

## Noções de Engenharia Genética

A Engenharia Genética é um conjunto de técnicas que tem por objetivo a manipulação do material genético. São técnicas que permitem identificar, isolar e multiplicar genes, bem como construir moléculas híbridas de DNA, isto é, DNA constituído por segmentos originários de diferentes espécies de seres vivos.

### DNA RECOMBINANTE

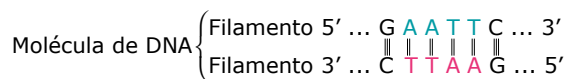
A tecnologia do DNA recombinante (rDNA), que teve início na década de 1970, constitui a base da Engenharia Genética e tem por principal objetivo a construção de moléculas de DNA não existentes na natureza, constituídas por segmentos provenientes de diferentes fontes. Assim, essas moléculas híbridas podem ser constituídas tanto por segmentos de DNA originários de organismos diferentes, quanto por segmento de DNA proveniente de um organismo ligado a um DNA sintético (produzido em laboratório, unindo-se os nucleotídeos numa sequência desejada).

O desenvolvimento da Bioquímica e os estudos genéticos realizados em micro-organismos, notadamente bactérias e bacteriófagos, deram uma grande contribuição para a obtenção dos conhecimentos e das técnicas necessários para a manipulação dos genes. Assim, surgiram "ferramentas" básicas para o desenvolvimento da Engenharia Genética. Entre elas, destacam-se as enzimas de restrição, também conhecidas por endonucleases de restrição.

As enzimas de restrição são encontradas em certas bactérias e atuam como verdadeiras "tesouras moleculares", cortando o DNA em pontos específicos. Costuma-se dizer que elas têm a propriedade de clivar (cortar, quebrar) o DNA.

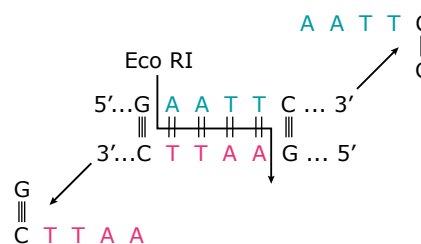
Essas enzimas, provavelmente, fazem parte do mecanismo de proteção que certas bactérias desenvolveram contra seus inimigos naturais, os vírus bacteriófagos. Nas células bacterianas, essas enzimas são capazes de reconhecer o DNA do vírus invasor como um elemento estranho e, assim, promover a sua destruição, cortando-o em pontos específicos, antes que ele sofra o processo de duplicação.

Cada bactéria tem suas próprias enzimas de restrição, e cada enzima reconhece apenas um tipo de sequência de bases nitrogenadas ao longo da molécula de DNA. São, portanto, altamente específicas, cortando o DNA apenas nos locais onde existem certas sequências de bases nitrogenadas. As sequências de bases nitrogenadas reconhecidas pelas enzimas de restrição são **palíndromos**, isto é, iguais nos dois filamentos da molécula de DNA, seja a leitura desses filamentos feita no sentido 5' → 3' ou no sentido 3' → 5'. Veja o exemplo a seguir:



Se a leitura dos dois filamentos for feita no sentido 5' → 3', a sequência será G A A T T C; se nos dois filamentos a leitura for feita no sentido 3' → 5', a sequência será C T T A A G. Assim, essas sequências de bases nesses dois filamentos são palíndromos.

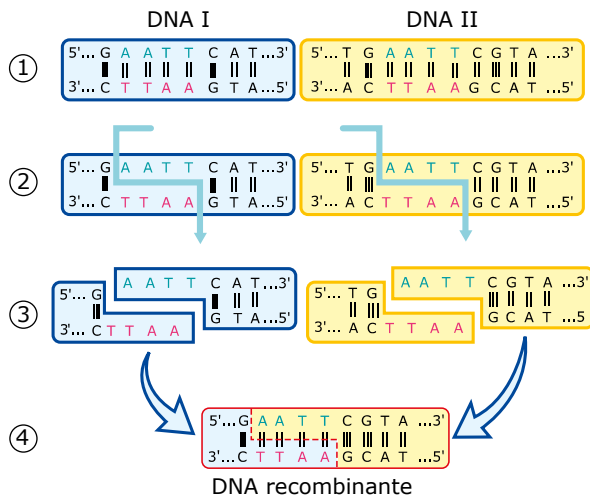
Existem vários tipos de enzimas de restrição. Uma delas é a Eco RI que atua na sequência ...G A A T T C..., fazendo o corte da ligação entre o G e o A, conforme mostra o esquema a seguir:



As enzimas de restrição podem ser isoladas de diferentes bactérias. Muitas indústrias cultivam essas bactérias, isolam suas enzimas de restrição e as comercializam, vendendo-as para laboratórios de genética molecular de todo o mundo. O quadro a seguir mostra alguns exemplos dessas enzimas, suas fontes (bactérias das quais são obtidas) e os seus sítios de clivagem (locais onde fazem o corte no DNA).

Enzima de restrição	Fonte	Sítio de clivagem
Bam HI	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> H	G↓GATCC CCTAG↓G
Hind III	<i>Haemophilus influenzae</i>	A↓AGCTT TTCGA↓A
Eco RI	<i>Escherichia coli</i>	G↓AATTC CTTAA↓G
Sal I	<i>Streptococcus albus</i> G	G↓TCGAC CAGCT↓G

A ilustração a seguir mostra, de forma bem simplificada, a construção de um DNA recombinante.



1. Imagine que os DNAs I e II são provenientes de dois organismos diferentes. 2. Utilizando-se de enzimas de restrição, os dois DNAs são cortados em pontos específicos. 3. Com o corte, os dois filamentos de cada DNA se separam. 4. Utilizando-se das enzimas DNA-ligases, um segmento do DNA I é ligado a um segmento do DNA II, formando, assim, um DNA recombinante.

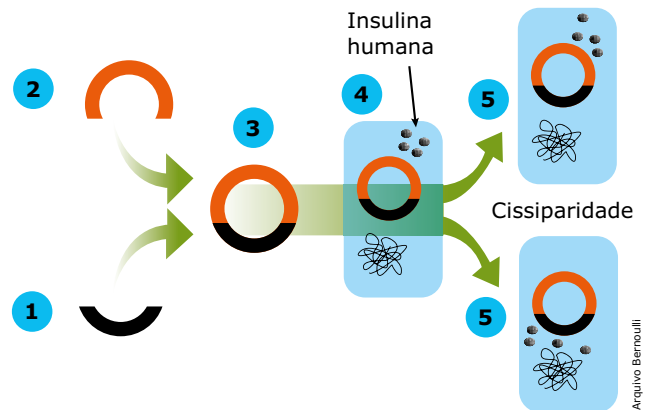
Por meio da tecnologia do DNA recombinante, tornou-se possível, por exemplo, associar segmentos de DNA (genes) de um animal ou de uma planta a plasmídios das bactérias.

Plasmídios são pequenos fragmentos circulares de DNA encontrados livremente no hialoplasma de muitas bactérias. Tanto no cromossomo bacteriano quanto nos plasmídios, existem genes (segmentos de DNA) responsáveis por diferentes características hereditárias das bactérias. Quando há reprodução da bactéria, todo o seu material genético, que inclui o cromossomo e o(s) plasmídio(s), duplica-se, sendo distribuído equitativamente entre as bactérias-filhas, que serão, então, geneticamente idênticas.

A insulina foi a primeira proteína humana produzida em células de bactérias geneticamente modificadas e aprovada para uso em pacientes. Antes do desenvolvimento dessa tecnologia, os diabéticos dispunham apenas de injeções de insulina extraída de animais, como bois e porcos. Acontece que a insulina desses animais é ligeiramente diferente da insulina humana, causando problemas alérgicos em alguns pacientes. A insulina produzida por bactérias transgênicas é idêntica à produzida pelo pâncreas humano e não causa problemas de alergia, daí a importância dessa conquista.

Atualmente, além da insulina, outras proteínas de interesse médico, como a somatotrofina (hormônio do crescimento), também são produzidas por bactérias geneticamente modificadas.

A ilustração a seguir nos dá, resumidamente, uma ideia da técnica do DNA recombinante com a utilização de plasmídios bacterianos.



Tecnologia do DNA recombinante – 1. Com a utilização de enzimas de restrição, um segmento de DNA humano, contendo a informação para a síntese da proteína insulina, é retirado de determinado cromossomo humano; 2. Plasmídio bacteriano de onde se retirou um segmento (pedaço) de DNA, com ajuda da enzima de restrição; 3. Com o auxílio da enzima DNA-ligase, o segmento de DNA humano é “soldado” ao plasmídio bacteriano. Forma-se, assim, um plasmídio contendo um DNA recombinante; 4. O plasmídio recombinante é incorporado à bactéria que, então, passa a ser uma bactéria transgênica. Os organismos que recebem ou incorporam genes de outra espécie são chamados de transgênicos; 5. A bactéria transgênica, ao se reproduzir por cissiparidade, origina bactérias-filhas, também transgênicas, ou seja, portadoras do plasmídio recombinante. Assim, obtém-se em pouco tempo um clone de bactérias transgênicas com capacidade de produzir a insulina humana utilizada no tratamento dos diabéticos.

As bactérias transgênicas, isto é, portadoras de DNA recombinante, abrigam em si todas as informações necessárias para o cumprimento das tarefas rapidamente, funcionando como pequenas fábricas biológicas, capazes de produzir, em larga escala e com custos mais baratos, as proteínas desejadas.

## CLONAGEM DE GENES

Existem técnicas que permitem a fabricação de milhões de cópias idênticas de um gene, isto é, técnicas que permitem a obtenção de um clone de genes. Isso possibilita, por exemplo, submeter um determinado gene que se deseja estudar às inúmeras análises necessárias para a determinação da sua estrutura.

Os primeiros passos para a produção de um clone de genes são, obviamente, a identificação e o isolamento do gene que se deseja clonar. Uma vez identificado e isolado, sua clonagem poderá ser feita por diferentes técnicas.

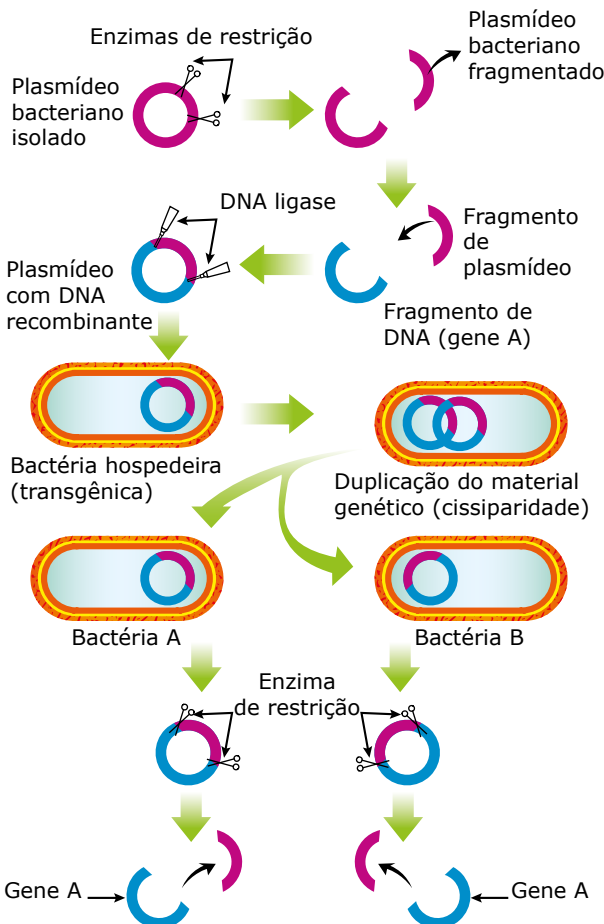
- Clonagem de genes com utilização de bactérias:**  
 Um plasmídeo bacteriano é isolado e cortado num determinado ponto com o auxílio de uma enzima de restrição. Em seguida, com o auxílio da enzima DNA-ligase, esse plasmídeo é ligado ao fragmento de DNA (gene) que se deseja clonar. Vamos chamar esse gene A. Forma-se, dessa maneira, um plasmídeo com DNA recombinante. Esse plasmídeo com DNA recombinante é introduzido numa bactéria hospedeira, que passa então a ser uma bactéria transgênica. Essa bactéria é colocada num meio de cultura contendo todas as condições necessárias para o seu desenvolvimento e reprodução. Ao se reproduzir, a bactéria-mãe duplica todo seu material genético, inclusive o gene A de origem exógena, e o distribui de forma equitativa entre as bactérias-filhas formadas. Cada bactéria-filha, portanto, terá os mesmos tipos de genes que existiam na bactéria-mãe. Assim, mantendo-se as condições no meio de cultura sempre favoráveis, em pouco tempo, obtém-se um número grande de bactérias geneticamente idênticas. Em todas elas, haverá o plasmídeo com o DNA recombinante, e, conseqüentemente, em todas haverá o gene A. Quando existir um número grande dessas bactérias transgênicas, seus plasmídios serão isolados, e deles, com o uso de enzimas de restrição, serão cortados os segmentos contendo o gene A. Obtém-se, assim, um número grande de genes idênticos, ou seja, um clone de um determinado gene.

- Clonagem de gene por meio da técnica do PCR:** Chamada em inglês de *Polymerase Chain Reaction* (PCR), que significa "Reação em Cadeia da Polimerase", essa tecnologia permite clonar, em laboratório, moléculas de DNA. O DNA é colocado em um meio contendo desoxirribonucleotídeos livres e uma enzima DNA polimerase especial, resistente ao calor, obtida de bactérias que vivem normalmente em fontes de água quente. Todo esse sistema é, então, submetido a uma temperatura de 98 °C, o que faz com que as duas hélices (fitas) da molécula de DNA se separem. Nessas condições, cada fita é complementada pelos nucleotídeos livres existentes no meio, formando-se, assim, duas moléculas completas e idênticas do DNA. Em seguida, o ciclo recomeça; são produzidas 4 moléculas, e assim por diante.

Como vimos, existem diferentes técnicas que permitem clonar um gene.

A clonagem de um gene permite que ele seja multiplicado, formando várias cópias, o que é necessário para estudar detalhadamente sua sequência de bases e, a partir disso, a sequência de aminoácidos da proteína que ele codifica. Pode-se saber em que tipo de célula o gene em estudo está funcionando e que fatores afetam seu funcionamento.

Um gene também pode ser extraído e transferido para indivíduos de uma outra espécie. Pode-se, por exemplo, introduzir um gene humano em um camundongo; um gene de inseto em uma planta; um gene humano em uma planta, etc., criando-se assim organismos transgênicos.

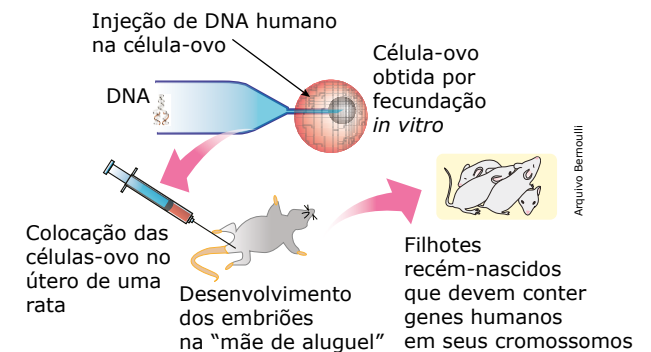


Clonagem de gene com a utilização de bactérias.

## ANIMAIS TRANSGÊNICOS

Animal transgênico é aquele que possui, no seu material genético, um ou mais genes originários de outra espécie.

A produção desses animais normalmente se faz na fase embrionária, introduzindo-se no embrião de uma espécie genes de outra espécie. Veja o exemplo a seguir:



Técnica de produção de animais transgênicos.

Se introduzirmos genes humanos em embriões de camundongos, estes poderão se desenvolver tendo genes humanos em seus cromossomos, ou seja, serão camundongos transgênicos. Para isso, procede-se da seguinte maneira: faz-se a fecundação in vitro, ou seja, retiram-se óvulos de fêmeas colocando-os em um tubo de ensaio que contém espermatozoides. O processo é acompanhado pelo microscópio; e tão logo ocorram as fecundações, com aparelhagem de micromanipulação, injetam-se os genes humanos nos núcleos das células-ovo.

Havendo receptividade, os genes injetados se incorporam aos cromossomos das células-ovo, sendo transmitidos quando ocorrer divisões mitóticas às células-filhas. Os ovos que receberam genes humanos são, então, implantados no útero de uma fêmea, no qual se desenvolvem, originando novos camundongos que conterão em suas células os genes humanos recebidos na fase embrionária. Esses camundongos serão, portanto, organismos transgênicos. Quando um camundongo transgênico se reproduzir, os genes humanos incorporados ao seu material genético poderão ser transmitidos aos descendentes, como qualquer outro gene.

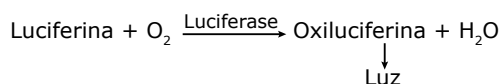
Em 1981, usando a tecnologia descrita, pedaços de DNA de coelho contendo o gene responsável pela produção da proteína hemoglobina foram injetados em células-ovo de camundongos. Essas células-ovo foram implantadas no útero de fêmeas de camundongos, onde se desenvolveram, dando origem a vários filhotes. A análise mostrou que os filhotes de camundongos que nasceram desses embriões tinham hemoglobina de coelho em suas hemácias. Isso comprovou que o DNA do coelho injetado na célula-ovo do camundongo se incorporou a um cromossomo e foi transmitido de célula a célula por meio das mitoses. Esses camundongos transgênicos foram cruzados entre si, e o gene do coelho incorporado ao seu material genético foi transmitido de geração a geração, segundo as leis mendelianas.

As perspectivas de utilização de animais transgênicos a favor do homem são muito boas. Assim como já acontece com bactérias transgênicas, num futuro não muito distante, animais transgênicos também poderão ser utilizados como verdadeiras fábricas para a produção de substâncias de interesse para o homem.

## PLANTAS TRANSGÊNICAS

De maneira semelhante ao que acontece com os animais, a produção de plantas transgênicas se faz introduzindo em uma planta genes de uma outra espécie de vegetal ou até de um animal. Vários experimentos bem-sucedidos já foram feitos nesse sentido. Um dos mais famosos associou ao material genético da planta do fumo o gene do vaga-lume responsável pela sua bioluminescência.

A reação de bioluminescência do vaga-lume depende da enzima luciferase. Essa enzima catalisa a reação de oxidação da substância luciferina, na qual é produzida luz, conforme mostra o esquema a seguir:



O gene para a produção da enzima luciferase foi isolado do vaga-lume e injetado em uma célula meristemática do fumo (tabaco), onde se incorporou a um dos cromossomos. Por meio de técnicas de cultura de tecidos vegetais, produziu-se uma planta inteira a partir dessa única célula transformada geneticamente.

Assim, em todas as células dessa planta transgênica de fumo, o gene do vaga-lume se fez presente. Quando essa planta foi regada com uma solução de luciferina, ela começou a brilhar.

Por meio dessa mesma tecnologia, cientistas franceses já conseguiram criar uma planta do fumo, modificada geneticamente, capaz de produzir a hemoglobina humana. Essa pesquisa francesa é parte de um esforço científico mundial para se obter um substituto natural para o sangue humano, ou seja, obter um sangue que possa ser produzido em larga escala e que ponha fim à dependência de doadores que hoje existe.

Essa tecnologia também já é usada para produzir plantas nas quais se incorporam genes bacterianos que conferem resistência a determinados herbicidas ou a determinadas pragas. Desse modo, essas plantas modificadas geneticamente são capazes de crescer normalmente em terrenos tratados com esses herbicidas e resistem ao ataque de pragas.

Entre as grandes esperanças dos cientistas que trabalham com a manipulação genética de plantas, está a de se produzirem variedades capazes de fixar o nitrogênio do ar.

Sabe-se que um dos fatores limitantes ao crescimento das plantas e à produção agrícola é, justamente, a disponibilidade de nitrogênio no solo. Os fertilizantes, que encarecem a produção, têm como principal objetivo aumentar a quantidade de nitrogênio disponível às plantas.

Pesquisas estão sendo feitas no sentido de alterar geneticamente as plantas de interesse comercial, introduzindo em seu genoma genes de bactérias fixadoras de nitrogênio. A possibilidade de aumentar a eficiência na fixação de nitrogênio por meio da Engenharia Genética poderia resultar na produção de alimentos mais baratos para a humanidade.

A cada dia, surgem no mercado novas substâncias, produzidas pela tecnologia da Engenharia Genética, capazes de estimular o crescimento de animais, a produção de leite, o aumento do volume de lã dos carneiros, a produtividade de plantas cultivadas, a resistência de animais e de plantas a doenças diversas etc.

Alimentos transgênicos, como o milho e a soja, resistentes a herbicidas, já são produzidos e comercializados em alguns países (EUA, Canadá, Japão, Argentina), embora ainda existam polêmicas sobre a segurança ou não para a saúde humana do uso de tais alimentos, bem como se o cultivo dessas plantas geneticamente modificadas pode ou não trazer prejuízos para o meio ambiente. O uso de alimentos transgênicos ainda divide opiniões. Entretanto, muitos cientistas e pesquisadores concordam que a técnica de manipulação do DNA é uma ferramenta poderosa e importante no estudo dos fenômenos biológicos com repercussão na saúde, no meio ambiente, na agricultura e na produção de alimentos. Bem manipulada e devidamente voltada para os interesses maiores da humanidade, a Engenharia Genética pode contribuir decisivamente para a melhoria do padrão de vida do homem na Terra.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



**01.** (UFMT) O avanço da pesquisa biotecnológica promove cada vez mais a mobilização da sociedade, dos setores econômicos e dos poderes públicos com respeito ao estímulo, à absorção e ao controle dos resultados dessa pesquisa. Observam-se reações positivas com respeito aos benefícios trazidos pela biotecnologia e reações negativas – naturais quando se trata de qualquer conhecimento relativamente novo – quanto aos riscos tecnológicos. A sociedade, por meio de seus representantes e órgãos reguladores, responde com o estabelecimento de controle técnico mais detalhado no campo da biossegurança.

[...]

Ao longo dos últimos anos, temos tido a oportunidade de presenciar um debate acirrado acerca da conveniência ou não de permitirmos a entrada – e o desenvolvimento – de produtos transgênicos e dessa tecnologia no Brasil. [...]

SCHOLZE, Simone H. *Biossegurança e produtos transgênicos*.

Disponível em: <<http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/12897>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

Em relação aos organismos transgênicos, tema abordado no texto, pode-se afirmar que

- A) são geneticamente modificados por possuírem genes somente da sua espécie.
- B) são geneticamente modificados por possuírem somente cromossomos de uma outra espécie.
- C) são todos clonados na fase vegetativa.
- D) sofrem mutação pela ação dos raios ultravioletas (UV).
- E) são geneticamente modificados por possuírem genes de espécies diferentes.

**02.**  
UQNM



(PUC-Campinas-SP) As técnicas de manipulação genética, utilizadas para a obtenção de seres transgênicos, permitiram a criação do primeiro transgênico de grande impacto na agricultura: a soja resistente a um potente herbicida, o *round-up*. Com o uso dessa variedade, as técnicas de controle de pragas nas culturas de soja sofreram mudanças, e os custos de produção diminuíram. A transferência de genes bacterianos para o genoma de uma planta amplamente cultivada e usada na alimentação animal e humana vem gerando, porém, questionamentos de cunho político, científico e filosófico.

Esses questionamentos justificam-se porque

- A) o custo dos transgênicos será certamente maior do que o dos produtos convencionais.
- B) todos os países passarão a produzir soja, prejudicando os atuais exportadores.

- C) não se conhecem os efeitos que os transgênicos podem ter na saúde das pessoas.
- D) eliminando-se as pragas da lavoura, muitas cadeias alimentares desaparecerão, beneficiando o meio ambiente.
- E) os transgênicos simplificarão muitas cadeias alimentares, eliminando todos os competidores do homem e dos animais que ele cria.

**03.** (FUVEST-SP) Enzimas de restrição são fundamentais à Engenharia Genética porque permitem

- A) a passagem de DNA através da membrana celular.
- B) inibir a síntese de RNA a partir de DNA.
- C) inibir a síntese de DNA a partir de RNA.
- D) cortar o DNA onde ocorrem sequências específicas de bases.
- E) modificar a sequência de bases do DNA.

**04.**  
2MHR



(PUC-SP) Em um experimento de Engenharia Genética, alguns pesquisadores introduziram em células bacterianas uma sequência de DNA ativo, responsável pela produção de insulina humana.

A síntese desse hormônio proteico no interior das bactérias é

- A) possível, pois, excetuando-se a referida sequência de DNA, as bactérias apresentam os componentes necessários à síntese de proteínas.
- B) possível, se, além do referido gene, forem introduzidos ribossomos, componentes celulares ausentes em bactérias.
- C) impossível, pois o RNA mensageiro correspondente à insulina não seria transcrito.
- D) impossível, pois as bactérias não apresentam enzimas capazes de promover as ligações peptídicas encontradas na insulina.
- E) impossível, pois o DNA bacteriano seria destruído pelo DNA humano, e as células perderiam a atividade.

**05.** (UNIFESP) Com relação à técnica de criação de organismos geneticamente modificados (transgênicos), o caderno "Mais!" do jornal *Folha de S.Paulo* (07.10.2001) afirmou:

"O que torna a técnica tão atrativa e produtora de ansiedade é que qualquer gene de qualquer espécie pode ser transferido para qualquer outra espécie."

Essa afirmação

- A) não é válida se as espécies forem de filos diferentes.
- B) não é válida se as espécies forem de classes diferentes.
- C) é válida, desde que as espécies sejam do mesmo reino.
- D) é válida, desde que as espécies sejam da mesma ordem.
- E) é válida para todas as espécies, independentemente de sua classificação.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01.  
AD4Y



Com o objetivo de diminuir a incidência das arboviroses, entra em cena o mosquito OX513A. Ele é idêntico ao *Aedes aegypti* – exceto por dois genes modificados, colocados pelo homem em alguns exemplares da espécie. Um deles faz as larvas do mosquito brilharem sob uma luz especial (para que elas possam ser identificadas pelos cientistas). O outro é uma espécie de bomba-relógio, que mata os filhotes do mosquito. A ideia é que ele seja solto na natureza, se reproduza com as fêmeas de *Aedes* e tenha filhotes defeituosos – que morrem muito rápido, antes de chegar à idade adulta, e por isso não conseguem se reproduzir. Com o tempo, esse processo vai reduzindo a população da espécie, até extingui-la.

Disponível em: <<http://super.abril.com.br>>. Acesso em: 27 abr. 2017 (Adaptação).

Considerando as informações presentes no texto-base, o mosquito OX513A pode ser caracterizado como um(a)

- A) clone.
- B) quimera.
- C) mutante.
- D) mosaico.
- E) transgênico.

02.  
MM24



(UEFS-BA) Pacientes diabéticos podem controlar sua doença seguindo consistentemente a dieta prescrita, tomando medicação como ordenado, comendo em horários regulares e seguindo um programa regular de exercícios. [...] A chegada do medidor de bolso de teste de glicose no sangue permitiu ao paciente diabético realizar um controle mais rigoroso da doença. As pessoas que tomam injeções de insulina estão sujeitas a episódios de hipoglicemia, ou seja, de taxa baixa de açúcar no sangue. [...] A maioria da insulina em uso atualmente é um tipo “humano” produzida por bactérias por meio da engenharia genética.

COHEN; WOOD, 2002, p. 216-7.

A engenharia genética está produzindo uma revolução na capacidade médica de tratamento das mais diversas doenças humanas. A respeito desse tema, é correto afirmar:

- A) Os organismos transgênicos representam a capacidade do ser humano de mesclar características genéticas de espécies distintas em um só indivíduo, gerando produtos que podem ser utilizados para melhorar a qualidade de vida das pessoas.
- B) A insulina de origem transgênica utilizada com sucesso nos pacientes diabéticos é produzida por bactérias que apresentam um gene modificado de origem suína.
- C) Os alimentos transgênicos se caracterizam por apresentarem invariavelmente um valor nutricional maior do que se comparado ao alimento original correspondente.
- D) A terapia com células-tronco representa um avanço das pesquisas médicas, ao induzir a regeneração de qualquer tipo de órgão humano lesado com a aplicação de células-tronco retiradas do tecido mamário de ovelhas.
- E) A clonagem terapêutica é considerada pelos pesquisadores como uma técnica promissora, ao propor gerar cópias de indivíduos humanos para serem utilizados na reposição de tecidos e órgãos dos indivíduos originais.

03.  
1FVH



(CEFET-MG) Alguns vírus têm sido usados em lavouras de soja como um agente de controle biológico específico contra lagartas. Recentemente foram identificadas as proteínas produzidas por esses vírus e os genes realmente ativos durante a infecção desses insetos.

Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br>>. Acesso em: 15 ago. 2014 (Adaptação).

A identificação desses genes constitui uma importante ferramenta para a

- A) elaboração de um parasita inofensivo para a planta.
- B) minimização dos danos ecológicos causados pelo vírus.
- C) criação de linhagem de soja transgênica resistente à lagarta.
- D) preservação do inseto polinizador da planta na fase adulta.
- E) geração de uma vacina para proteger a planta das infecções.

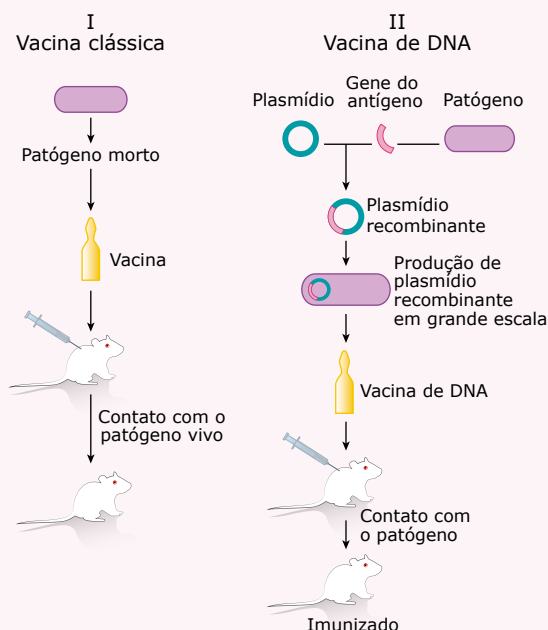
04.

(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

- A) proteger as bactérias contra os vírus bacteriófagos.
- B) reparar o DNA bacteriano que sofreu mutação deletéria.
- C) auxiliar no processo de duplicação do DNA.
- D) auxiliar no processo de transcrição do mRNA.
- E) auxiliar no processo de tradução do DNA.

05. 8BPM

(UFMG) Analise estas figuras:



Considerando-se os processos de imunização representados, é incorreto afirmar que

- A) os anticorpos são produzidos tanto em I quanto em II.
- B) o código genético do patógeno é igual ao do camundongo.
- C) o antígeno do patógeno é produzido pelo camundongo em I.
- D) o mRNA do antígeno do patógeno é traduzido em II.

06. (UFGD-MS) Leia o texto a seguir.

Terapia gênica é o tratamento baseado na introdução de genes saudáveis com uso de técnicas de DNA recombinante. O primeiro teste clínico bem-sucedido dessa técnica foi divulgado em 1990. Embora ainda em estágio experimental, progressos recentes indicam oportunidades crescentes de investimento pela indústria, bem como justificam a expectativa de que, em alguns casos, essa tecnologia poderá chegar à prática clínica dentro de poucos anos.

A base da terapia gênica consiste na introdução de genes em células. Porém, a entrada de DNA puro através da membrana plasmática de células eucarióticas é extremamente rara. Essa dificuldade é, naturalmente, benéfica para o organismo, pois dificulta alterações espúrias do metabolismo celular e até mesmo transformações semelhantes às que se observam na evolução das espécies.

LINDEN, Rafael. Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será. *Estud. av.*, São Paulo, v. 24, n. 70, p. 31-69, 2010.

Escolha a alternativa que representa um exemplo de terapia gênica.

- A) Desenvolvimento de um organismo completo a partir de uma célula somática.
- B) Desenvolvimento de vacina de DNA, que consiste na aplicação de um gene que codifica uma proteína típica do agente agressor.
- C) Obtenção de uma nova espécie de bactéria produtora de insulina humana, que consiste na substituição do processo de extração de insulina de pâncreas de suínos.
- D) Uso de células-tronco, que consiste na reparação de tecidos que perderam sua função, por exemplo, por mutação genética.
- E) Sequenciamento do genoma humano visando à determinação de defeitos genéticos.

07. MS1K



(CMMG) A clonagem é vista por alguns pesquisadores como uma alternativa para salvar animais ameaçados de extinção. Desde o início de 2000, pesquisas vêm sendo feitas em vários países, incluindo o Brasil. Para muitos especialistas, porém, esse processo reprodutivo está longe de ser uma alternativa viável para salvar as mais de 20 mil espécies ameaçadas.

No que diz respeito ao uso desse recurso para reduzir a extinção de espécies ameaçadas no planeta, é incorreto dizer que a clonagem

- A) é uma ferramenta emergencial no caso de uma multiplicação necessária, quando há poucos indivíduos, mas ela dificilmente irá recuperar ou salvar uma espécie.
- B) nada pode fazer para impedir a destruição de habitats naturais, causada pela interferência humana. É imprescindível proteger as espécies em seu habitat natural.
- C) tem na dificuldade reprodutiva um dos fatores determinantes para ser excluída das alternativas para aumentar a população de animais ameaçados em seu habitat natural.
- D) continua sendo um processo muito complexo, apesar dos avanços científicos, mas os clones são aptos para se reproduzir. A expectativa de vida de clones é baixa, mas com resultados sempre satisfatórios.

08.

(UniCesumar-SP) A espécie de levedura mais utilizada na produção de álcool no Brasil é a *Saccharomyces cerevisiae*. A CAT-1 é uma das linhagens dessa levedura que apresenta alto rendimento fermentativo. Esse alto rendimento é atribuído ao fato de essas leveduras conterem genes responsáveis por uma maior produção de vitaminas B1 e B6, essenciais para a sobrevivência da levedura durante o processo de fermentação. Pesquisadores brasileiros e norte-americanos formaram recentemente uma equipe multidisciplinar que sequenciou o genoma da CAT-1.

Com base nessas informações, assinale a alternativa correta.

- A) As características genéticas da linhagem CAT-1 permitem o seu uso para a produção de vitaminas B1 e B6 por fermentação alcoólica.
- B) O sequenciamento do genoma da CAT-1 pode resultar em isolamento de genes a serem usados futuramente na criação de leveduras transgênicas de outras espécies.
- C) A maior produção de vitaminas B1 e B6 certamente eleva a quantidade de moléculas de ATP geradas nas cristas mitocondriais da levedura.
- D) O conhecimento obtido a partir do sequenciamento do genoma da CAT-1 pode ser útil para compreender a maior eficiência da fermentação aeróbica em relação à anaeróbica.
- E) O etanol produzido pelo processo de fermentação da linhagem CAT-1 tem maior rendimento porque é vitaminado.

09.

WGJR



(CEFET-MG) Com o desenvolvimento de técnicas de genética e aumento da área plantada com transgênicos surgiram preocupações com a biossegurança, restringindo esse tipo de cultura. Mesmo assim espera-se que a taxa de cultivo de organismos geneticamente modificados no Brasil cresça em média 54% até a safra 2020/21.

Disponível em: <<http://agromais.tv>>.  
Acesso em: 26 jul. 2012 (Adaptação).

Essas preocupações justificam-se pela possibilidade de

- A) ocorrência de mutações que proliferam células humanas após a absorção dos transgenes.
- B) produção de toxinas nocivas ao homem em consequência da mutagênese gerada nos vegetais.
- C) fluxo de genes entre as espécies nativas e as transgênicas que causam impactos na biodiversidade.
- D) distribuição de grande número de sementes transgênicas de forma ilícita por produtores após o primeiro plantio.
- E) geração de problemas imediatos no fígado e nos rins humanos decorrentes do consumo de alimentos transgênicos.

10.

UOVP



(UFRN) Como fazer um salmão comum virar um gigante? O segredo é pegar do Chinook (Salmão originário da Europa) um trecho de DNA denominado promotor do hormônio de crescimento e inseri-lo na célula-ovo do salmão do Atlântico Norte. A sequência promotora controla, indiretamente, a produção de proteína que, nesse caso, é a do hormônio de crescimento. Enquanto o salmão oceânico só produz o hormônio do crescimento no verão, o híbrido produz o ano inteiro.

Depois da inserção do DNA do Chinook no salmão do Atlântico Norte, este passa a ser

- A) quimera, pois ocorreu a clivagem dos dois alelos do gene que codifica a produção do hormônio do crescimento.
- B) clone, pois esse organismo foi gerado artificialmente a partir de óvulos não fecundados, conferindo-lhe vantagens quanto ao seu desenvolvimento.

- C) animal transgênico, pois se trata de um organismo que contém materiais genéticos de outro ser vivo, com vantagens em relação ao seu tamanho.
- D) organismo geneticamente modificado, pois a inserção do DNA promotor do hormônio do crescimento produz cópias idênticas do salmão gigante.

11. (UEG-GO) A parte endócrina do pâncreas é formada pelas ilhotas pancreáticas, que contêm dois tipos de células: beta e alfa. As células betas produzem a insulina, hormônio peptídico que age na regulação da glicemia. Esse hormônio é administrado no tratamento de alguns tipos de diabetes. Atualmente, através do desenvolvimento da engenharia genética, a insulina administrada em pacientes diabéticos é, em grande parte, produzida por bactérias que recebem o segmento de
- A) peptídeo e transcrevem para o DNA humano a codificação para produção de insulina humana.
  - B) RNA mensageiro e codifica o genoma para produção da insulina da própria bactéria no organismo humano.
  - C) plasmídeo da insulina humana e codifica o genoma agregando peptídeos cíclicos no organismo humano.
  - D) DNA humano responsável pela produção de insulina e passam a produzir esse hormônio idêntico ao da espécie humana.

12. (PUC Minas) A vacina de DNA é a mais recente forma de apresentação de antígeno que veio revolucionar o campo da virologia. O processo envolve a inoculação direta do DNA plasmidial, que possui o gene codificador da proteína antigênica, que será expressa e produzida no interior das células do indivíduo. Esse tipo de vacina apresenta uma grande vantagem sobre as demais, pois fornece para o hospedeiro a informação genética necessária para que ele fabrique o antígeno preservando todas as suas características importantes na indução de uma resposta imune eficiente. Isso sem gerar os efeitos colaterais que podem aparecer quando são utilizados patógenos vivos, ou os problemas proporcionados pela produção das vacinas de subunidades em micro-organismos.

SCIENTIFIC AMERICAN.

Desenvolvimento de vacinas gênicas. 1999.

Com base no texto, foram feitas as seguintes afirmações:

- I. A imunidade desenvolvida pela vacina de DNA não é imediata, mas é de longa duração.
- II. O indivíduo geneticamente vacinado passa a produzir tanto os antígenos quanto os anticorpos.
- III. Patógenos vivos não podem ser usados como vacina, pois não determinam imunidade e sim doenças.
- IV. Os antígenos produzidos pelo DNA plasmidial são capazes de combater patógenos que infectem o hospedeiro.

São afirmações corretas

- A) I e II.
- B) II e IV.
- C) III e IV.
- D) I e III.



**13.** (UFSC) Porcos têm sido criados transgenicamente para que seus órgãos possam ser transplantados em homens; cientistas desenvolvem ovelhas "autotosquiáveis", isto é, a lã cai sozinha no devido tempo; genes de galinha são introduzidos em batatas, deixando os vegetarianos confusos com a perspectiva de cruzar animais com plantas [...].

CICLO VITAL, v. 4, p. 14, 1999.

A citação anterior mostra avanços da Engenharia Genética.

Assinale a(s) proposição(ões) verdadeira(s) sobre a transgenia e suas aplicações com relação à saúde e ao meio ambiente.

- ( ) Os organismos transgênicos são aqueles que recebem segmentos de DNA da mesma espécie.
- ( ) Os genes alienígenas permitem ao organismo receptor produzir substâncias que nunca produziram em condições naturais.
- ( ) Os alimentos transgênicos não representam nenhuma ameaça à saúde humana, e, por isso, não necessitam ser testados em outras espécies de animais, antes de chegarem ao homem.
- ( ) A produção de insulina, a partir de transferência de genes humanos para bactérias, que passam, *incontinenti*, a produzir esse hormônio, é uma das experiências bem-sucedidas da transgenia.
- ( ) Cientistas interferem na evolução natural das espécies, alterando geneticamente animais e plantas.
- ( ) É fundamental o estabelecimento de limites, tanto por parte dos cientistas como dos governantes, para que as manipulações genéticas não resultem em impactos ambientais irreversíveis.

**14.** (Unicamp-SP) *Aedes aegypti* modificados (transgênicos) têm sido utilizados no combate à dengue. Esses mosquitos produzem uma proteína que mata seus descendentes ainda na fase de larva. Mosquitos machos modificados são soltos na natureza para procriar com fêmeas nativas, mas os filhotes resultantes desse cruzamento não sobrevivem. É possível monitorar a presença de ovos resultantes do cruzamento de machos modificados com fêmeas nativas a partir da luz fluorescente emitida pelos ovos.

- A) Descreva o princípio da técnica utilizada para produzir os mosquitos modificados.
- B) Por que os ovos resultantes do cruzamento dos machos modificados com fêmeas nativas emitem luz fluorescente? O que é preciso fazer com os ovos para saber se eles emitem luz fluorescente?

## SEÇÃO ENEM

**01.** (Enem) Não é de hoje que o homem cria, artificialmente, variedades de peixes por meio da hibridação. Esta é uma técnica muito usada pelos cientistas e pelos piscicultores porque os híbridos resultantes, em geral, apresentam maior valor comercial do que a média de ambas as espécies parentais, além de reduzir a sobrepesca no ambiente natural.

TERRA DA Gente, ano 4, n. 47, mar. 2008 (Adaptação).

Sem controle, esses animais podem invadir rios e lagos naturais, se reproduzir e

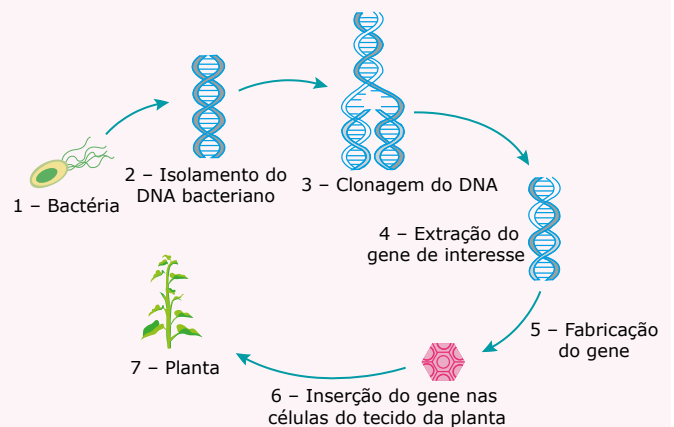
- A) originar uma nova espécie poliploide.
- B) substituir geneticamente a espécie natural.
- C) ocupar o primeiro nível trófico no *habitat* aquático.
- D) impedir a interação biológica entre as espécies parentais.
- E) produzir descendentes com o código genético modificado.

**02.** (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.

**03.** (Enem) Em um laboratório de Genética experimental, observou-se que determinada bactéria continha um gene que conferia resistência a pragas específicas de plantas. Em vista disso, os pesquisadores procederam de acordo com a figura.



Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br>>.

Acesso em: 22 nov. 2013 (Adaptação).

Do ponto de vista biotecnológico, como a planta representada na figura é classificada?

- A) Clone
- B) Híbrida
- C) Mutante
- D) Adaptada
- E) Transgênica

**04.** (Enem) A estratégia de obtenção de plantas transgênicas pela inserção de transgenes em cloroplastos, em substituição à metodologia clássica de inserção do transgene no núcleo da célula hospedeira, resultou no aumento quantitativo da produção de proteínas recombinantes com diversas finalidades biotecnológicas. O mesmo tipo de estratégia poderia ser utilizada para produzir proteínas recombinantes em células de organismos eucarióticos não fotossintetizantes, como as leveduras, que são usadas para produção comercial de várias proteínas recombinantes e que podem ser cultivadas em grandes fermentadores.

Considerando a estratégia metodológica descrita, qual organela celular poderia ser utilizada para inserção de transgenes em leveduras?

- A) Lisossomo
- B) Mitocôndria
- C) Peroxissomo
- D) Complexo golgiense
- E) Retículo endoplasmático

**05.** (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 (Adaptação).

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 micro-organismos ou seres mais complexos para produzir medicamentos, vacinas e combustíveis.
- E) capacidade da bactéria *Mycoplasma capricolum* de expressar suas proteínas na bactéria sintética e estas serem usadas na indústria.

**06.** (Enem) Os transgênicos vêm ocupando parte da imprensa com opiniões ora favoráveis ora desfavoráveis. Um organismo, ao receber material genético de outra espécie ou modificado da mesma espécie, passa a apresentar novas características. Assim, por exemplo, já temos bactérias fabricando hormônios humanos, algodão colorido e cabras que produzem fatores de coagulação sanguínea humana.

O belga René Magritte (1896-1967), um dos pintores surrealistas mais importantes, deixou obras enigmáticas.

Caso você fosse escolher uma ilustração para um artigo sobre os transgênicos, qual das obras de Magritte, a seguir, estaria mais de acordo com esse tema? Marque a alternativa correta.



## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

#### Aprendizagem

Meu aproveitamento

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. C
- 03. D
- 04. A

- 05. E

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. A
- 03. C
- 04. A
- 05. C
- 06. B
- 07. D
- 08. B
- 09. C
- 10. C
- 11. D
- 12. A

14.

- A) A principal técnica utilizada é a transgenia. Essa técnica permite a transferência de genes entre espécies diferentes. Um fragmento de DNA da espécie doadora é transferido e incorporado no DNA da espécie receptora, que passa a expressar o genótipo modificado.
- B) Esses ovos produzem luz fluorescente, pois receberam o gene que permite a codificação da proteína que emite fluorescência. Os ovos devem ser iluminados com luz ultravioleta, e os que emitirem fluorescência são transgênicos.

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. E
- 03. E
- 04. B
- 05. D
- 06. B



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %