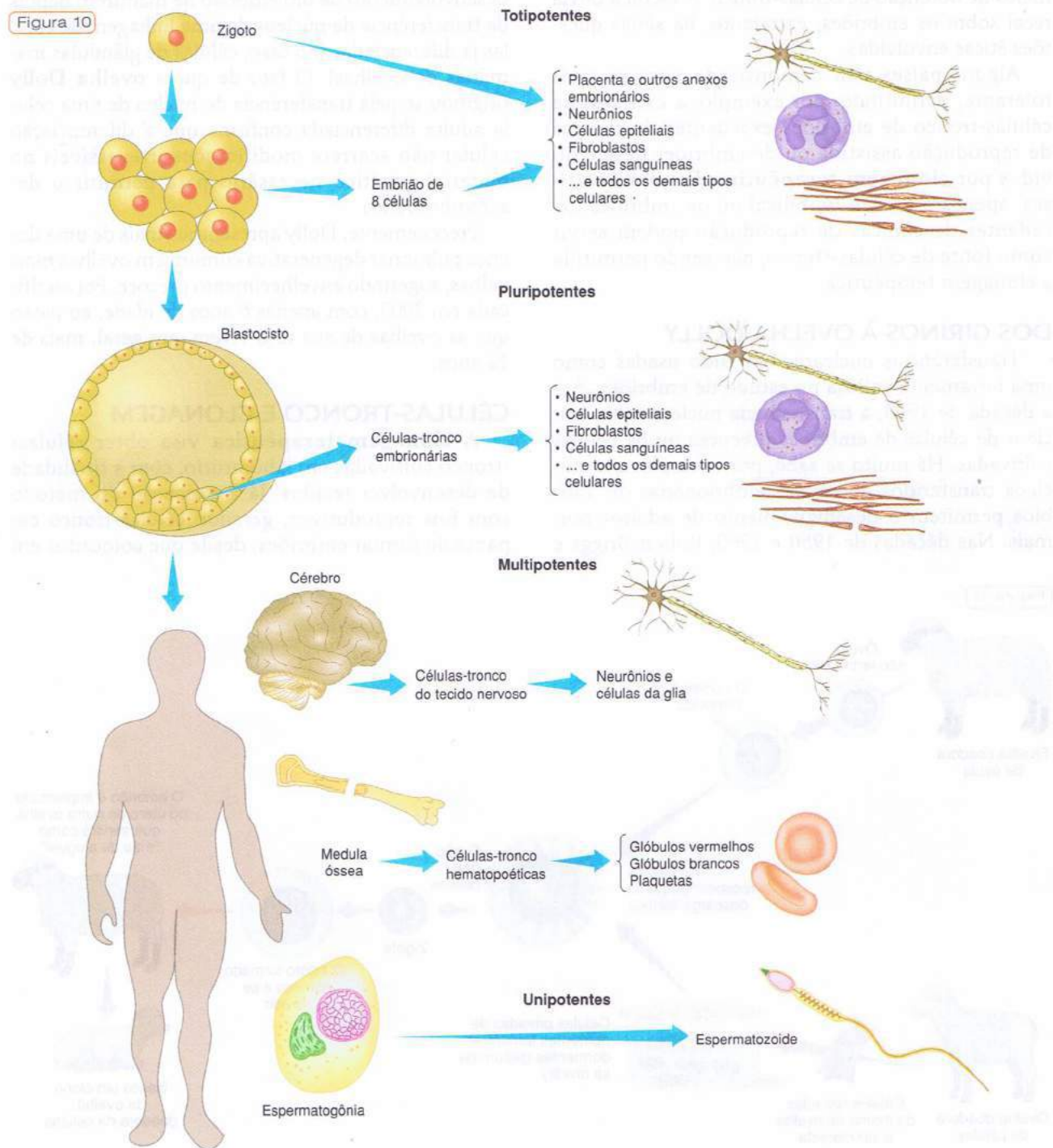
Durante as diversas etapas do desenvolvimento embrionário ou de outras etapas da vida dos animais, algumas células apresentam-se indiferenciadas e podem originar mais células indiferenciadas ou, sob certas condições, sofrer diferenciação e converter-se em células diferenciadas (maduras). Na medula óssea, por exemplo, há células que formam glóbulos vermelhos, os diversos tipos de glóbulos brancos e as plaquetas. Células imaturas indiferenciadas e capazes de originar outras células indiferenciadas ou células maduras e diferenciadas chamam-se **células-tronco**.

Dependendo de sua capacidade de diferenciação, as células-tronco podem ser classificadas em:

- **Células-tronco totipotentes.** São o zigoto e as células que resultam de suas primeiras divisões. As células dessa categoria podem originar células de qualquer tecido ou mesmo de anexos embrionários, como a placenta.
- **Células-tronco pluripotentes.** São células que podem se diferenciar em todos os tipos de células, com exceção das células-tronco totipotentes e das células de anexos embrionários, como a placenta.

- **Células-tronco multipotentes.** Encontradas em órgãos maduros (medula óssea, cérebro, placenta e fígado, por exemplo), são capazes de se diferenciar em diversos tipos de células, mas não em todos.
- **Células-tronco unipotentes.** São células capazes de se desenvolver/diferenciar em apenas um tipo de células.

De acordo com a sua origem, as células-tronco também podem ser classificadas em **células-tronco embrionárias** ou **células-tronco adultas**. As células-tronco embrionárias podem ser obtidas em



A diferenciação das células-tronco totipotentes permite a obtenção de qualquer tipo de célula, ao passo que o potencial das células-tronco multipotentes é limitado.

laboratório, após a fecundação *in vitro*, quando o embrião está na fase de blastocisto e antes de ser implantado no útero materno. Com o desenvolvimento do embrião, essas células-tronco vão se diferenciar em todos os tipos celulares do nosso organismo.

Embora menos versáteis que as células-tronco embrionárias, as células-tronco adultas, encontradas em diversos tecidos e órgãos, são responsáveis por sua regeneração parcial em caso de doenças ou ferimentos. É o caso, por exemplo, das células-tronco da medula óssea e da pele.

Um assunto bastante polêmico relaciona-se aos meios de obtenção de células-tronco. A escolha óbvia recai sobre os embriões; entretanto, há sérias questões éticas envolvidas.

Alguns países têm demonstrado postura mais tolerante, permitindo, por exemplo, a extração de células-tronco de embriões excedentes de clínicas de reprodução assistida ou de embriões desenvolvidos por **clonagem terapêutica**. Em outros países, apenas o cordão umbilical ou os embriões excedentes de clínicas de reprodução podem servir como fonte de células-tronco, não sendo permitida a clonagem terapêutica.

DOS GIRINOS À OVELHA DOLLY

Transferências nucleares têm sido usadas como uma ferramenta valiosa no estudo de embriões. Até a década de 1990, a transferência nuclear usava núcleos de células de embriões precoces ou de células cultivadas. Há muito se sabe, por exemplo, que núcleos transferidos de células embrionárias de anfíbios permitem o desenvolvimento de adultos normais. Nas décadas de 1950 e 1960, Robert Briggs e

Thomas King, da Universidade de Indiana (Estados Unidos), realizaram interessantes experimentos com transplantes nucleares em embriões de sapos. Removendo o núcleo de uma célula do embrião e implantando esse núcleo em zigoto cujo núcleo fora previamente removido, tais pesquisadores observaram que um girino perfeito se desenvolvia e posteriormente se transformava em um adulto normal. Esse resultado indicava que o núcleo da célula doadora continha todos os genes necessários para o desenvolvimento de um indivíduo completo.

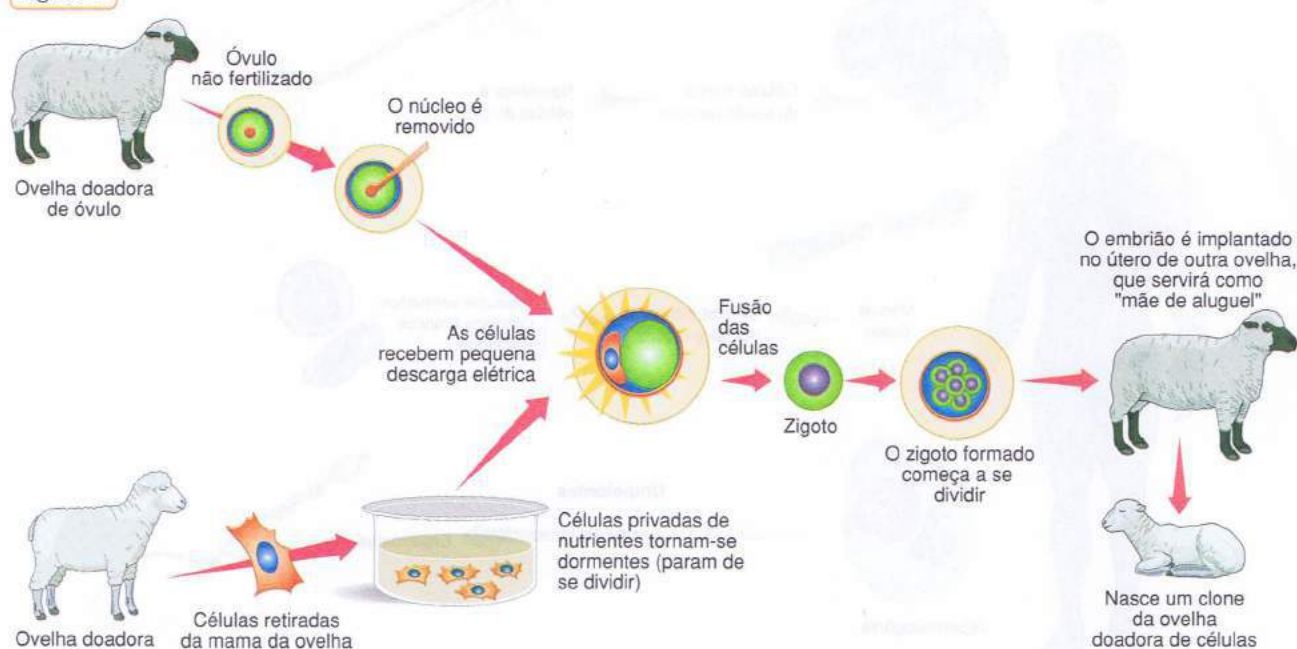
Em 1997, apresentou-se a primeira referência ao desenvolvimento de um embrião de mamífero depois da transferência de núcleos de uma linhagem de células já diferenciadas (no caso, células de glândulas mamárias de ovelhas). O fato de que a **ovelha Dolly** originou-se pela transferência do núcleo de uma célula adulta diferenciada confirma que a diferenciação celular não acarreta modificações irreversíveis no material genético necessário para permitir o desenvolvimento.

Precocemente, Dolly apresentou sinais de uma doença pulmonar degenerativa comum em ovelhas mais velhas, sugerindo envelhecimento precoce. Foi sacrificada em 2003, com apenas 6 anos de idade, ao passo que as ovelhas de sua raça vivem, em geral, mais de 12 anos.

CÉLULAS-TRONCO E CLONAGEM

A **clonagem terapêutica** visa obter células-tronco cultivadas em laboratório, com a finalidade de desenvolver tecidos. Já a execução do método com fins reprodutivos, gerando células-tronco capazes de formar embriões, desde que colocados em

Figura 11



Nascida por clonagem (do grego *klónos*, "rebento, broto, pequeno ramo") a partir de núcleo de célula diferenciada, a ovelha Dolly se tornou símbolo das pesquisas com embriões.

um útero, é a **clonagem reprodutiva**, que é condenada pela comunidade científica internacional e explicitamente proibida pela legislação de quase todos os países.

Sob determinadas circunstâncias, as células-tronco podem originar tipos específicos de células diferenciadas. Isso ocorre, particularmente, quando elas são mantidas em contato com células de determinado tipo. Por exemplo: células-tronco mantidas na proximidade de células musculares tendem a se converter em células musculares.

Por causa dessa capacidade, as células-tronco têm sido usadas no tratamento de algumas doenças degenerativas. Existem diversos casos documentados de sucesso com essa técnica no tratamento, por exemplo, de infarto do miocárdio. Após sofrer o infarto, certo número de células do miocárdio (músculo cardíaco) morre, em decorrência da má oxigenação. Com a perda de massa muscular funcionante, a capacidade contrátil do coração fica prejudicada a ponto de, em casos extensos, comprometer a força de bombeamento do sangue. Em certas situações, a solução é o transplante cardíaco.

O emprego de células-tronco, no entanto, tem mostrado um novo caminho. Essas células, que são obtidas por punção da medula óssea, são depois injetadas diretamente no miocárdio ou no sangue, de onde migram para o miocárdio. Havendo a diferenciação dessas células em células musculares cardíacas, ocorre a regeneração do músculo cardíaco, e a função hemodinâmica é restabelecida.

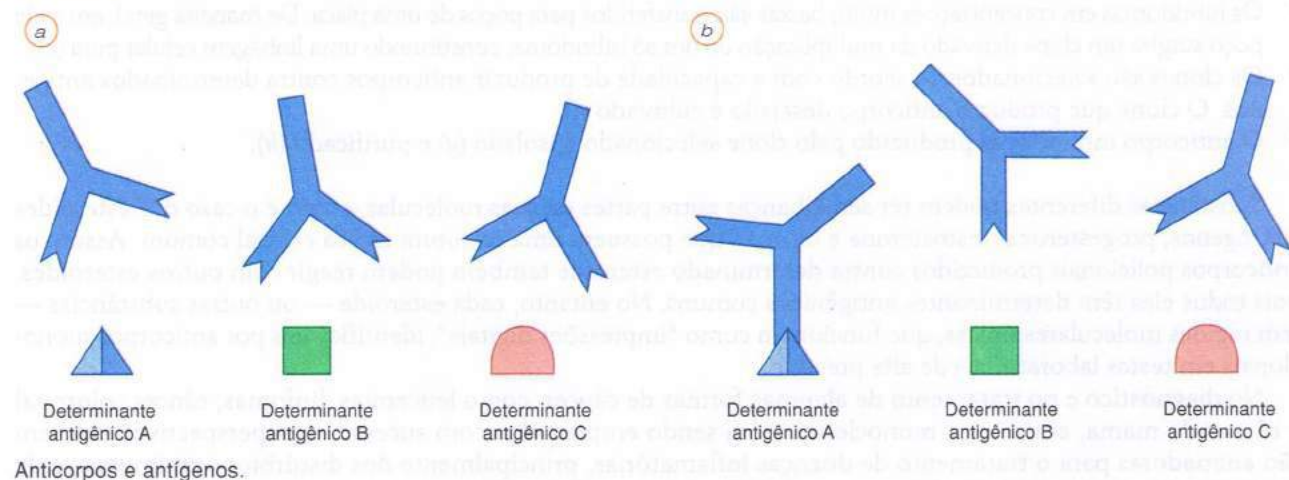
A terapia com células-tronco, portanto, é uma prática terapêutica (ou seja, um tratamento) em que se faz a substituição de tecidos lesados (doentes) por tecidos saudáveis, obtidos da diferenciação de células-tronco. Atualmente, essa forma de tratamento está sendo usada ou pesquisada em casos de doença de Parkinson, diabetes melito, distrofia muscular, esclerose múltipla, lesões de medula espinhal (como a secção por acidentes), doença de Alzheimer, doenças cardíacas, doenças renais e doenças hepáticas.

Pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveram uma técnica de tratamento da silicose — degeneração pulmonar grave causada pela inalação de pó de sílica, comum em regiões industriais e carvoarias — por injeção de células-tronco (retiradas da medula óssea do próprio paciente) diretamente no pulmão. Os primeiros resultados mostraram regeneração notável em poucas semanas, com regressão do quadro inflamatório associado à doença.

10 ANTICORPOS MONOCLONAIS

Os anticorpos presentes no sangue são produzidos por grande número de diferentes células B (ou linfócitos B). Em geral, os antígenos apresentam diversos determinantes antigênicos ou epitopos (figura 11 a), aos quais se ligam anticorpos específicos (figura 11 b).

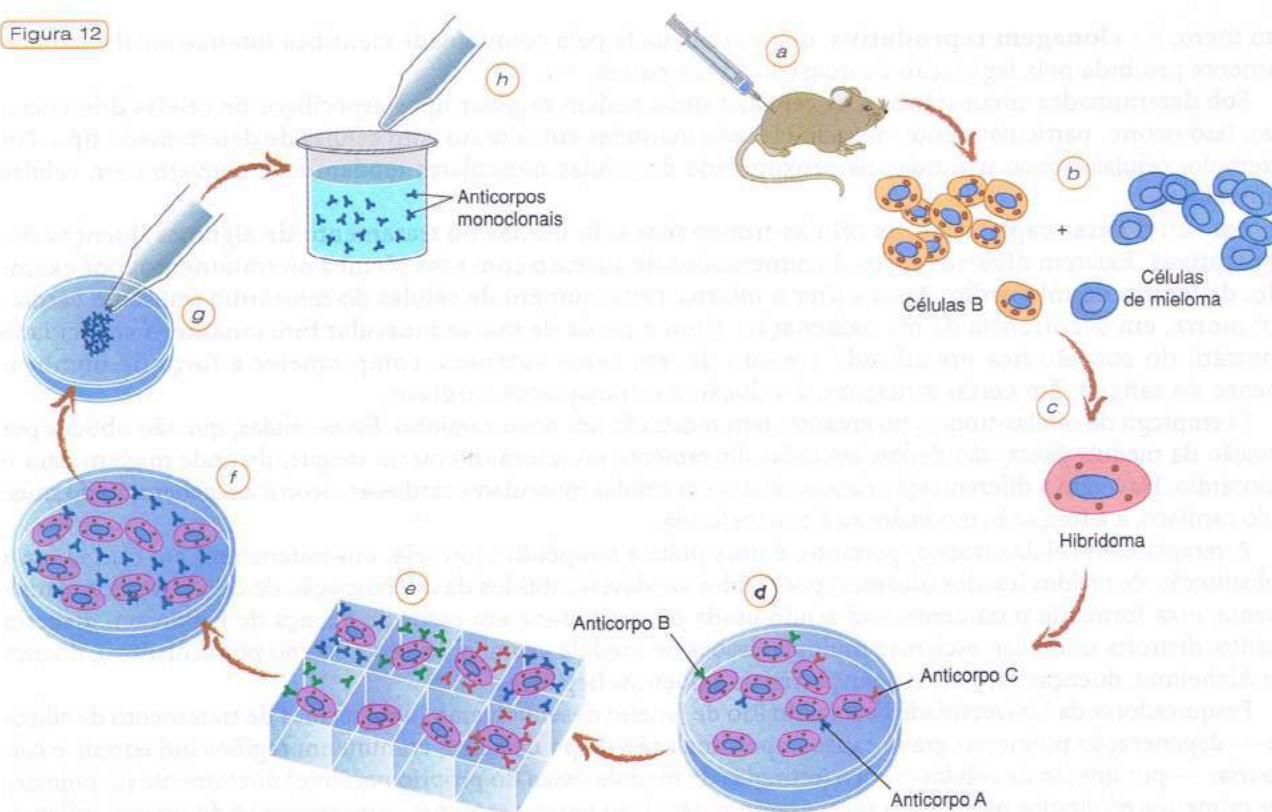
Figura 11



Como cada célula B fabrica um só tipo de anticorpo, os anticorpos que reconhecem certo antígeno — mais exatamente os determinantes antigênicos do antígeno — constituem uma mistura de vários tipos de moléculas. Essa mistura, denominada anticorpos policlonais, contém anticorpos produzidos por muitos clones de células B. Por outro lado, os chamados anticorpos monoclonais são sintetizados por um único clone de células B, isolado e mantido em crescimento *in vitro* por tempo indeterminado.

Em 1975, C. Milstein e G. Köhler criaram a técnica pioneira de produção de anticorpos monoclonais, cujas principais etapas estão representadas na figura 12.

Figura 12



Produção de anticorpos monoclonais.

- Um animal, geralmente um rato, é imunizado por meio de injeção de um antígeno com determinante antigênico de interesse (a).
- Células B são isoladas do baço do animal e misturadas com células virtualmente imortais de mieloma, um tipo de câncer (b).
- Células B fundem-se com células de mieloma, formando hibridomas, que mantêm a capacidade de crescer por tempo indefinido em meio de cultura (c).
- A mistura de hibridomas, células B e células de mieloma é transferida para um meio de cultura que permite o crescimento somente de hibridomas, cada um dos quais produz apenas um tipo de anticorpo, que interage especificamente com um determinante antigênico (d).
- Os hibridomas em concentrações muito baixas são transferidos para poços de uma placa. De maneira geral, em cada poço surgirá um clone derivado da multiplicação de um só hibridoma, constituindo uma linhagem celular pura (e).
- Os clones são selecionados de acordo com a capacidade de produzir anticorpos contra determinados antígenos. O clone que produz o anticorpo desejado é cultivado (f).
- O anticorpo monoclonal produzido pelo clone selecionado é isolado (g) e purificado (h).

Substâncias diferentes podem ter semelhanças entre partes de suas moléculas, como é o caso dos esteroides (estrógenos, progesterona, testosterona e outros), que possuem uma estrutura cíclica central comum. Assim, os anticorpos policlonais produzidos contra determinado esteroide também podem reagir com outros esteroides, pois todos eles têm determinantes antigênicos comuns. No entanto, cada esteroide — ou outras substâncias — tem regiões moleculares únicas, que funcionam como “impressões digitais”, identificáveis por anticorpos monoclonais em testes laboratoriais de alta precisão.

No diagnóstico e no tratamento de algumas formas de câncer, como leucemias, linfomas, câncer colorretal e câncer de mama, anticorpos monoclonais vêm sendo empregados com sucesso, e as perspectivas também são animadoras para o tratamento de doenças inflamatórias, principalmente dos distúrbios autoimunes, e da rejeição de órgãos transplantados.

Anticorpos monoclonais ligados a marcadores, como substâncias radioativas ou fluorescentes, são usados para identificar antígenos na superfície de células cancerígenas, possibilitando o diagnóstico, a delimitação e a distribuição exata de tumores. No tratamento, os anticorpos monoclonais apresentam diferentes mecanismos de ação, por exemplo:

- bloqueiam a atividade de proteínas essenciais à sobrevivência de células cancerígenas;
- possibilitam o reconhecimento de células cancerígenas por células T matadoras (ou células T *natural killers*) do sistema imune;
- ligados a substâncias tóxicas ou radioativas, funcionam como “balas mágicas” contra células cancerígenas.

- 1 (PUC-RJ) A figura a seguir mostra como o DNA de uma determinada planta foi modificado de maneira que ela se tornasse resistente a um herbicida.



Fonte: <http://nutriteengv.blogspot.com>

Com relação à técnica usada, é correto afirmar que:

- foram usadas enzimas de restrição no DNA da planta.
- algumas bactérias têm capacidade de transferir parte de seu material genético para o genoma de determinadas plantas.
- somente as plantas não infectadas por bactérias se tornaram resistentes ao herbicida.
- o plasmídeo corresponde à porção de DNA cromossômico das bactérias.
- ao contrário das bactérias, os vírus nunca são usados para introduzir genes em células no processo de formação de organismos transgênicos.

A ligação do DNA da planta com os plasmídios bacterianos (segmentos de DNA separados do cromossomo bacteriano dotados de genes que conferem resistência ao herbicida) é possível porque o DNA é fracionado em pontos específicos por enzimas de restrição. Em condições naturais, as bactérias não hibridizam seu DNA com o das plantas. Vírus podem ser usados, em processos de obtenção de organismos transgênicos, para introduzir genes em células.

Alternativa a

- 2 (Unicamp-SP) Doenças graves como o botulismo, a lepra, a meningite, o tétano e a febre maculosa são causadas por bactérias. As bactérias, no entanto, podem ser úteis em tecnologias que empregam a manipulação de DNA, funcionando como verdadeiras "fábricas" de medicamentos como a insulina.

- Explique como a bactéria pode ser utilizada para a produção de medicamentos.

O gene humano que codifica a produção da proteína que se quer obter é isolado e inserido em um plasmídeo bacteriano. Esse fragmento de DNA recombinante (pois contém DNA humano e de bactéria ligados) é colocado em uma bactéria e transmitido aos seus descendentes por meio da reprodução. As bactérias com o DNA recombinante expressam os genes do plasmídeo e produzem a proteína de interesse, que pode ser recolhida, purificada e usada em humanos.

- O botulismo e o tétano decorrem da ação de toxinas produzidas por bactérias que são adquiridas de diferentes formas pelos seres humanos. Como pode ocorrer a contaminação por essas bactérias?

A contaminação do botulismo ocorre quando as bactérias são ingeridas juntamente com alimentos malconservados. No caso do tétano, ferimentos profundos permitem a entrada das bactérias existentes no solo, geralmente na forma de esporos resistentes.

- 3 (Vunesp) Considere o cartum.



De maneira bem humorada e com certo exagero, a figura faz referência aos:

- organismos transgênicos, nos quais genes de uma espécie são transferidos para outra espécie de modo que esta última expresse características da primeira.
- organismos geneticamente modificados, nos quais técnicas de engenharia genética permitem que se manipulem genes da própria espécie, fazendo-os expressar características desejáveis.
- animais híbridos, obtidos a partir do cruzamento entre indivíduos de espécies diferentes, o que permite que características de uma espécie sejam expressas por espécies não aparentadas.
- animais obtidos por seleção artificial, a partir da variabilidade obtida por acasalamentos direcionados, processo que permite desenvolver em espécies domésticas características de interesse comercial.
- animais resultantes de mutação gênica, mecanismo a partir do qual os indivíduos da espécie produzem novas características, em resposta às necessidades impostas pelo ambiente.

A charge faz referência, com bastante exagero, à obtenção de organismos geneticamente modificados (ou transgênicos), seres que recebem genes de outra espécie e passam a exibir características típicas desta.

Alternativa a

- 4 (Enem-MEC) Leia o texto a seguir.

Um instituto de pesquisa estadunidense divulgou recentemente ter criado uma "célula sintética", uma bactéria chamada de *Mycoplasma mycoides*. Os pesquisadores montaram uma sequência de nucleotídeos, que formam o único cromossomo dessa bactéria, o qual foi introduzido em outra espécie de bactéria, a *Mycoplasma capricolum*. Após a introdução, o cromossomo da *M. capricolum* foi neutralizado e o cromossomo artificial da *M. mycoides* começou a gerenciar a célula, produzindo suas proteínas.

Adaptado de GILBSON et al. Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science*. v. 329, 2010.

A importância dessa inovação tecnológica para a comunidade científica se deve à:

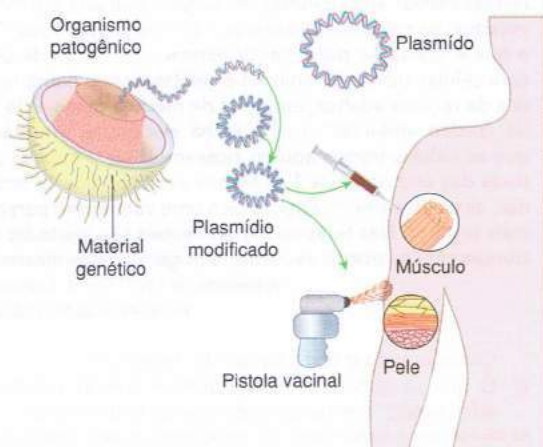
- possibilidade de sequenciar os genomas de bactérias para serem usadas como receptoras de cromossomos artificiais.
- capacidade de criação, pela ciência, de novas formas de vida, usando substâncias como carboidratos e lipídios.
- possibilidade de produção em massa da bactéria *Mycoplasma capricolum* para sua distribuição em ambientes naturais.
- possibilidade de programar geneticamente microrganismos ou seres mais complexos para produzir medicamentos, vacinas e combustíveis.
- capacidade da bactéria *Mycoplasma capricolum* de expressar suas proteínas na bactéria sintética e estas serem usadas na indústria.

O experimento abre a possibilidade de usar microrganismos como "fábricas" de proteínas e outras substâncias de interesse humano após a introdução de moléculas de DNA sintéticas especialmente produzidas para esse fim.

Alternativa d

- 5** (Uespi) Todos os anos, o Ministério da Saúde do Brasil realiza campanha nacional para erradicação da poliomielite com a administração da vacina oral Sabin, uma das vacinas mais modernas do mundo, visto que bastam algumas gotas contendo antígenos virais para imunizar a população. Contudo, a perspectiva é que as futuras vacinas sejam preparadas a partir do DNA dos microrganismos-alvo.

Sobre este assunto, observe a figura a seguir e assinale a afirmativa correta.



Adaptado de Scientific American, 1999.

- Vacinas de DNA são constituídas por cromossomos do próprio hospedeiro enxertados com DNA microbiano.
- Vacinas de DNA induzem a produção de proteínas microbianas pelas células do hospedeiro.
- Vacinas de DNA não induzem a formação de células B de memória e anticorpos no hospedeiro.
- Vacinas de DNA não poderiam ser produzidas contra vírus que possuem material genético de RNA.
- Vacinas de DNA induziriam a produção de anticorpos somente quando o hospedeiro fosse infectado pelo microrganismo-alvo da vacina.

As vacinas de DNA induzem as células do hospedeiro a produzir proteínas do microrganismo-alvo, estimulando respostas imunológicas humoral (produção de anticorpos) e celular (geração de células capazes de destruir as que foram invadidas pelo agente infeccioso), que protegem o organismo de futuras infecções.

Alternativa b

- 6** (Mackenzie-SP) Os jornais têm noticiado o uso de uma técnica de tratamento para doenças decorrentes da ação de genes defeituosos. É a chamada terapia gênica, na qual se utiliza, geralmente, um vírus como transportador do gene humano normal. A respeito dessa técnica, assinale a afirmativa incorreta.

- O vírus tem parte do seu material genético retirado e substituído por um gene humano.
- Se o material genético do vírus for retirado, o organismo humano não o reconhece como estranho e não produz anticorpos, permitindo que o gene humano sempre alcance seu objetivo.
- O vírus utiliza sua capacidade de infecção para injetar nas células humanas defeituosas o gene em questão.
- O gene injetado pelo vírus na célula humana será ativado, corrigindo o problema causado pelo gene defeituoso.
- A ativação do gene injetado tem como consequência a produção de uma proteína que deve funcionar corretamente.

As proteínas virais são reconhecidas pelo sistema imunológico do paciente; mesmo assim, o vírus tem tempo suficiente para injetar nas células o gene humano que carrega.

Alternativa b

- 7** (Vunesp) Leia o texto a seguir.

Uma novidade dos cientistas: combate à dengue com a ajuda do próprio mosquito transmissor

Para os animais, o ato sexual é o caminho para a perpetuação da espécie. Um objetivo primordial que está se invertendo — pelo menos para o *Aedes aegypti*, o mosquito transmissor da dengue. Por meio de manipulação genética, uma população de machos criada em laboratório recebeu um gene modificado que codifica uma proteína letal à prole. Quando esses machos cruzam com fêmeas normais existentes em qualquer ambiente, transmitem o gene à prole, que morre ainda no estágio larval. A primeira liberação na natureza desses animais geneticamente modificados no Brasil foi aprovada em dezembro de 2010 pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). A linhagem deverá ser liberada no município de Juazeiro, no estado da Bahia.

Adaptado de SILVEIRA, E. Pesquisa Fapesp, fev. 2011.

Sobre a notícia, pode-se afirmar corretamente que os mosquitos:

- transgênicos liberados no ambiente irão se reproduzir e aumentar em número, substituindo a população original.
- criados em laboratório, quando liberados no ambiente, irão contribuir com a redução do tamanho populacional das gerações seguintes.
- geneticamente modificados são resistentes à infecção pelo vírus causador da dengue, o que reduz a probabilidade de transmissão da doença.
- são portadores de uma mutação em um gene relacionado à reprodução, tornando-os estéreis e incapazes de se reproduzirem e transmitirem a dengue.
- modificados produzem prole viável somente se cruzarem com fêmeas, também modificadas, portadoras do mesmo gene.

De acordo com o texto, os organismos geneticamente modificados serão liberados no ambiente e, ao cruzarem com fêmeas selvagens, gerarão prole com o gene letal, eliminando os mosquitos no estágio larval, portanto antes de se tornarem transmissores da dengue. Isso contribuirá para reduzir o tamanho da população de mosquitos nas gerações seguintes.

Alternativa b

- 8** (Fuvest-SP) Leia o texto a seguir.

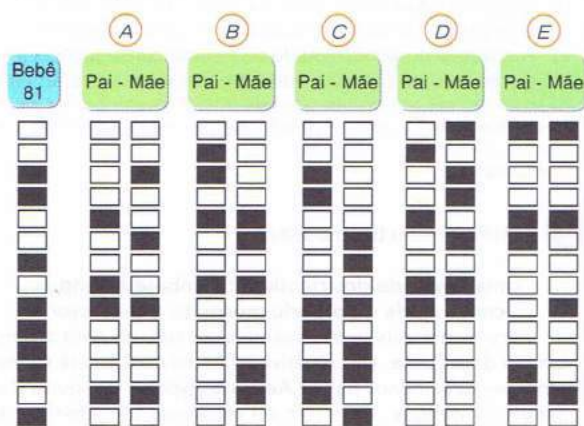
Teste de DNA confirma paternidade de bebê perdido no tsunami

Um casal do Sri Lanka que alegava ser os pais de um bebê encontrado após o tsunami que atingiu a Ásia, em dezembro de 2005, obteve a confirmação do fato por meio de um exame de DNA. O menino, que ficou conhecido como "bebê 81" por ser o 81º sobrevivente a dar entrada no hospital de Kalmunai, era reivindicado por nove casais diferentes.

Adaptado de Folha.com, 14 fev. 2005.

Algumas regiões do DNA são sequências curtas de bases nitrogenadas que se repetem no genoma, e o número de repetições dessas regiões varia entre as pessoas. Existem procedimentos que permitem visualizar essa variabilidade, revelando padrões de fragmentos de DNA que são "uma

impressão digital molecular*. Não existem duas pessoas com o mesmo padrão de fragmentos, com exceção dos gêmeos monozigóticos. Metade dos fragmentos de DNA de uma pessoa é herdada de sua mãe, e metade, de seu pai. Com base nos padrões de fragmentos de DNA representados a seguir, qual dos casais pode ser considerado como pais biológicos do bebê 81?



As marcas escuras encontradas na amostra do bebê 81 representam fragmentos específicos de seu DNA que devem ser provenientes de sua mãe e/ou de seu pai.

Alternativa c

9 (U. E. Maringá-PR) Sobre a eletroforese de DNA, é correto afirmar:

- (01) É realizada usando-se uma placa com gel especial, fragmentos de DNA e aplicação de corrente elétrica.
- (02) Os fragmentos de DNA que possuem cargas negativas se deslocam para o polo positivo, quando é aplicada uma descarga elétrica na placa de gel.
- (04) A eletroforese de DNA tem sido usada para a identificação de pessoas, nas investigações policiais, em processos judiciais e na determinação da paternidade.
- (08) Gêmeos monozigóticos podem ser distinguidos pela análise do DNA nuclear.
- (16) Os fragmentos separados por eletroforese são formados por DNA com cadeia dupla.

Dê a soma dos números dos itens corretos.

- (08) (F) Gêmeos monozigóticos (ou idênticos) apresentam a mesma composição genética e, portanto, não são distinguíveis pelo seu DNA.

Soma = 23 (01 + 02 + 04 + 16)

10 (Enem-MEC) A utilização de células-tronco do próprio indivíduo (autotransplante) tem apresentado sucesso como terapia medicinal para a regeneração de tecidos e órgãos cujas células perdidas não têm capacidade de reprodução, principalmente em substituição aos transplantes, que causam muitos problemas devido à rejeição pelos receptores. O autotransplante pode causar menos problemas de rejeição quando comparado aos transplantes tradicionais, realizados entre diferentes indivíduos. Isso porque as:

- a) células-tronco se mantêm indiferenciadas após sua introdução no organismo do receptor.
- b) células provenientes de transplantes entre diferentes indivíduos envelhecem e morrem rapidamente.
- c) células-tronco, por serem doadas pelo próprio indivíduo receptor, apresentam material genético semelhante.
- d) células transplantadas entre diferentes indivíduos se diferenciam em tecidos tumorais no receptor.
- e) células provenientes de transplantes convencionais não se reproduzem dentro do corpo do receptor.

Células provenientes do próprio receptor apresentam material genético e proteínas de reconhecimento típicas desse organismo, o que evita os ataques imunológicos que caracterizam a rejeição. Por essa razão, o autotransplante vem se tornando cada vez mais disseminado, com o desenvolvimento de técnicas que permitem estocar células-tronco obtidas do cordão umbilical, por exemplo, para uso posterior.

Alternativa c

11 (UFRN) A doença de Chagas crônica se caracteriza por uma destruição progressiva do miocárdio. Uma alternativa experimental para a reparação dos danos no tecido cardíaco tem sido a terapia com células-tronco de medula óssea, e os resultados têm se mostrado promissores.

É correto afirmar que as células-tronco:

- a) embrionárias têm capacidade de diferenciação maior que a das de medula óssea.
- b) embrionárias bem como as do sistema hematopoético são células especializadas.
- c) de medula óssea devem ser extraídas do animal ainda nas fases iniciais de sua vida.
- d) de medula óssea são consideradas indiferenciadas, ao contrário das embrionárias

Células-tronco são indiferenciadas e podem originar outros tipos de células. As embrionárias, que são totipotentes (podem gerar qualquer tipo de célula) têm maior capacidade de diferenciação que as da medula óssea, que são multipotentes (diferenciam-se em alguns tipos de células, apenas).

Alternativa a

12 (Unifesp) Leia o texto a seguir.

Em abril de 2005, a revista *Pesquisa Fapesp* reforçava a importância da aprovação da Lei de Biossegurança para as pesquisas brasileiras com células-tronco e, ao mesmo tempo, ponderava: "Nos últimos anos, enquanto os trabalhos com células-tronco embrionárias de origem humana permaneciam vetados, os cientistas brasileiros não ficaram parados. Fizeram o que a legislação permitia: desenvolveram linhas de pesquisa com células-tronco de animais e células-tronco humanas retiradas de tecidos adultos, em geral de medula óssea e do sangue de cordão umbilical". [...] Não há evidências irrefutáveis de que as células-tronco adultas possam exibir a mesma plasticidade das embrionárias. [...] Menos versáteis que as embrionárias, as células-tronco adultas têm uma vantagem: parecem ser mais seguras. Nas terapias experimentais são injetadas nos pacientes células-tronco extraídas, em geral, deles mesmos.

Adaptado de PIVETTA, M. Disponível em: www.revistapesquisa.fapesp.br

Considerando o texto da revista, responda:

- a) O que se quer dizer ao se afirmar que as células-tronco adultas são "menos versáteis que as embrionárias"?

As células-tronco embrionárias são totipotentes, ou seja, capazes de se diferenciarem em células de qualquer tipo de tecido. Já as células-tronco adultas geralmente diferenciam-se em uma ou algumas linhagens celulares.

- b) Qual a vantagem de injetar nos pacientes células-tronco extraídas deles mesmos?

A vantagem é evitar que o organismo do paciente rejeite as células recebidas.



13 (UFBA) Leia os textos a seguir.

Considerada "doença de pobre" pela indústria farmacêutica, a malária é um problema de saúde pública mundial, que aflige 240 milhões de pessoas no mundo, mata 850 mil delas (principalmente crianças) e está presente em 108 países, segundo a Organização Mundial da Saúde.

Adaptado de VIEIRA, C. L. Borrifada contra a malária. *Ciência Hoje*. Rio de Janeiro: Ediouro, abr. 2011.

Uma nova estratégia para o controle da doença consiste na ação do fungo *Metarhizium anisopliae* sobre o *Plasmodium falciparum*; esse fungo infecta mosquitos através da cutícula e prolifera na hemolinfa. Nesta estratégia, os pesquisadores produziram linhagens recombinantes de *M. anisopliae* que expressam, em momento e local específicos, informações genéticas derivadas da espécie humana — um anticorpo monoclonal de cadeia única — e do escorpião, ambos com poder de combater o parasita na forma de esporozoítos. A introdução de linhagens modificadas do fungo no mosquito reduz significativamente o número de esporozoítos nas glândulas salivares (até 98%).

Adaptado de FANG, W. et al. Development of transgenic fungi that kill human malaria parasites in mosquitoes. *Science*. vol. 331, fev. 2011.

Associando as informações do texto aos conhecimentos sobre a história evolutiva dos seres vivos e mecanismos específicos de defesa orgânica, responda ao que se pede.

- a) Identifique e explique as bases biológicas envolvidas nessa estratégia de controle da malária.

A universalidade do código genético, associada ao fato de que os seres vivos possuem ancestrais comuns, possibilita que o material genético de uma espécie seja traduzido em proteínas nas células de outra espécie. Dessa forma, genes associados à produção de moléculas indutoras de imunidade existentes em humanos e escorpiões podem ser usados pelos fungos no combate aos mosquitos transmissores da malária.

- b) Relacione a redução do número de esporozoítos nas glândulas salivares do mosquito ao sucesso dessa estratégia, considerando o ciclo de vida do agente causador da malária.

Os esporozoítos são formas do protozoário *Plasmodium falciparum* que ficam alojadas nas glândulas salivares do mosquito e são por eles introduzidos na corrente sanguínea humana quando ocorre a picada. A redução significativa da quantidade de esporozoítos reduz a capacidade de transmissão do mosquito.

14 (PUC-SP) Leia o texto a seguir.

O século XXI trouxe consigo uma sociedade em franco processo de amadurecimento científico e tecnológico. Nesse contexto, a biotecnologia tem se destacado pela grande produtividade e pelas contribuições nas mais diversas áreas. A biotecnologia pode ser entendida como qualquer aplicação tecnológica desenvolvida a partir do uso de organismos vivos ou de seus derivados. Um evento em particular, ocorrido na segunda metade do século XX, definiu os rumos da biotecnologia do século XXI: o desenvolvimento da tecnologia do DNA recombinante. A possibilidade de manipulação do DNA abriu múltiplas perspectivas de aplicações biotecnológicas, como, por exemplo, a produção de etanol a partir de celulose realizada por microrganismos transgênicos. Um exemplo de organismo geneticamente modificado capaz de efetuar essa produção é a bactéria *Klebsiella oxytoca*. A modificação genética da *Klebsiella* envolveu o desenvolvimento da capacidade de sintetizar a enzima celulase, que hidrolisa a celulose, e da capacidade de usar os carboidratos resultantes dessa hidrólise em processos fermentativos geradores de etanol. A primeira dessas habilidades se desenvolveu graças ao trecho de DNA proveniente da bactéria *Clostridium thermocellum*. Por outro lado, a capacidade fermentativa derivou do DNA recebido, por engenharia genética, da bactéria *Zymomonas mobilis*. O uso em larga escala da *Klebsiella* transgênica permitiria obter etanol do bagaço da cana-de-açúcar, da palha do milho ou de qualquer substrato vegetal rico em celulose. Apesar das potencialidades, a modificação genética de microrganismos visando à produção de etanol ainda esbarra em dificuldades técnicas, que somente serão superadas com mais investimentos em pesquisa. Enquanto melhores resultados não vêm, a produção de etanol ainda ficará na dependência dos tradicionais processos fermentativos, como aqueles realizados por leveduras no caldo de cana-de-açúcar.

Com base no texto e em seus conhecimentos, responda:

- a) A bactéria *Klebsiella oxytoca* recebeu trechos de DNA de *Clostridium thermocellum* e *Zymomonas mobilis*. Como essa inserção de material genético permite que a bactéria *Klebsiella oxytoca* passe a produzir etanol a partir de celulose? Considere, em sua resposta, os processos de transcrição e tradução.

Trechos de DNA obtidos das bactérias *Clostridium thermocellum* e *Zymomonas mobilis* são usados pela célula de *Klebsiella oxytoca* na produção de enzimas envolvidas com a produção de etanol. Isso é possível graças à universalidade do código genético, o que permite que um tipo de bactéria traduza proteínas com base nas informações do DNA de bactérias de outras espécies.

- b) Que tipo de microrganismo é uma levedura?

Levedura é um fungo unicelular (espécie *Saccharomyces cerevisiae*).

Leia o texto a seguir para responder às questões 15 e 16.

A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) aprovou em setembro de 2011 a produção comercial no Brasil de um feijão geneticamente modificado desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A alteração genética no feijão impede que a planta contraia a doença conhecida como mosaico dourado, capaz de dizimar plantações inteiras. Esta doença é causada por um vírus que promove danos em quase todas as regiões onde se cultiva feijão nas Américas. Este vírus é transmitido pela mosca-branca (*Bermisia tabaci*) que, ao se alimentar das plantas, acaba transferindo o vírus. O principal método para o controle da mosca-branca é o uso frequente de inseticidas nas lavouras. Contudo, poucos inseticidas têm se mostrado eficientes no controle da praga, elevando os custos de produção sem reduzir a taxa de transmissão do vírus. Para combater o vírus, os pesquisadores da Embrapa introduziram nas plantas de feijão um gene que é transcrito em um RNA de interferência, que possui a capacidade de promover a degradação de um RNAm viral específico. O RNAm viral, alvo da degradação, é responsável pela síntese de uma proteína necessária para que ocorra a multiplicação do vírus na célula vegetal (proteína Rep). Desta forma, o feijoeiro transgênico impede a multiplicação do vírus e evita a doença.

Adaptado de www.ctnbio.gov.br.

- 15 (PUC-RS) Com referência ao efeito esperado do feijoeiro geneticamente modificado sobre a população de mosca-branca e ao controle da doença do mosaico dourado, afirma-se:
- O feijoeiro transgênico está protegido do mosaico dourado, mesmo na presença da mosca-branca.
 - A manipulação genética das plantas interfere na multiplicação da mosca-branca.
 - A transmissão do vírus será reduzida devido à diminuição da população de moscas-brancas hospedeiras.
 - A ausência da produção da proteína Rep nas células do vegetal impede a proliferação viral no feijoeiro.

Estão corretas apenas as afirmativas:

- I e II
- I e IV
- II e III
- III e IV
- I, II e III

II. (F) A manipulação genética do feijoeiro não afeta a proliferação da mosca, mas compromete a eficiência dos vírus que infectam as plantas.

III. (F) Como a população de moscas não é afetada, a transmissão dos vírus continuará a ocorrer. No entanto, como um RNAm fundamental para a proliferação dos vírus é degradado, a ação viral na planta não será efetiva.

Alternativa b

- 16 (PUC-RS) A estratégia molecular para controlar a doença causada pelo vírus que ataca o feijoeiro se baseia em:

- evitar que ocorra a produção do RNA de interferência do vírus.
- impedir que ocorra a transcrição do RNAm da proteína Rep.
- impossibilitar a tradução do RNAm da proteína Rep.
- impedir que ocorra a replicação da proteína Rep.
- impossibilitar a replicação do DNA da planta.

Como ocorre a degradação do RNAm, ele não poderá ser traduzido em proteínas Rep, o que inibe a replicação viral.

Alternativa c

1 (U. F. Campina Grande-PB) A tecnologia do DNA recombinante usa enzimas denominadas Taq-polimerases (DNA-polimerases resistentes às altas temperaturas) para síntese *in vitro* de fragmentos de DNA, com o auxílio de equipamentos chamados termocicladores. O método permite copiar segmentos do DNA celular e replicá-los várias vezes. Outra ferramenta utilizada na moderna biotecnologia são as enzimas de restrição, cuja função é:

- desnaturar a dupla fita do DNA e permitir a quebra de ligações moleculares, momento em que ocorre a duplicação.
- realizar a reação em cadeia de polimerase (PCR) a partir da extração do DNA celular de qualquer ser vivo, por meio de hidrólise catalítica.
- substituir as bases nitrogenadas na duplicação semiconservativa do DNA, na qual se observa a síntese de uma fita complementar desse DNA a partir de uma outra já existente.
- substituir a polimerase extraída da bactéria *Escherichia coli*, sensível a altas temperaturas, na técnica de reação em cadeia, evitando sua desnaturação.
- cortar o DNA em sequências de bases nitrogenadas previamente determinadas e em pontos específicos — como faz, por exemplo, a enzima Eco-RI.

2 (Enem-MEC)

Um novo método para produzir insulina artificial que utiliza tecnologia de DNA recombinante foi desenvolvido por pesquisadores do departamento de biologia celular da Universidade de Brasília (UnB) em parceria com a iniciativa privada. Os pesquisadores modificaram geneticamente a bactéria *Escherichia coli* para torná-la capaz de sintetizar o hormônio. O processo permitiu fabricar insulina em maior quantidade e em apenas 30 dias, um terço do tempo necessário para obtê-la pelo método tradicional, que consiste na extração do hormônio a partir do pâncreas de animais abatidos.

Adaptado de *Ciência Hoje*, 24 abr. 2001.
Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br>

A produção de insulina pela técnica do DNA recombinante tem, como consequência:

- o aperfeiçoamento do processo de extração de insulina a partir do pâncreas suíno.
- a seleção de microrganismos resistentes a antibióticos.
- o progresso na técnica da síntese química de hormônios.
- impacto favorável na saúde de indivíduos diabéticos.
- a criação de animais transgênicos.

3 (UFPB)

As técnicas de engenharia genética permitem transmitir genes de indivíduos de uma espécie para indivíduos de outra espécie. Assim, sequências específicas de pares de bases da molécula de DNA podem ser cortadas, de uma forma controlada, por **enzimas bacterianas que atuam como tesouras moleculares** (1). Pela ação dessas enzimas, o DNA do plasmídeo pode ser cortado e emendado em um outro segmento de uma molécula de DNA. **As moléculas assim produzidas** (2) podem ser introduzidas em bactérias hospedeiras e passarem a multiplicar-se juntamente com elas, gerando bilhões de bactérias idênticas. Por essa tecnologia é possível introduzir genes humanos em **bactérias que recebem e incorporam genes de outra espécie e os transmitem à sua prole** (3).

No texto, os termos em destaque — (1), (2) e (3) — correspondem, respectivamente, a:

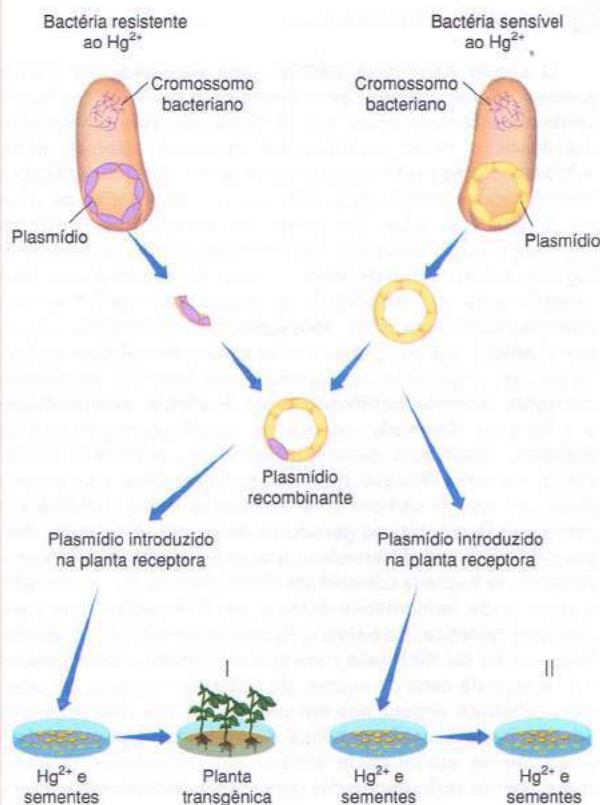
- endonucleases de restrição / DNA do plasmídeo / clone genético.
- endonucleases de restrição / DNA recombinante / organismo transgênico.
- endonucleases de restrição / DNA recombinante / plasmídeo.
- DNA-polimerase / DNA do plasmídeo / clone genético.
- DNA-polimerase / DNA recombinante / organismo transgênico.

4. (UFRJ) As técnicas modernas de engenharia genética tornaram possível a produção de plantas transgênicas, que possuem genes introduzidos artificialmente em seu genoma. Entre as várias estratégias de produção de plantas transgênicas, destacamos duas:

- Plantas resistentes a certos vírus patogênicos que, na ausência do gene de resistência, as matariam.
- Plantas mais resistentes aos efeitos dos defensivos agrícolas (agrotóxicos). Essas plantas toleram concentrações maiores de agrotóxico sem alterar as propriedades tóxicas dos defensivos agrícolas.

Do ponto de vista ambiental, qual das duas estratégias não é recomendável? Justifique sua resposta.

5 (UFMG) Analise este esquema de um experimento para obtenção de uma planta transgênica com resistência ao mercúrio, utilizando a tecnologia do DNA recombinante:



- Explique por que, em I, ocorre o desenvolvimento da planta transgênica.
- Cite um argumento que justifica a importância da obtenção desse tipo de organismo transgênico.

6 (Unifei-SP)

A batalha de propaganda entre defensores e adversários dos transgênicos rendeu duas notícias de impacto. A favor: a área plantada cresceu 13% este ano. Contra: variedades tradicionais de milho no México foram contaminadas com o milho transgênico Bt. Segundo estimativa do Serviço Internacional para a Aquisição de Aplicações de Agrobiotecnologia, serão cultivados com plantas transgênicas 50 milhões de hectares, uma área quase do tamanho da França. A segunda notícia veio como denúncia, distribuída pela organização não governamental Greenpeace. Segundo a ONG, testes realizados em 22 comunidades do estado mexicano de Oaxaca revelaram que em quinze delas o milho continha variedades transgênicas.

Folha de S. Paulo

As afirmações a seguir tratam da técnica dos chamados alimentos transgênicos, para as variedades de milho.

- A bactéria *Bacillus thuringiensis* produz uma toxina capaz de destruir o intestino de larvas de insetos; portanto, a técnica consiste em transferir trechos de DNA da bactéria, responsáveis pela produção da toxina para o núcleo das células do milho.
- Um pedaço de tecido foliar da espécie de milho é cultivado em meio nutritivo contendo pesticidas capazes de eliminar pragas; assim, origina plantas resistentes.
- Os brotos de milho são mantidos em pequenas estufas isoladas, com temperatura e luminosidade controladas, e assimilam pelas raízes bactérias que produzem toxina, as quais foram inoculadas previamente no solo.

Indique:

- se apenas I é correta.
- se apenas II é correta.
- se apenas III é correta.
- se apenas I e III são corretas.
- se nenhuma das afirmativas é correta.

7 (Unesp) Esforços de cientistas criaram a primeira rosa do mundo com pigmento para cor azul. Anteriormente, rosas de coloração azul já eram produzidas por meio de cruzamentos, mas não eram consideradas verdadeiramente azuis. Segundo o jornal *The Japan Times*, a técnica recentemente utilizada consistiu no seguinte: o gene da enzima que produz o pigmento azul (chamado delphinidina) foi extraído do amor-perfeito e, posteriormente, introduzido e ativado nas rosas.

- Como se chamam as estruturas mais vistosas e atraentes das flores, que passaram a ter cor azul?
- Qual o significado biológico do fato de certas plantas apresentarem flores com cores tão vistosas?
- Qual é a relação entre esta técnica para a produção de flores azuis e as técnicas empregadas na produção de alimentos transgênicos?

8 (Unesp)

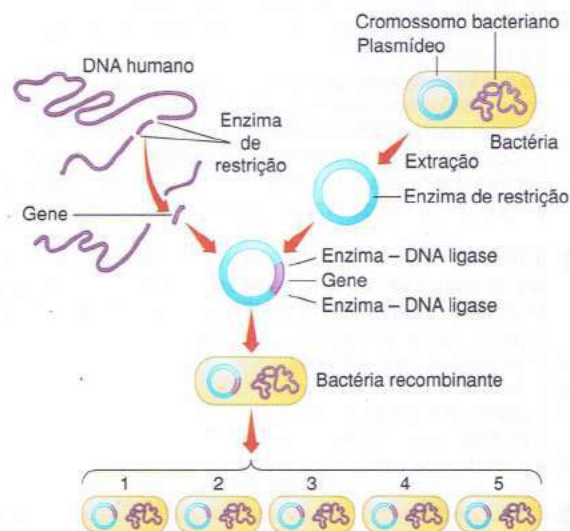
O primeiro teste de terapia gênica humana utilizou células sanguíneas, pois são de fácil obtenção e fácil reintrodução no corpo. A paciente foi uma menina com doença da imunodeficiência combinada grave. A criança possuía sistema imune deficiente e não podia defender-se contra infecções. Sua doença era a mesma que a do "menino da bolha", que viveu sua curta vida em um ambiente estéril. A causa da doença da menina era um defeito em um gene que codifica a enzima adenosina-desaminase (ADA). Os cientistas do Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos coletaram sangue da menina, separaram os linfócitos (um tipo de glóbulo branco) e, usando um retrovírus, introduziram nessas células uma cópia correta do gene da ADA. Depois disso, reintroduziram os linfócitos na paciente. As células alteradas produziram a enzima que faltava; hoje, a menina é mais saudável que antes.

H. Kreuzer e A. Massey - Engenharia genética e biotecnologia.

- A partir do exemplo apresentado no texto, explique em que consistem, de maneira geral, os tratamentos denominados "terapia gênica".

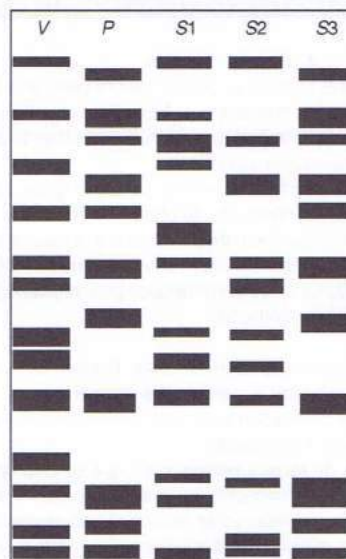
- Selecione e transcreva o segmento do texto que justifica a afirmação de que a terapia gênica é um exemplo de engenharia genética.

9 (Univasf-PE) A produção de certos hormônios da espécie humana já tem sido possível em laboratório, graças ao desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética. Para tal produção, é seguido um roteiro experimental, como mostrado na ilustração a seguir, seguido do isolamento e da purificação do produto. O resultado indicado de 1 a 5 é denominado:



- sondas genéticas.
- DNAs complementares.
- sondas de RNA.
- clones.
- DNAs *fingerprint* (impressões digitais)

10 (U. F. Uberlândia-MG) Entre as aplicações atuais da genética molecular, temos os testes de identificação de pessoas por meio do DNA. Essa técnica, que pode ser usada para identificar suspeitos em investigações policiais, consiste em detectar e comparar sequências repetitivas ao longo de trechos da molécula de DNA, regiões conhecidas como VNTR (número variável de repetições em sequência, da sigla em inglês). A figura a seguir ilustra os padrões de VNTRs de quatro pessoas envolvidas – uma vítima (V) e 3 suspeitos (S1, S2 e S3) em uma investigação policial e de uma prova (P) coletada no local do crime.



Considerando as afirmações e a figura acima apresentada, responda:

- a) A qual dos suspeitos (S1, S2 ou S3) pertence a prova (P)? Justifique a sua resposta.
- b) Que tipo de material pode ser coletado e servir de prova em um caso como esse?
- c) Por que os resultados desse tipo de análise têm alto grau de confiabilidade?
- 11** (Unifesp) O mapeamento da sequência de nucleotídeos existente nos 23 pares de cromossomos humanos:
- a) é condição necessária para conhecer o número de moléculas de RNA existentes em nosso organismo.
- b) é o que ainda falta fazer após a conclusão do Projeto Genoma Humano em 2003.
- c) é o que foi conseguido pelos pesquisadores há alguns anos, sendo um passo importante no conhecimento de nosso genoma.
- d) é o que nos permitiria conhecer qual a real proporção de proteínas em relação às moléculas de DNA que possuímos.
- e) significa decifrar o código genético, que só foi descoberto depois da conclusão do Projeto Genoma Humano em 2003.
- 12** (Fuvest-SP) Células-tronco são células indiferenciadas que têm a capacidade de se diferenciar em diversos outros tipos celulares. Para que ocorra tal diferenciação, as células-tronco terão necessariamente que alterar:
- a) o número de cromossomos.
- b) a quantidade de genes nucleares.
- c) a quantidade de genes mitocondriais.
- d) o padrão de atividade dos genes.
- e) a estrutura de genes específicos por mutações.
- 13** (U. E. Londrina-PR) Se retirarmos o núcleo de uma célula-ovo de rã e introduzirmos nessa célula o núcleo diploide extraído de uma célula de tecido muscular de rã adulta, a nova célula-ovo assim formada será capaz de originar uma outra rã. Indique a alternativa que explica o que ocorre, neste caso, em relação à sequência funcional do DNA da célula diploide doadora.
- a) Foi integralmente inativada.
- b) Foi parcialmente inativada.
- c) Foi integralmente mantida ativa.
- d) Expressou-se como na célula germinativa.
- e) Expressou-se como na célula muscular.
- 14** (Enem-MEC) Em um experimento, preparou-se um conjunto de plantas por técnica de clonagem a partir de uma planta original que apresentava folhas verdes. Esse conjunto foi dividi-

do em dois grupos, que foram tratados de maneira idêntica, com exceção das condições de iluminação, sendo um grupo exposto a ciclos de iluminação solar natural e outro mantido no escuro. Após alguns dias, observou-se que o grupo exposto à luz apresentava folhas verdes como a planta original e o grupo cultivado no escuro apresentava folhas amareladas. Ao final do experimento, os dois grupos de plantas apresentaram:

- a) os genótipos e os fenótipos idênticos.
- b) os genótipos idênticos e os fenótipos diferentes.
- c) diferenças nos genótipos e fenótipos.
- d) o mesmo fenótipo e apenas dois genótipos diferentes.
- e) o mesmo fenótipo e grande variedade de genótipos.
- 15** (U. E. Ponta Grossa-PR) No Brasil, em 2005, foram realizadas com sucesso, três microcirurgias reconstrutivas para a regeneração de nervos da mão e do braço de pacientes acidentados, com a utilização de células-tronco de suas próprias medulas ósseas vermelhas, retiradas dos ossos da bacia. Sobre células-tronco, considere o que for correto.
- (01) As células-tronco são indiferenciadas, com potencialidade para dar origem aos mais diversos tipos de células especializadas.
- (02) As células-tronco de indivíduos adultos têm menor potencial de diferenciação do que as células-tronco embrionárias.
- (04) São exemplos de células-tronco as células da medula óssea vermelha que produzem as células sanguíneas. Neste caso, as células da linhagem linfóide produzem os linfócitos e as mielóides dão origem aos demais leucócitos e às hemácias.
- (08) As células-tronco podem ser obtidas a partir do sangue do cordão umbilical conservado sob resfriamento, para eventual uso terapêutico pelo doador, futuramente.
- (16) As células-tronco embrionárias têm maior capacidade de diferenciação, são totipotentes, podendo originar todos os tecidos corporais, desde que recebam tratamento especial para orientar a diferenciação em determinado tipo de tecido.
- Dê a soma dos números dos itens corretos.
- 16** (U. F. Juiz de Fora-MG) A produção dos chamados anticorpos monoclonais ocorre a partir de células dos chamados hibridomas, que se originam da fusão *in vitro* de linfócitos B (previamente estimulados por determinados antígenos) com uma célula tumoral.
- a) Quais são as principais propriedades dos hibridomas e que conferem a eles grande interesse em medicina?
- b) Por que esses anticorpos são chamados "monoclonais"?

GABARITO

1. e 2. d 3. b
4. A estratégia b. O acúmulo de agrotóxicos pode provocar problemas nos organismos consumidores. Além disso, agrotóxicos podem sofrer magnificação trófica, ou seja, sua concentração pode aumentar, ao longo das cadeias alimentares.
5. a) Porque a planta desenvolvida por meio dessa técnica recebeu, por meio da introdução do plasmídeo bacteriano, um fragmento de DNA proveniente de uma bactéria resistente ao mercúrio.
- b) Plantas resistentes ao mercúrio poderiam ser utilizadas na colonização de solos contaminados pelo mercúrio (em regiões de garimpo, por exemplo).
6. a
7. a) São as pétalas, que, em conjunto, formam a corola.
- b) Flores coloridas e perfumadas atraem insetos, aves e outros agentes polinizadores, que contribuem para a dispersão do pólen e para a reprodução.
- c) Trata-se de técnica semelhante à que se emprega na obtenção de alimentos transgênicos; porém, no caso dos alimentos, os genes de interesse estão associados ao aumento da produtividade, à resistência às pragas ou aos defensivos agrícolas, à maior tolerância a condições ambientais adversas.
8. a) Consistem em introduzir cópias de genes que determinam a produção normal de determinadas proteínas em pessoas porta-

doras de mutações nas quais o alelo mutante acarreta a ausência dessa proteína ou a produção de proteínas defeituosas.

- b) O trecho é: "usando um retrovírus, introduziram nessas células uma cópia correta do gene da ADA".

9. d
10. a) A prova (P) pertence ao suspeito S3, pois seus padrões de VNTR (número variável de repetições em sequência) são coincidentes.
- b) Amostras de tecidos com células nucleadas, como leucócitos, fragmentos de pele, fios de cabelo com folículos pilosos, saliva e sêmen.
- c) Cada indivíduo apresenta um conjunto de moléculas de DNA, com suas respectivas VNTRs, que não é encontrado em nenhuma outra pessoa (exceto em casos de gêmeos idênticos).

11. c 12. d 13. c 14. b

15. Soma = 31 (01 + 02 + 04 + 08 + 16)

16. a) É a capacidade de se dividir indefinidamente, por mitoses consecutivas, e a capacidade de sintetizar anticorpos específicos contra certos antígenos. Esses anticorpos são utilizados, por exemplo, em testes que podem detectar a presença desses antígenos no plasma de pacientes, permitindo o diagnóstico de muitas doenças infecciosas.
- b) Porque são produzidos a partir de um lote de células geneticamente idênticas (clones).

ANEXO 7

As aplicações da genética molecular

A genética molecular estuda a estrutura e função dos genes no nível das moléculas. Com essa técnica foi possível desenvolver novas biotecnologias baseadas na manipulação do DNA. Um exemplo são as plantas transgênicas, como a da figura abaixo (**figura 7.1**).

A biotecnologia utiliza seres vivos para produzir substâncias úteis (medicamentos, álcool, etc.), para melhorar as características de animais e plantas ou para obter organismos com características novas.



Você sabe o que são organismos transgênicos ou geneticamente modificados?

Como você acha que é feito um teste de paternidade?

Figura 7.1 Pesquisador analisando em laboratório placas de cultura de arroz transgênico.

Jim Richardson/Corbis/Latinstock

1 A tecnologia do DNA recombinante

A técnica conhecida como **engenharia genética** ou **tecnologia do DNA recombinante** permite, entre outras coisas, transplantar genes de uma espécie para outra e criar, assim, uma molécula de DNA que não existia na natureza. Essa molécula, formada pela combinação de duas moléculas diferentes de DNA, é chamada **DNA recombinante**.

A grande vantagem dessa técnica é a rapidez e a precisão da produção da substância ou da característica desejada. Antes, dependíamos da seleção de mutações, ocorridas ao acaso, dos resultados de cruzamentos artificiais ou da extração de substância normalmente produzida por algum organismo, procedimentos em geral demorados, e a característica ou substância obtida nem sempre era, exatamente, a desejada.

Cortando o DNA: enzimas de restrição

Como sabemos, os vírus bacteriófagos atacam bactérias, reproduzem-se no interior delas e as destroem no fim do ciclo. Algumas se defendem contra esse ataque produzindo enzimas especiais, **endonucleases de restrição** (*endon* = interno), também chamadas **enzimas de restrição**. Essas enzimas cortam o DNA do vírus em pontos específicos e impedem sua reprodução.

A enzima *EcoRI*, por exemplo, produzida pela bactéria *Escherichia coli*, foi a primeira a ser descoberta (o

nome dela vem das iniciais de *Escherichia coli*, mais **R** de restrição e o **I** indica que ela foi a primeira enzima a ser descoberta). A *EcoRI* reconhece a sequência de bases GAATTC e corta as duas cadeias de uma molécula de DNA entre o G e o A (figura 7.2). Como essa sequência se repete algumas vezes ao longo do DNA viral, este é cortado em vários fragmentos. Outros organismos também apresentam essa sequência repetidas vezes em seu genoma. Dessa forma, a *EcoRI* pode ser usada como uma “tesoura” que corta o DNA dos seres vivos em partes menores.

Clonagem do DNA e construção do DNA recombinante



Para formar um DNA recombinante, usamos enzimas de restrição para cortar pontos específicos no DNA de um organismo. O trecho extraído é então inserido na fita de DNA de um organismo diferente. Ao se multiplicar, esse organismo passa a fazer várias cópias idênticas do DNA estranho.

As bactérias possuem, além do DNA principal, um pequeno DNA circular, chamado **plasmídeo**, no qual estão, com frequência, genes que dão a elas resistência a antibióticos. No processo para formar um DNA recombinante, é comum utilizarmos o plasmídeo como um vetor (transportador) de genes. Ele tem apenas uma cópia para cada tipo de sequência de reconhecimento da enzima de restrição. Assim, quando se usa uma enzima de restrição, ele não se fragmenta, apenas abre o anel de DNA onde está a sequência de reconhecimento.

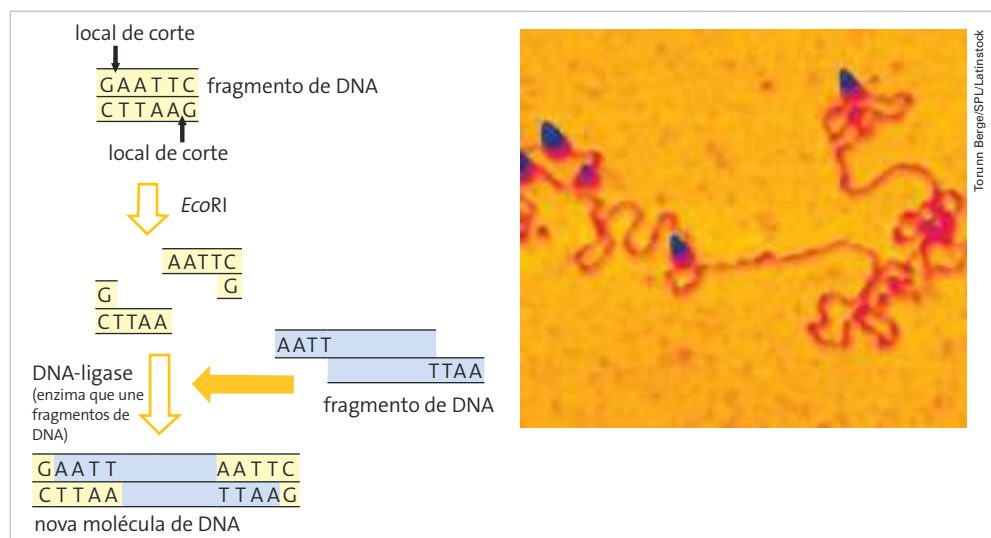


Figura 7.2 Esquema mostrando a ação das enzimas de restrição. Na foto, moléculas da enzima de restrição *EcoRI* (em azul) aderidas a um fragmento de DNA bacteriano (em vermelho; imagem ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 60 mil vezes; imagem colorizada por computador).

Com o anel de DNA aberto, é possível usar uma outra enzima para juntar os pedaços de DNA de diferentes origens. A enzima que promove essa ligação dos fragmentos de DNA é chamada **DNA-ligase** (figura 7.3).

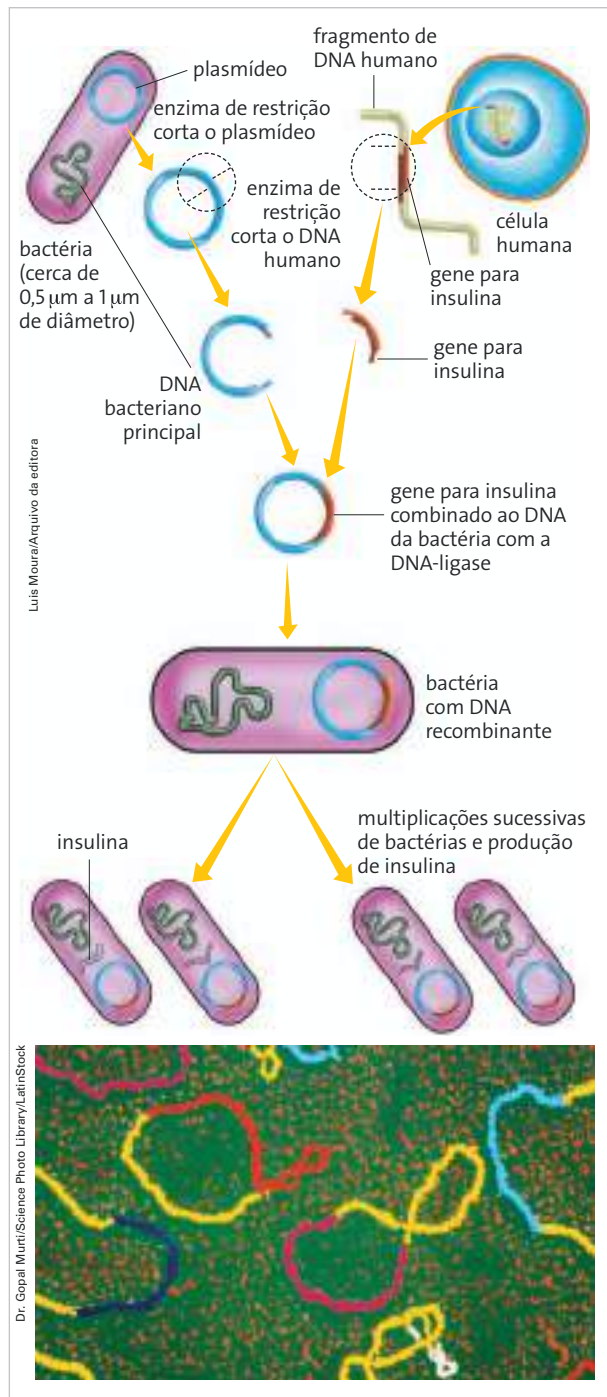


Figura 7.3 Esquema simplificado da produção de insulina humana por bactérias. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala. Cores fantasia.) Na foto, plasmídeos (em amarelo) com moléculas de DNA (em várias cores) inseridas por engenharia genética (imagem ao microscópio eletrônico; aumento de cerca de 150 mil vezes; imagem colorizada por computador).

Esse fragmento de DNA estranho pode ser originário de uma célula humana, por exemplo, e responsável por determinada proteína. Ele deve ser obtido com a mesma enzima de restrição que foi usada no plasmídeo para garantir que as extremidades do fragmento de DNA estranho sejam complementares às do plasmídeo cortado. Depois que recebe o fragmento de DNA de outro organismo, o plasmídeo torna-se um DNA recombinante, isto é, uma molécula formada pela união de duas ou mais moléculas de DNA não encontradas juntas na natureza. O DNA recombinante é então introduzido na bactéria, que passa a produzir, por exemplo, uma proteína humana.

Quando a bactéria se reproduz, o DNA recombinante também se replica e passa para as novas bactérias. Esse processo de produção de cópias idênticas de DNA é chamado **clonagem de DNA**, **clonagem molecular** ou **clonagem gênica**. O resultado é a formação de uma colônia de bactérias capazes de sintetizar, por exemplo, substâncias úteis ao ser humano. Como é relativamente simples manter a bactéria se reproduzindo em laboratório, é possível produzir essas substâncias em escala comercial.

Um exemplo de aplicação dessa técnica é a produção de insulina (figura 7.3), hormônio secretado pelo pâncreas que controla a utilização de glicose pela célula. Os indivíduos portadores de diabetes tipo I não produzem esse hormônio e, por isso, apresentam deficiência na utilização da glicose, com sérias consequências para a saúde. Antes da engenharia genética, a insulina utilizada pelos diabéticos era de origem suína e bovina. Mas o uso de insulina animal implicava um tempo prolongado de produção e purificação do hormônio, pois eram necessárias toneladas de pâncreas de porcos e bois para garantir a produção dessa substância para uso comercial. Além disso, como a insulina animal não é exatamente igual à humana, ela provocava reação alérgica em alguns pacientes.

Além da insulina, são produzidos, entre outros medicamentos, hormônios, como o hormônio do crescimento, a eritropoetina (que estimula a produção de glóbulos vermelhos), diversos tipos de vacina, como a contra a hepatite B. Os fatores obtidos por engenharia genética estão livres da contaminação por vírus que podem estar presentes no plasma humano.

Os **organismos geneticamente modificados (OGM)** são aqueles que tiveram seu material genético modi-

ficado por qualquer técnica de engenharia genética (DNA recombinante). Eles também são conhecidos como **organismos transgênicos** (*trans* = através de). As duas expressões não são exatamente iguais, já que o termo “transgênico” deve ser usado para um tipo especial de organismo geneticamente modificado: aquele em que o material genético introduzido veio de outra espécie. As bactérias com o DNA recombinante são um exemplo de transgênicos. Hoje em dia, além de bactérias, há também muitos animais e plantas transgênicos.

Há várias técnicas para se introduzir um gene em uma célula: ela pode ser infectada com vírus que levam o gene em questão; com micropipetas que perfuram a membrana e injetam o gene na célula; com uma espécie de “canhão” de genes que atira partículas microscópicas de ouro ou tungstênio com moléculas de DNA aderidas à superfície dessas partículas (técnica conhecida como biobalística); com auxílio da *Agrobacterium tumefaciens*, bactéria que tem capacidade natural de transferir parte de seu material genético para o genoma de algumas plantas (figura 7.4).

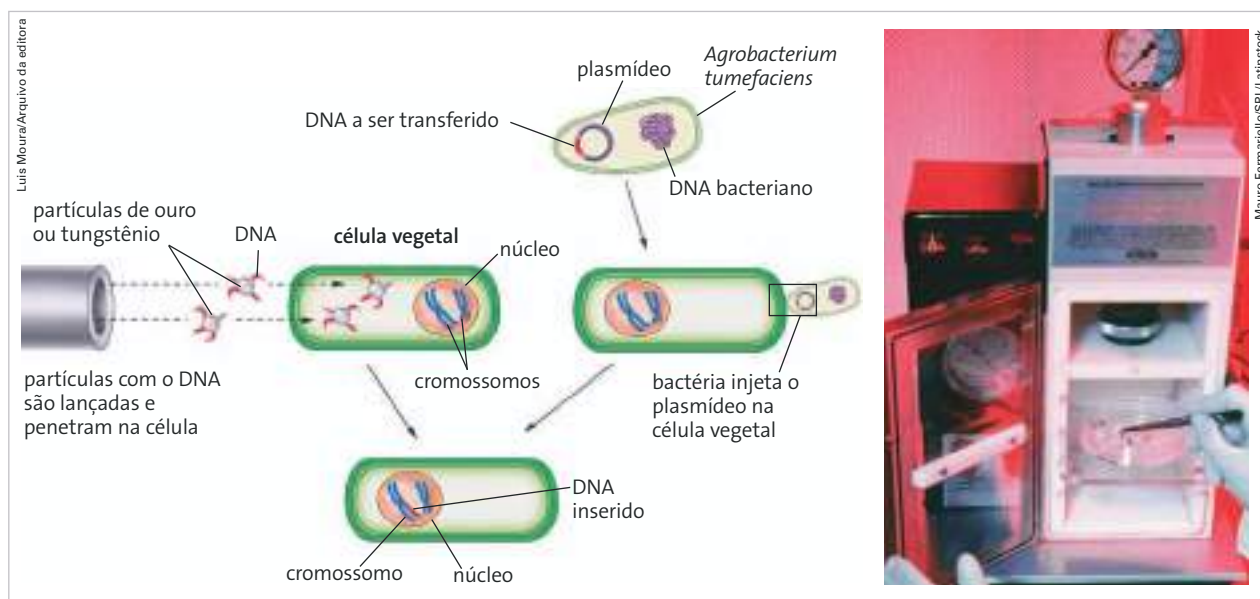


Figura 7.4 Duas técnicas utilizadas para introduzir genes nas células: a biobalística e a bactéria *Agrobacterium tumefaciens* (cerca de 0,5 μm a 1 μm de diâmetro). Na foto, tecidos sendo preparados para receber DNA na técnica de biobalística. (Os elementos ilustrados não estão na mesma escala. Cores fantasia.)

Biologia tem história

A descoberta das enzimas de restrição

Na década de 1960, os cientistas perceberam que a recombinação do DNA ocorre no organismo em alguns casos, por exemplo, quando rupturas no DNA por radiação ultravioleta são reparadas. Começava então uma busca pela enzima capaz de promover esse “conserto”.

Em 1967, o pesquisador de origem tcheca Martin Gellert (1929-) e outros três grupos de pesquisadores, independentemente, purificaram a enzima DNA-ligase.

Em 1968, o microbiologista suíço Werner Arber (1929-), o químico estadunidense Daniel Nathans (1928-1999) e o médico estadunidense Hamilton Smith (1931-) descobriram as enzimas de restrição.

Em 1973, os estadunidenses Stanley Cohen (1935-) e Herbert Boyer (1936-) tentavam compreender como os plasmídeos podiam tornar as bactérias resistentes a antibióticos. Em conjunto com outros pesquisadores, eles se valem da enzima de restrição *EcoRI* para cortar o DNA de dois plasmídeos, cada um capaz de conferir resistência a um antibiótico. Depois de unir os plasmídeos a outro DNA, com auxílio da DNA-ligase, introduzem a nova molécula na bactéria *Escherichia coli* e conseguem, com isso, uma bactéria resistente aos dois antibióticos.

Estava aberta a porta para as pesquisas com DNA recombinante e para a produção da primeira proteína

humana produzida por essa técnica, a insulina, em 1973. Em 1974, camundongos transgênicos foram produzidos e em 1994 começava a comercialização dos alimentos transgênicos.

Esse é um exemplo de como o progresso do conhecimento depende muitas vezes da invenção de novas

tecnologias e vice-versa – um tema estudado em Filosofia e História da Ciência. A descoberta dessas enzimas ilustra também o fato de que o progresso do conhecimento científico depende do trabalho em cooperação de toda uma comunidade científica, um tema estudado em Sociologia.

2 Análise do DNA

Ao tratar um DNA com uma enzima de restrição, obtém-se uma coleção de fragmentos de DNA com tamanhos diferentes. Cada indivíduo possui uma coleção característica. O conjunto de fragmentos de dois indivíduos aparentados é semelhante, mas não idêntico (exceto no caso de gêmeos univitelinos), por causa da variedade genética, fruto das mutações e da recombinação dos genes pela reprodução sexuada.

Algumas mutações retiram nucleotídeos e diminuem o tamanho do fragmento de DNA. Outras podem provocar duplicações nos nucleotídeos, aumentando o tamanho do fragmento. Além disso, existem regiões no DNA que não codificam proteínas e que são constituídas por repetições de certo número de nucleotídeos, sendo que o número de repetições varia de indivíduo para indivíduo. O número de repetições dessas bases em cada gene é altamente variável na população humana, constituindo-se de quatro até cem repetições, dependendo do indivíduo analisado.

Essas diferenças permitem que os fragmentos possam ser separados uns dos outros em função de seus tamanhos. Para isso, eles são colocados em uma espécie de gelatina e submetidos a um campo elétrico. Por causa do fosfato presente nos nucleotídeos, os fragmentos de DNA ficam carregados negativamente e migram para o polo positivo. Os fragmentos maiores migram mais devagar, e os menores migram mais depressa. Forma-se, assim, um conjunto de faixas ou bandas. O processo é chamado **separação em gel por eletroforese** (*elektron* = eletricidade; *phorein* = transportar). Veja a [figura 7.5](#). O conjunto de bandas é semelhante ao código de barras das embalagens de vários produtos e é exclusivo de cada indivíduo. Assim, podemos conseguir uma espécie de “impressão digital” típica de cada pessoa. Por isso esse exame é denominado **impressão digital genética** ou **impressão digital do DNA** (*DNA fingerprint*, em inglês).

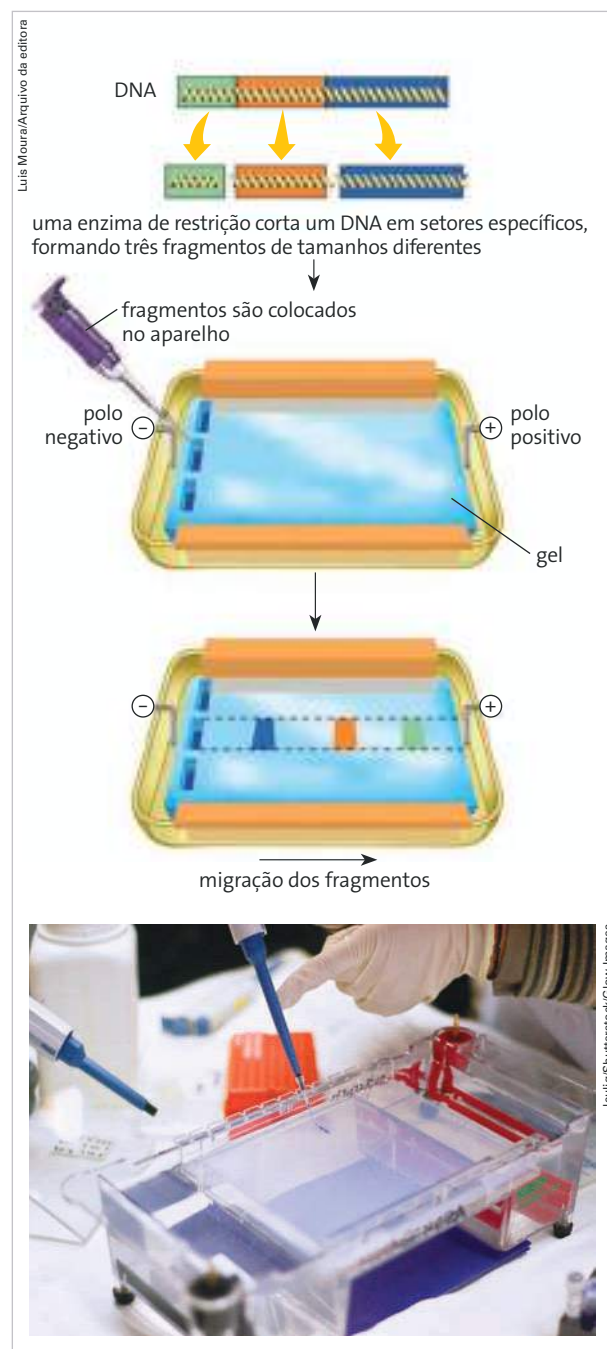


Figura 7.5 Esquema da separação dos fragmentos de restrição por eletroforese. (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala. Cores fantasia.) Na foto, uma amostra de DNA é colocada no aparelho de eletroforese.

Aplicações

Com a impressão digital do DNA é possível identificar criminosos (ou inocentar suspeitos) a partir de amostras de sangue, fios de cabelo, sêmen ou algum tecido do corpo (figura 7.6). Na Inglaterra e nos Estados Unidos, já foi criado um banco nacional de DNA de criminosos, cujas amostras são arquivadas em computadores.

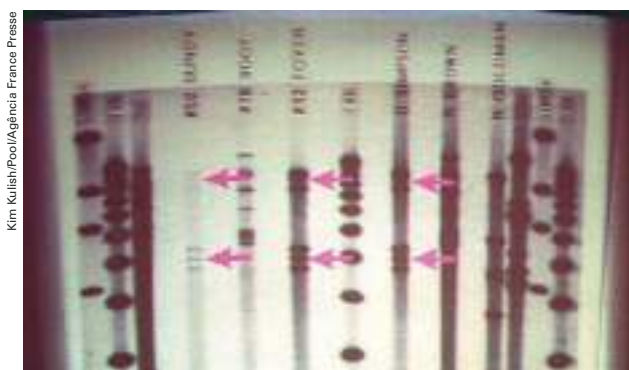


Figura 7.6 Impressão digital do DNA obtido de uma mancha de sangue encontrada no local de um duplo assassinato em comparação com o sangue de um dos suspeitos. As setas (em rosa) indicam padrões coincidentes entre as amostras.

O exame serve também para determinação de paternidade. A técnica consiste em extrair DNA dos glóbulos brancos do sangue coletado da mãe, da criança e do suposto pai. O DNA de cada um é tratado pelas

mesmas enzimas de restrição e os fragmentos obtidos são separados, formando-se, assim, o padrão de bandas de cada indivíduo. Comparando o padrão da mãe com o da criança, certamente haverá bandas coincidentes por causa da herança genética (metade do DNA da criança vem da mãe e a outra metade do pai). Assim, se houver coincidência de bandas do homem e da criança, ficará provado que ele é o pai biológico. Caso não haja coincidência, ele não é o pai (figura 7.7).

3 Diagnóstico e tratamento de doenças genéticas

As técnicas de engenharia genética podem ser usadas para diagnóstico e tratamento de diversas doenças genéticas.

O diagnóstico pode ser feito quando conhecemos o gene responsável pela doença. Nesse caso, pode-se utilizar uma **sonda**, ou seja, um trecho marcado (com radioatividade, substâncias fluorescentes, etc.) de DNA com uma sequência de bases complementar a um trecho do DNA que se quer identificar. Por enquanto, somente algumas doenças podem ser detectadas desse modo, mas essa quantidade tem aumentado ao longo dos anos.

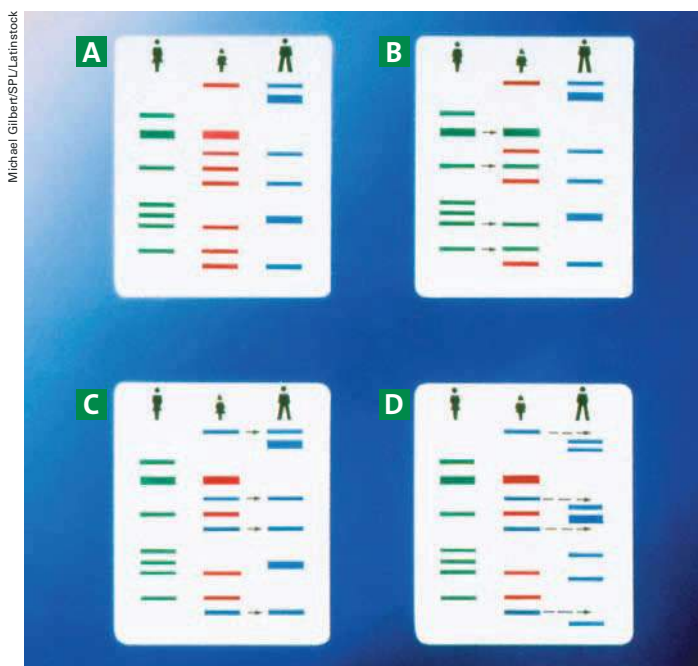


Figura 7.7 Ilustração do resultado de um exame de DNA para teste de paternidade. Cada barra indica um fragmento de DNA separado de acordo com seu tamanho. Observe que algumas barras da mãe coincidem com as do filho, pois este herdou metade dos genes dela. Em C, podemos ver as barras da criança que coincidem com as do possível pai. Já D mostra barras da criança que não coincidem com as de outro possível pai. Na foto, o resultado de um exame no qual duas crianças (letras C) compartilham bandas com a mãe (M) e com o pai (P).

A terapia gênica ou geneterapia é um procedimento muito complexo, que consiste em corrigir a deficiência da produção de uma proteína que não é produzida, ou que não funciona, porque seu gene sofreu uma mutação. A correção é feita por meio da injeção de genes normais. O pedaço de DNA que contém o gene que se quer introduzir pode ser passado para as células do paciente através de um vetor que contém o DNA (vírus, nanopartículas, etc). Além do trecho com o gene, o DNA possui uma sequência de inserção para permitir sua integração ao DNA genômico. A partir daí, a célula passará a produzir a proteína normal, que estava ausente no paciente doente (figura 7.8).

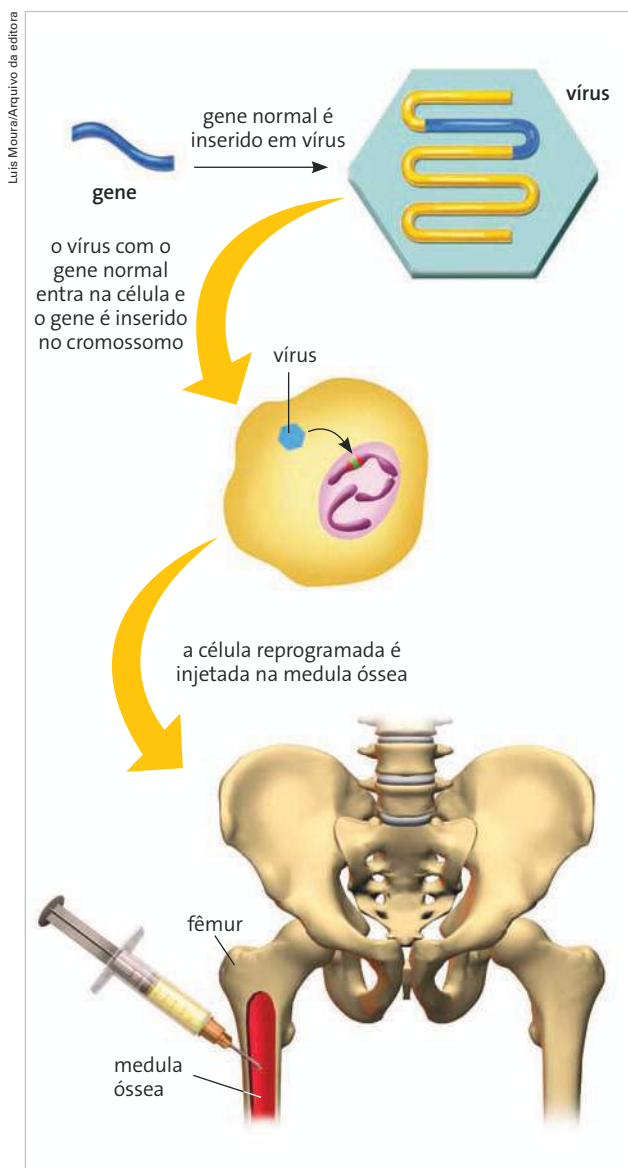


Figura 7.8 Exemplo de terapia gênica (esquema simplificado; os elementos da ilustração não estão na mesma escala; cores fantasia).

4 Sequenciamento de genomas

Sequenciar um genoma é determinar a ordem (sequência) de todas as bases nitrogenadas (ou dos nucleotídeos) do genoma de um organismo, isto é, de toda a informação hereditária contida no DNA (ou no RNA, no caso de alguns vírus). Nos seres diploides, o genoma se refere aos genes de um conjunto haploide de autossomos somado aos genes de cada cromossomo sexual.

O primeiro genoma sequenciado foi o da bactéria *Haemophilus influenzae* (o nome vem do fato de que essa bactéria foi, erroneamente, considerada como a causa da gripe ou influenza até 1933), completado em 1995.

Atualmente o sequenciamento é feito em aparelhos especiais e um grande número de organismos já tiveram seu genoma sequenciado: vírus, bactérias, fungos, animais e plantas (figura 7.9).

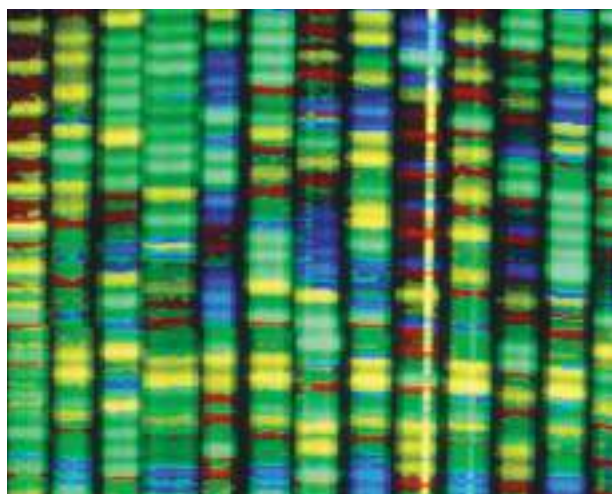


Figura 7.9 Nucleotídeos modificados marcados com diferentes corantes aparecem em um sequenciador automático de DNA.

Iniciado em 1990, o Projeto Genoma Humano procura descobrir a posição de cada gene no cromossomo (**mapeamento**) e estabelecer a sequência de bases de cada gene (**sequenciamento**).

Calcula-se que haja cerca de 20 mil genes que codificam proteínas, mas há entre os genes dos eucariontes grandes sequências de nucleotídeos repetidos e trechos formados por sequências de bases que não codificam proteínas. Alguns desses trechos são formados por genes que participam da regulação da expressão dos outros genes. Alguns trechos

do genoma parecem não ter nenhuma função codificante ou regulatória. Além disso, o RNA sintetizado pelo DNA pode ser “cortado” e “recombinado”, formando novas moléculas, o que faz com que um gene possa produzir mais de uma proteína (*splicing* alternativo ou encadeamento alternativo do RNA). Os genes codificadores de proteínas constituem apenas cerca de 2% do genoma. Em todo um genoma humano, apenas 0,01% dos nucleotídeos variam entre dois indivíduos.

Vejamos algumas aplicações do sequenciamento de genomas:

- Permitir a identificação dos genes que causam ou que contribuem para doenças genéticas ou para o câncer, aumentando a capacidade de diagnosticar doenças na fase inicial por meio de testes genéticos e a probabilidade de cura. Cerca de cinquenta alterações em genes que provocam câncer já são conhecidas.
- Ajudar no aconselhamento genético, que analisa as chances de um casal transmitir doenças hereditárias para o filho. Dessa forma, é possível, depois dos exames pré-natais, avaliar as doenças que poderão ser transmitidas aos filhos e as formas de evitá-las ou tratá-las desde cedo.
- Descobrir mais sobre o funcionamento do gene, e até a forma como ele controla ou influencia diversas características. Desse modo, podemos compreender melhor as causas do envelhecimento, da obesidade e de muitas doenças.
- Ajudar a descobrir a sequência de aminoácidos de várias proteínas, o que permitiria entender melhor sua função e criar novos medicamentos. É o estudo do proteoma.
- Criar drogas específicas para cada tipo de doença e de indivíduo, aumentando sua eficácia e reduzindo os efeitos colaterais.
- Analisar o grau de parentesco evolutivo entre as espécies (metade do genoma do ser humano é igual ao da mosca-das-frutas) e entre grupos de populações, criando árvores genealógicas, compreendendo melhor a evolução dos grupos e das espécies. O exame de ancestralidade genômica é capaz de revelar as origens de uma pessoa.
- Facilitar o desenvolvimento de plantas e animais transgênicos.
- Ajudar no melhoramento de animais e plantas consumidas pelo ser humano e no combate a pragas e doenças.

5 Organismos geneticamente modificados

Como vimos, organismos geneticamente modificados, também conhecidos como transgênicos, são aqueles que sofreram modificações em seu DNA, como é o caso das bactérias que produzem insulina humana.

Animais transgênicos

Entre os animais transgênicos, há aqueles com genes humanos para produção de determinadas substâncias, como as cabras transgênicas que produzem no leite fatores para a coagulação do sangue (**figura 7.10**).

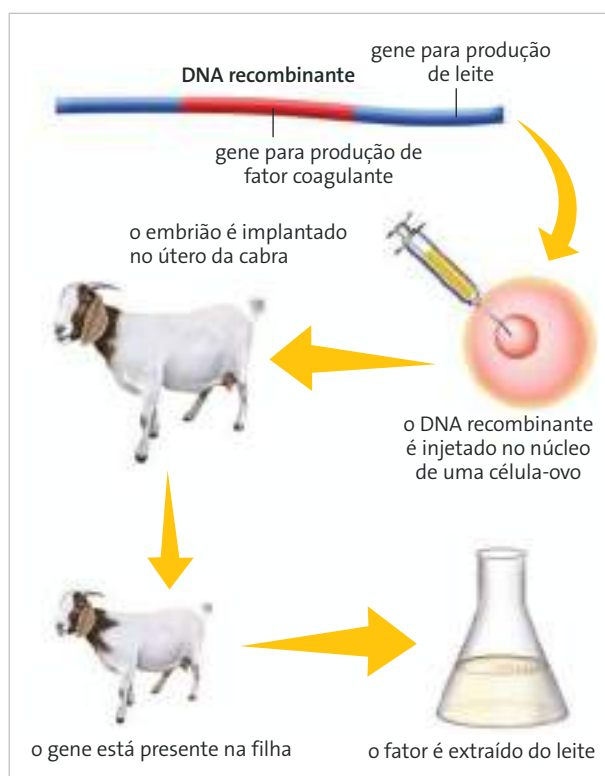


Figura 7.10 Formação de cabras transgênicas produtoras de leite com fator coagulante (altura do ombro do animal: de 0,70 m a 1,1 m). (Os elementos da ilustração não estão na mesma escala. Cores fantasia.)

Em 2012, cientistas argentinos anunciaram que uma vaca clonada produziu leite com duas proteínas do leite humano, a lactoferrina e a lisozima, que atuam contra infecções e ajudam a evitar anemia nos recém-nascidos. O DNA que codifica essas proteínas foi incorporado ao DNA da vaca. O objetivo é produzir um leite para bebês que não tenham acesso ao leite materno.

Plantas transgênicas

Há vários tipos de plantas transgênicas. Muitas ainda estão em fase de pesquisa. Algumas são mais produtivas ou nutritivas; outras resistem melhor à seca; e há ainda as que necessitam de menos agrotóxicos.

Algumas variedades de soja, algodão e milho transgênicos, por exemplo, possuem um gene, retirado de uma bactéria, que confere à planta resistência ao glifosato. Com esse gene a planta pode receber um determinado herbicida que mata as ervas daninhas sem ser afetada. Essa resistência faz com que o herbicida possa ser usado depois de a soja ou o algodão já terem sido plantados. Nas plantações convencionais, é preciso usar vários herbicidas, mais tóxicos que o glifosato, que só podem ser aplicados antes do cultivo (figura 7.11).

Outro tipo de planta transgênica resistente a pragas é o milho Bt. Ele foi criado utilizando um gene de uma bactéria do solo, o *Bacillus thuringiensis*, capaz de produzir a toxina Bt (iniciais do nome da bactéria), que mata a lagarta do cartucho e da broca, pragas do milho. Esses insetos morrem assim que começam a comer a planta. Inofensiva ao ser humano, essa bactéria já é usada há mais de 50 anos como inseticida biológico.

No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) produz soja resistente a herbicida; mamão, batata e feijão imunes a certos vírus; cacau resistente à praga da vassoura-de-bruxa (um fungo). Essas plantas, porém, ainda não são cultivadas comercialmente.

Também tem sido estudada a opção de vacinação oral contra várias infecções por meio da alimentação

com vegetais transgênicos. Esses alimentos funcionariam, assim, como medicamento. É o caso de bananas e de alfaces com vacina contra a meningite e a hepatite B, respectivamente.

Apesar dos benefícios, os transgênicos trazem também alguns riscos e uma grande polêmica entre cientistas e na sociedade em geral.

Para os críticos, não há provas suficientes de que esses produtos não causem danos à saúde ou desequilíbrios no ambiente – pelo menos a longo prazo. Por isso, em muitos países, é necessário identificar os produtos que possuem um componente transgênico acima de certa porcentagem mínima (no Brasil, o governo estabeleceu 1%). A identificação seria um direito do consumidor, além de tornar mais fáceis estudos que indiquem a ocorrência de alergia e outros possíveis problemas entre os consumidores.

Em relação à saúde, os defensores dos transgênicos argumentam que os estudos não indicam nenhum problema. A maioria das proteínas e do DNA é destruída (fragmentada em aminoácidos e nucleotídeos) no cozimento ou pela digestão. Sabe-se, porém, que uma pequena quantidade de fragmentos de DNA e de proteína pode ser absorvida e cair no sangue. Mas tudo indica que essas moléculas são destruídas pelo sistema de defesa do organismo. Além disso, nos alimentos não transgênicos também há proteínas e genes – presentes nas células de plantas, de animais e nos vírus que parasitam essas células. E também não há evidências de que isso cause problemas ao nosso organismo.

Patrick Dumais/Eurelios/SPL/Latinstock



Figura 7.11 Plantação de milho (até cerca de 2,5 m de altura) geneticamente modificado com gene que dá resistência ao glifosato.

Não podemos esquecer também que, pelo menos no uso de alguns transgênicos, há uma redução na quantidade de agrotóxicos, o que é benéfico para a saúde humana.

Sabe-se, porém, que algumas pessoas são alérgicas a certos alimentos. Da mesma forma, pode haver também pessoas alérgicas aos alimentos transgênicos. Por isso eles têm de ser testados antes de sua venda ser liberada no mercado. Mas, para os defensores dos transgênicos, o risco de alergia a esses alimentos não é maior do que o dos alimentos convencionais.

Em relação ao ambiente, os grãos de pólen das plantas transgênicas podem ser levados por vento ou insetos e fecundar plantas convencionais. Esse risco existe, mas ele vai depender da compatibilidade entre o pólen e as plantas da região em que a planta é cultivada. Por isso é preciso fazer estudos ambientais analisando caso a caso. Em relação à soja, o risco é menor porque ela realiza autopolinização. No caso do milho, que faz polinização cruzada, o risco é maior. Para diminuí-lo, plantas transgênicas devem guardar uma distância mínima das culturas convencionais.

Outro problema é que os animais que atacam as pragas poderiam morrer quando ingerissem os insetos que comeram plantas transgênicas com agrotóxico em suas células. Mas o agrotóxico das culturas convencionais também pode matar esses insetos. Além disso, a diminuição do uso de agrotóxicos que alguns transgênicos proporcionam poderia ajudar na preservação das espécies selvagens.

É possível também que o uso de certos transgênicos provoque uma seleção de insetos resistentes ao agrotóxico presente na planta. Mas essa resistência também pode aparecer nas plantações que recebem agrotóxicos. O risco pode ser diminuído usando plantas não transgênicas como um refúgio para os insetos não resistentes.

Os defensores dos transgênicos afirmam que a população mundial vem crescendo e, para produzir mais alimento, vamos destruir cada vez mais o solo e os ambientes naturais. Transgênicos mais produtivos poderiam reduzir essa destruição.

Os críticos afirmam que a preferência pelo cultivo de um único tipo de transgênico pode reduzir a diversidade de plantas cultivadas na região. Isso seria perigoso, porque, quanto maior a diversidade genética na agricultura, maior a resistência a pragas e a mudanças climáticas. Por isso é importante preservar as plantas nativas de uma região, que podem servir até para a obtenção de novas variedades de plantas. Outro problema é que o fornecimento de sementes poderia ficar sob controle de grandes empresas do setor agrícola, aumentando a dependência dos países menos desenvolvidos. No caso do Brasil, a Embrapa já possui tecnologia para produzir alguns transgênicos, o que diminuiria essa dependência.

Em resumo, apesar de alguns benefícios, ainda há preocupações acerca de questões sociais, econômicas, ambientais e de saúde envolvidas no cultivo de transgênicos.

Biologia e sociedade

Problemas legais e éticos nos testes genéticos

Nos Estados Unidos são realizados cerca de 4 milhões de testes genéticos por ano, que ajudam a diagnosticar e a tratar doenças como a anemia falciforme, a fenilcetonúria e as da glândula tireoideia desde o nascimento.

Em alguns casos, os testes indicam apenas uma predisposição a certas doenças, como o câncer de mama.

Nesses casos, os indivíduos herdam genes que aumentam a propensão para a doença, mas isso não quer dizer que ela se desenvolverá obrigatoriamente. Sabendo dessa predisposição, a pessoa passaria a evitar os fatores ambientais que contribuem para o aumento do risco da doença. Em certos casos, passaria a adotar um modo de vida apropriado – escolhendo ali-

mentos e ambientes ou tomando remédios preventivos – para diminuir as chances de ter a doença ou minimizar seus efeitos.

Por exemplo, um indivíduo propenso a ter câncer de pulmão não deveria se expor a fatores cancerígenos, como o cigarro, e passaria também a fazer exames periódicos para poder diagnosticar precocemente a doença se ela aparecesse.

Mas e quando o teste indica uma doença séria que poderá se desenvolver no futuro e para a qual não há prevenção nem tratamento? Será que a pessoa deve saber que terá a doença? Essa é uma escolha individual bastante difícil e a pessoa pode não estar preparada para saber isso.

No Brasil, as pesquisas que envolvem genética humana devem ser aprovadas pelo Comitê de Biossegurança, pelo Comitê de Ética e Pesquisa de cada instituição e, posteriormente, pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa.

Empresas teriam o direito de realizar testes em seus funcionários ou em candidatos a um emprego para procurar doenças que poderão desenvolver-se no futuro? Companhias de seguro poderiam fazer testes para aprovar ou rejeitar pedidos de seguro saúde? Nos Estados Unidos uma empresa foi proibida de realizar exames de sangue nos funcionários, pois estava fa-

zendo testes para ver se eles possuíam tendências a certas doenças musculares.

Ainda são discutidas leis para garantir a privacidade de uma pessoa nesses casos e para prevenir discriminações genéticas. O problema não é fácil porque, por exemplo, um indivíduo que saiba que terá uma doença séria poderá se valer dessa informação para fazer um alto seguro de vida.

Além das questões jurídicas, problemas desse tipo são discutidos também na Bioética, um ramo da Filosofia que discute as implicações morais das pesquisas biológicas.

Atividades

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Aplique seus conhecimentos

1. Durante a apresentação de um trabalho para os colegas, um estudante afirmou que, atualmente, a tecnologia de manipulação do DNA tem várias aplicações e mencionou as seguintes:
 - a) investigação de paternidade;
 - b) indício de culpado em alguns crimes;
 - c) produção de hormônios humanos usando bactérias;
 - d) recriação de espécies extintas;
 - e) produção de novas variedades de plantas, para uso na alimentação humana;
 - f) produção de clones de seres humanos.

Corrigindo-o, o professor lembrou que duas das aplicações mencionadas por ele não são possíveis, pelo menos por enquanto, e que, além disso, uma delas é proibida em muitos países e condenada pela Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura). Identifique essas duas aplicações e diga qual das duas é condenada pela Unesco.

2. Um estudante afirmou que a produção de plantas geneticamente modificadas, também chamadas de plantas transgênicas, em nada difere do processo de seleção artificial (cruzamento seletivo de variedades de plantas com características desejáveis), há muito utilizado em agricultura. Ele está certo? Justifique sua resposta.

3. A imagem ao lado conta, em linguagem figurada, uma história sobre um tema tratado neste capítulo. Qual poderia ser essa história?



Leifnastock/Digital Art/Corbis

4. (Enem) Um novo método para produzir insulina artificial que utiliza tecnologia de DNA recombinante foi desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Biologia Celular da Universidade de Brasília (UnB) em parceria com a iniciativa privada. Os pesquisadores modificaram geneticamente a bactéria *Escherichia coli* para torná-la capaz de sintetizar o hormônio. O processo permitiu fabricar insulina em maior quantidade e em apenas 30 dias, um terço do tempo necessário para obtê-la pelo método tradicional, que consiste na extração do hormônio a partir do pâncreas de animais abatidos. (*Ciência Hoje*, 24 abr. 2001. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br>. Adaptado).

A produção de insulina pela técnica do DNA recombinante tem, como consequência:

- a) o aperfeiçoamento do processo de extração de insulina a partir do pâncreas suíno.
 - b) a seleção de microrganismos resistentes a antibióticos.
 - c) o progresso na técnica da síntese química de hormônios.
 - d) impacto favorável na saúde de indivíduos diabéticos.
 - e) a criação de animais transgênicos.
5. (Enem) Durante muito tempo, os cientistas acreditaram que variações anatômicas entre os animais fossem consequência de diferenças significativas entre seus genomas. Porém, os projetos de sequenciamento de genoma revelaram o contrário. Hoje, sabe-se que 99% do genoma de um camundongo é igual ao do homem, apesar das notáveis diferenças entre eles. Sabe-se também que os genes ocupam apenas cerca de 1,5% do DNA e que menos de 10% dos genes codificam proteínas que atuam na construção e na definição das formas do corpo. O restante, possivelmente, constitui DNA não codificante. Como explicar, então, as diferenças fenotípicas entre as diversas espécies animais? A resposta pode estar na região não codificante do DNA.

(S. B. Carroll et al. O jogo da evolução. In: *Scientific American Brasil*, jun. 2008. Com adaptações.)

- a) as sequências de DNA que codificam proteínas responsáveis pela definição das formas do corpo.
- b) uma enzima que sintetiza proteínas a partir da sequência de aminoácidos que formam o gene.
- c) centenas de aminoácidos que compõem a maioria de nossas proteínas.
- d) informações que, apesar de não serem traduzidas em sequências de proteínas, interferem no fenótipo.
- e) os genes associados à formação de estruturas similares às de outras espécies.

Um casal do Sri Lanka que alegava ser os pais de um bebê encontrado após o tsunami que atingiu a Ásia, em dezembro, obteve a confirmação do fato através de um exame de DNA. O menino, que ficou conhecido como “Bebê 81” por ser o 81º sobrevivente a dar entrada no hospital de Kalmunai, era reivindicado por nove casais diferentes.

Algumas regiões do DNA são sequências curtas de bases nitrogenadas que se repetem no genoma, e o número de repetições dessas regiões varia entre as pessoas. Existem procedimentos que permitem visualizar essa variabilidade, revelando padrões de fragmentos de DNA que são “uma impressão digital molecular”. Não existem duas pessoas com o mesmo padrão de fragmentos com exceção dos gêmeos monozigóticos. Metade dos fragmentos de DNA de uma pessoa é herdada de sua mãe e metade, de seu pai. Com base nos padrões de fragmentos de DNA representados abaixo, qual dos casais pode ser conside-

Bebê 81	a)		b)		c)		d)		e)	
	Pai	Mãe	Pai	Mãe	Pai	Mãe	Pai	Mãe	Pai	Mãe
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☒
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐
☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐
☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☒
☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐
☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐
☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐
☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐
☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

7. (Enem) A Embrapa possui uma linhagem de soja transgênica resistente ao herbicida Imazapir. A planta está passando por testes de segurança nutricional e ambiental, processo que exige cerca de três anos. Uma linhagem de soja transgênica requer a produção inicial de 200 plantas resistentes ao herbicida e destas são selecionadas as dez mais “estáveis”, com maior capacidade de gerar descendentes também resistentes. Esses descendentes são submetidos a doses de herbicida três vezes superiores às aplicadas nas lavouras convencionais. Em seguida, as cinco melhores são separadas e apenas uma delas é levada a testes de segurança. Os riscos ambientais da soja transgênica são pequenos, já que ela não tem possibilidade de cruzamento com outras plantas e o perigo de polinização cruzada com outro tipo de soja é de apenas 1%.

- a) a resistência ao herbicida não é estável e assim não passa para as plantas-filhas.
- b) as doses de herbicida aplicadas nas plantas são 3 vezes superiores às usuais.
- c) a capacidade da linhagem de cruzar com espécies selvagens é inexistente.
- d) a linhagem passou por testes nutricionais e após três anos foi aprovada.
- e) a linhagem obtida foi testada rigorosamente em relação a sua segurança.

8. (Enem) Define-se genoma como o conjunto de todo o material genético de uma espécie, que, na maioria dos casos, são as moléculas de DNA. Durante muito tempo, especulou-se sobre a possível relação entre o tamanho do genoma – medido pelo número de pares de bases (pb) –, o número de proteínas produzidas e a complexidade do organismo. As primeiras respostas começam a aparecer e já deixam claro que essa relação não existe, como mostra a tabela a seguir.

Espécie	Nome comum	Tamanho estimado do genoma (pb)	Nº de proteínas descritas
<i>Olyza sativa</i>	Arroz	5 000 000 000	224 181
<i>Mus musculus</i>	Camundongo	3 454 200 000	249 081
<i>Homo sapiens</i>	Homem	3 400 000 000	459 114
<i>Rattus norvegicus</i>	Rato	2 900 000 000	109 077
<i>Drosophila melanogaster</i>	Mosca-da-fruta	180 000 000	86 255

De acordo com as informações do texto:

- a) o conjunto de genes de um organismo define o seu DNA.
- b) a produção de proteínas não está vinculada à molécula de DNA.

- c) o tamanho do genoma não é diretamente proporcional ao número de proteínas produzidas pelo organismo.
 - d) quanto mais complexo o organismo, maior o tamanho de seu genoma.
 - e) genomas com mais de um bilhão de pares de bases são encontrados apenas nos seres vertebrados.
9. (Enem) Um instituto de pesquisa norte-americano divulgou recentemente ter criado uma “célula sintética”, uma bactéria chamada de *Mycoplasma mycoides*. Os pesquisadores montaram uma sequência de nucleotídeos, que formam o único cromossomo dessa bactéria, o qual foi introduzido em outra espécie de bactéria, a *Mycoplasma capricolum*. Após a introdução, o cromossomo da *M. capricolum* foi neutralizado e o cromossomo artificial da *M. mycoides* começou a gerenciar a célula, produzindo suas proteínas.

(GILBSON et al. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science*, v. 329, 2010. Adaptado.)

A importância dessa inovação tecnológica para a comunidade científica se deve à:

- a) possibilidade de sequenciar os genomas de bactérias para serem usados como receptores de cromossomos artificiais.
 - b) capacidade de criação, pela ciência, de novas formas de vida, utilizando substâncias como carboidratos e lipídios.
 - c) possibilidade de produção em massa da bactéria *Mycoplasma capricolum* para sua distribuição em ambientes naturais.
 - d) possibilidade de programar geneticamente microrganismos ou seres mais complexos para produzir medicamentos, vacinas e biocombustíveis.
 - e) capacidade da bactéria *Mycoplasma capricolum* de expressar suas proteínas na bactéria sintética e estas serem usadas na indústria.
10. (UFF-RJ) Os cientistas franceses que criaram um animal transgênico e o artista brasileiro que fez a encomenda entram em conflito. Criador e artista já disputam a posse da “transcoelha”. Eduardo Kac, artista plástico brasileiro e professor de arte e tecnologia em Chicago, batizou de Alba a coelha transgênica que tem uma propriedade peculiar: seus olhos rosados e seus pelos brancos ficam fluorescentes quando expostos à luz ultravioleta. Para conferir essa característica particular, os pesquisadores criaram um coelho que produz em todas as suas células a proteína GFP (proteína verde fluorescente, na sigla em inglês), presente naturalmente em medusas e que pode ser detectada sob luz ultravioleta.



Adaptado de: <http://paginas.terra.com.br/educacao/isaacelias/coelha.htm>.

Considerando a tecnologia para obtenção de transgênicos, são feitas as seguintes afirmativas:

- I. A coelha Alba é considerada transgênica, pois possui em seu genoma um segmento de DNA de medusa.
- II. Apenas as células somáticas tiveram o gene que codifica a proteína GFP inserido em seu genoma.
- III. As células fluorescentes da coelha produzem RNA mensageiro, que no processo de tradução origina a proteína GFP.
- IV. A coelha transgênica foi produzida a partir da introdução de um núcleo extraído de uma célula de medusa em um óvulo de coelha cujo núcleo tenha sido anteriormente removido.

Dentre as afirmativas acima, somente estão corretas:

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) I e IV.
- d) II e III.
- e) III e IV.

11. (UFF-RJ) Recentes descobertas têm provocado grande discussão por poderem alterar o futuro do esporte. Nessas pesquisas, foi mostrada a existência de duas proteínas que atuam regulando o crescimento das células musculares: o fator de crescimento IGF-1 e a miostatina. O crescimento muscular é estimulado pelo fator IGF-1 e limitado pela miostatina. A partir desse conhecimento é possível modular o crescimento muscular por meio de vários procedimentos. (*Scientific American Brasil*, 8/2004.)

Analise os procedimentos abaixo e aponte aquele que poderia promover o desenvolvimento mais duradouro da massa muscular em indivíduos sedentários, se executado uma única vez, sem deixar vestígios detectáveis em exames de sangue ou urina.

- a) Introduzir nas células musculares novas cópias de RNA mensageiro que codifica o fator IGF-1.
- b) Injetar anticorpos produzidos contra a proteína miostatina.
- c) Introduzir nas células musculares nova cópia do gene do fator IGF-1, utilizando técnicas aplicadas em terapia gênica.
- d) Injetar a proteína miostatina mutada que bloqueia a ação da miostatina normal por competir pelo seu receptor.
- e) Injetar anticorpos produzidos contra o fator IGF-1.

12. (UFRN) As técnicas de engenharia genética possibilitaram a produção de grandes quantidades de insulina por bactérias que receberam o gene humano para esse hormônio. Tal efeito só foi possível pelo emprego das enzimas de restrição, que agem:

- a) traduzindo o gene da insulina para o código genético da bactéria.
- b) ligando o pedaço de DNA humano ao DNA da bactéria.
- c) identificando os aminoácidos codificados pelo gene.
- d) cortando o DNA da bactéria em pontos específicos.

13. (UFC-CE) As principais ferramentas empregadas na tecnologia do DNA recombinante são as enzimas de restrição, que têm a propriedade de cortar o DNA em pontos específicos. O papel biológico dessas enzimas bacterianas na natureza é, provavelmente:

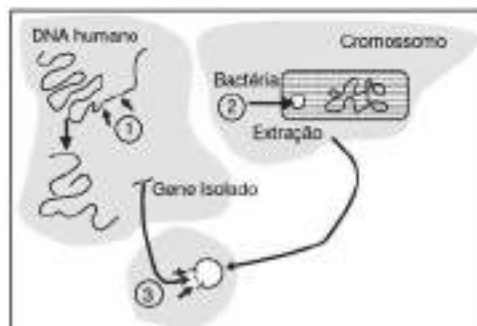
- proteger as bactérias contra os vírus bacteriófagos.
- reparar o DNA bacteriano que sofreu mutação deletéria.
- auxiliar no processo de duplicação do DNA.
- auxiliar no processo de transcrição do RNAm.
- auxiliar no processo de tradução do DNA.

14. (UFPE/UFRPE) A biotecnologia, embora praticada desde a antiguidade, ganhou, na atualidade, um grande impulso, ao abranger técnicas de manipulação genética, trazendo ótimas perspectivas tanto ao conhecimento científico quanto à sua aplicabilidade. Com relação a esse assunto, analise as proposições seguintes (indique as afirmativas verdadeiras):

- Enzimas de restrição são produzidas por bactérias e fazem parte dos mecanismos de defesa destas contra vírus; um DNA viral pode ser reduzido a pedaços e, assim, ser impedida a reprodução do vírus nas bactérias.
- As enzimas de restrição cortam a molécula de DNA em sítios-alvo específicos, resultando em fragmentos cujas “pontas” mostram-se apropriadas à inserção dos mesmos a um vetor cortado pela mesma enzima.
- Algumas bactérias possuem, além do “cromossomo”, moléculas menores e circulares de DNA, denominadas plasmídeos, os quais são utilizáveis como vetores para o DNA que se quer transferir.
- A introdução de um fragmento de DNA exógeno, numa molécula de DNA de um organismo manipulado geneticamente, resulta em um DNA recombinante. A construção de um genótipo específico, pela adição de DNA exógeno, pode ter grande importância científica e comercial.
- Se um DNA recombinante é introduzido numa bactéria, as moléculas recombinantes podem ser multiplicadas, processo conhecido por clonagem gênica ou clonagem de DNA.

15. (UFPE/UFRPE) Para um pesquisador transferir um gene de interesse, diferentes etapas são cumpridas em laboratório,

entre as quais: a utilização de enzima do tipo (1), para o corte e a separação do segmento de DNA a ser estudado; a extração e o rompimento de (2), e a inclusão em (2) do segmento obtido (gene isolado) com o auxílio de enzimas do tipo (3). Os números 1, 2 e 3 indicam, respectivamente:



- enzima de restrição, plasmídeo e enzima ligase.
- enzima transcriptase reversa, cromossomo circular e enzima de restrição.
- DNA recombinante, RNA plasmidial e enzima exonuclease.
- enzima transcriptase reversa, plasmídeo e enzima de restrição.
- enzima de restrição, RNA plasmidial e enzima transcriptase reversa.

16. (Ufscar-SP) Vegetais e animais transgênicos:

- são mutantes que têm o seu genoma alterado por processos como radiação, para desenvolvimento de características específicas.
- passaram por processo de clonagem, onde sofrem transplante de órgãos em experiências científicas, para desenvolvimento de fenótipos específicos.
- têm o seu fenótipo alterado mediante ação de mecanismos físicos ou biológicos, mas não passam as alterações sofridas às gerações seguintes.
- são seres modificados por biotecnologia aplicável, que consiste na inserção de genes provenientes de outros organismos ao genoma que se deseja modificar.
- tiveram o seu DNA alterado por variações climáticas, que provocaram a deleção de genes, o que ocasionou modificações nos fenótipos.

Trabalho em equipe

Em grupo, escolham um dos temas a seguir para pesquisar. Vocês podem consultar livros, internet, CD-ROMs, etc., e também entrevistar médicos ou outros profissionais que trabalhem nas áreas de aconselhamento genético e engenharia genética.

Exponham os resultados da pesquisa para a classe e para a comunidade escolar (alunos, professores e funcionários da escola e pais ou responsáveis). Verifiquem também se é possível convidar os profissionais dessas áreas (médicos e profissionais que fazem aconselhamento genético ou que trabalham com tecnologia do DNA) para a

apresentação de palestras sobre esses temas para a comunidade escolar.

Informem-se se na região da escola existe alguma instituição que desenvolva trabalhos nessas áreas e verifiquem se é possível agendar uma visita ao local.

- Pesquisem que tipos de testes genéticos existem para o diagnóstico de doenças e se o teste está disponível no Sistema Único de Saúde (SUS). Expliquem ainda como esses testes podem ser úteis no aconselhamento genético. Com auxílio dos professores de Filosofia, discutam os aspectos éticos dos testes ge-



néticos e que medidas devem ser tomadas para garantir a privacidade de uma pessoa e impedir discriminações em relação a testes genéticos. Pesquisem ainda entre os colegas de turma se cada um gostaria de saber, por meio de um teste genético, se é portador de um gene para alguma doença genética séria que estava presente em sua família e que pode ser transmitida a seu filho. Pesquisem também se eles gostariam de saber isso no caso de essa doença se manifestar por volta dos 50 anos, sem que haja cura para ela.

2. Procurem – em jornais (caderno de ciência) e revistas de divulgação científica – notícias recentes sobre alimentos transgênicos. Verifiquem por exemplo: se houve ou não crescimento em sua produção; se no-

vos transgênicos foram disponibilizados no mercado; que países são os maiores produtores de transgênicos; quais os transgênicos produzidos ou comercializados no Brasil, etc. Pesquisem também argumentos a favor ou contra o cultivo de plantas transgênicas e realizem um debate: a turma será dividida em dois grupos, um defenderá o cultivo desses organismos e o outro criticará o uso dessa tecnologia.

3. Pesquisem sobre a vida e o trabalho de alguns geneticistas brasileiros, como Crodowaldo Pavan, Warwick Estevam Kerr, Oswaldo Frota-Pessoa, Sérgio Danilo Junho Pena, entre outros.
4. O Projeto Genoma no Brasil (pesquisas, organismos sequenciados, etc.).

Atividade prática

Extração de DNA de morangos

Nesta atividade de extração de DNA, você vai precisar de: morangos maduros; água filtrada; 2 colheres (chá) limpas; um pouco de sal de cozinha; cerca de 50 mL de detergente incolor; coador descartável de café (ou filtro de papel de laboratório); dois copos de plástico; saco plástico impermeável com fecho hermético (do tipo usado para guardar alimentos congelados); funil; frasco pequeno de vidro (incolor e com paredes retas; ou um tubo de ensaio com cerca de 3 cm de diâmetro); vareta fina de bambu.

O professor deverá providenciar com antecedência um vidro pequeno com tampa contendo álcool etílico 90 °G.L., e um recipiente de isopor com gelo picado. Um pouco antes do início da prática, o vidro com álcool deve ser colocado no gelo, porque o álcool deverá ser usado gelado.

Retire as folhinhas verdes (sépalas) dos morangos, lave-os e coloque-os dentro do saco plástico. Acrescente 4 colheres de água filtrada e feche bem o saco. Esmague bem os morangos, comprimindo-os dentro do saco por alguns minutos. Coloque quatro colheres da água filtrada em um dos copos, acrescente uma colher de detergente e duas pitadas de sal. Mexa com a colher e, em seguida, usando a outra colher, acrescente duas colheres da fruta esmagada. Mexa devagar a mistura (para não formar bolhas) por cerca de quatro minutos. Coloque o coador de papel sobre o outro copo e coe a mistura.

Em seguida, o professor deverá colocar um pouco desse filtrado no frasco de vidro e acrescentar devagar, procurando fazer o líquido escorrer pela lateral do frasco, o álcool gelado (aproximadamente o dobro do volume do filtrado). Depois de alguns minutos devem aparecer fios brancos na superfície da mistura, que podem ser pescados com o auxílio da vareta fina de bambu. Esses fios são

o DNA do morango. É possível provar essa afirmação, mas, para isso, é preciso realizar alguns testes especiais em laboratório.

1. O detergente (ou o xampu incolor, que também pode ser usado) é importante para retirar o DNA do interior das células, pois dissolve um tipo de molécula que faz parte da composição de determinadas estruturas da célula. Que molécula é essa e quais são essas estruturas?
2. Um estudante afirmou que os alimentos transgênicos são perigosos para a saúde porque possuem DNA. Embora alimentos transgênicos precisem ser testados para verificar riscos para a saúde e para o ambiente, o que há de errado com a frase do estudante?
3. Existe um teste relativamente simples para identificar e quantificar o DNA das células, mas que só deve ser realizado por técnicos de laboratório, em ambiente adequado, porque envolve o uso de um ácido muito corrosivo. Pesquise (em livros, na internet, em CD-ROMs) como se chama esse teste.
4. Na internet é possível encontrar vídeos demonstrando a prática de extração do DNA (com algumas variações). Muitos desses vídeos, porém, estão em inglês, francês ou espanhol. Tente encontrá-los e apresentá-los no computador para seus colegas. Se achar necessário, peça auxílio aos professores de língua estrangeira para traduzi-los. Pista: na busca você pode usar palavras-chave como “extração” (*extraction*, em inglês ou francês, e *extracción*, em espanhol) e “DNA”. Em algumas variações dessa prática, é preciso aquecer a mistura em banho-maria, o que só deve ser feito com a supervisão do professor.