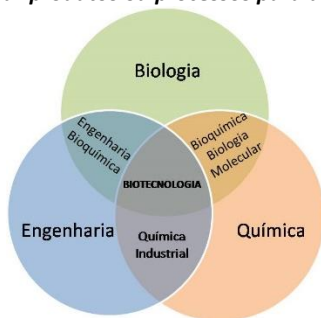




Biotecnologia define-se pelo uso de conhecimentos sobre os processos biológicos e sobre as propriedades dos seres vivos, com o fim de resolver problemas e criar produtos de utilidade.

A definição ampla de biotecnologia é o uso de organismos vivos ou parte deles, para a produção de bens e serviços. Nesta definição se enquadram um conjunto de atividades que o homem vem desenvolvendo há milhares de anos, como a produção de alimentos fermentados (pão, vinho, iogurte, cerveja, e outros). Por outro lado a biotecnologia moderna se considera aquela que faz uso da informação genética, incorporando técnicas de DNA recombinante.

Segundo a *Convenção sobre Diversidade Biológica da ONU*, biotecnologia significa "qualquer aplicação tecnológica que use sistemas biológicos, organismos vivos ou derivados destes, para fazer ou modificar produtos ou processos para usos específicos."



Genoma

A leitura e a decifração do genoma de todos os seres vivos, das plantas ao homem e outros animais, criam novas perspectivas para a concretização do sonho ancestral de melhorar e prolongar a vida do ser humano. Com o avanço obtido na biotecnologia, abrem-se caminhos para o surgimento de novas empresas, profissões e produtos. Clones, alimentos transgênicos, projetos Genoma, bioética, PCR, "fingerprint", técnicas do DNA recombinante, plasmídios, enzimas de restrição, terapias gênicas... Vocabulário novo, constituído por palavras que, de tão repetidas, acabaram se tornando familiares. Algumas realidades, muitas promessas. Curar o câncer e as doenças hereditárias; produzir remédios abundantes e baratos, fabricar vacinas sob medida, fazer crescer órgãos em laboratório para transplante, aumentar a longevidade, controlar as pragas agrícolas sem envenenar o ambiente, produzir alimentos em quantidade, erradicar a fome no planeta e, quem sabe, até "ressuscitar" um dia animais extintos... Há o outro lado da questão, que preocupa bastante: o da má utilização desse conhecimento; o homem deve saber se impor limites éticos, pois, quanto maior o poder, maior deve ser também a responsabilidade.

O modo de vida humano tem sido profundamente alterado pela revolução da informática. O final do século XX foi dos computadores.

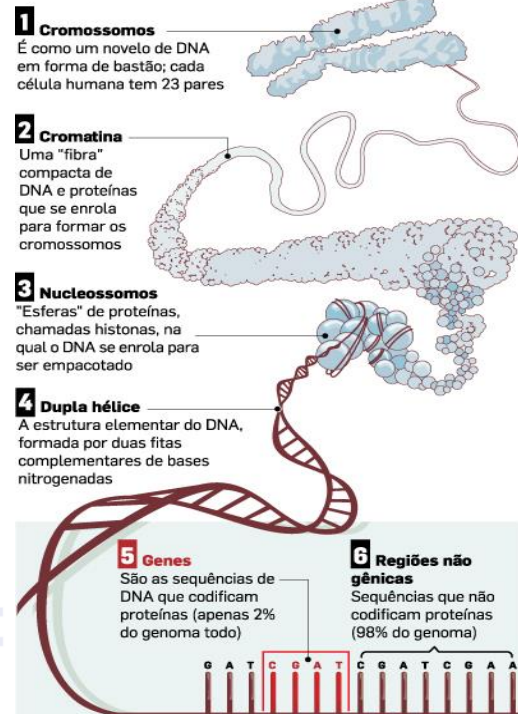
O século XXI é o Século da Biologia.

A ESTRUTURA DO DNA

A composição química do DNA, formada por nucleotídeos, já era conhecida no início do século XX, mas só em 1950 Chargaff mostrou que a distribuição dos nucleotídeos, identificados por suas bases nitrogenadas, obedecia a um padrão, no qual a quantidade de adenina era igual à de timina, e a de guanina igual à de citosina. A partir disso e utilizando dados sobre a molécula do DNA obtidos por meio de cristalografia de raios X por Rosalind Franklin, em 1953 Watson e Crick propuseram o modelo de dupla hélice do DNA: duas cadeias de nucleotídeos enroladas em espiral e ligadas entre si pelas bases. A estrutura em dupla hélice permitiu explicar o processo de duplicação do material genético (pela separação das duas cadeias e a formação de cadeias complementares) e a produção do RNA, responsável pela síntese proteica, que permite o controle da atividade celular.

COMPLEXIDADE BÁSICA

● O genoma pode ser escrito como uma sequência de 3 bilhões de letrinhas A, T, C e G. Porém, isso é apenas uma parte da história, cuja leitura depende de uma série de fatores bioquímicos e até estruturais



O PROJETO GENOMA

O genoma corresponde ao conjunto de genes que contêm as informações que determinam uma espécie. Esses genes estão distribuídos ao longo do DNA da espécie.

No início de 2000, foi anunciado o término do sequenciamento completo do DNA humano, que estabeleceu a identificação dos 3,2 bilhões de pares de bases do DNA.

Denominado Projeto do Genoma Humano (PGH), foi iniciado em 1986 pelo governo norte-americano, com uma verba de 3 bilhões de dólares e envolvendo dezenas de laboratórios de pesquisa.

Na década de 1990, a empresa de biotecnologia Celera, usando uma abordagem diferente, também estabeleceu um sistema de sequenciamento do DNA. Finalmente, o PGH e a Celera uniram os seus esforços e terminaram o processo.

Na verdade, isso é só a primeira parte do trabalho, pois os 40 a 50 mil genes que se acredita existirem no homem representam apenas 3 a 5% do genoma, sendo o restante constituído por sequências reguladoras e largas áreas sem função conhecida (DNA junk).

Por enquanto, pouco mais de 3 mil genes foram identificados, estão mapeados e têm função conhecida. Analisando a sequência de bases, será necessário localizar todos os genes, determinar a sua posição e, o mais importante, o seu papel no metabolismo celular.

Paralelamente ao estudo do genoma humano, vários projetos de sequenciamento de genomas de bactérias, fungos, protozoários, plantas e animais estão em andamento. No Brasil, em meados de 2000, foi anunciado o término do mapeamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*.

Junto ao PGH, várias outras técnicas que envolvem o DNA foram surgindo, levando ao grande desenvolvimento da Biotecnologia.

Novas ferramentas e procedimentos foram nascendo, como estes que vamos explicar a seguir.

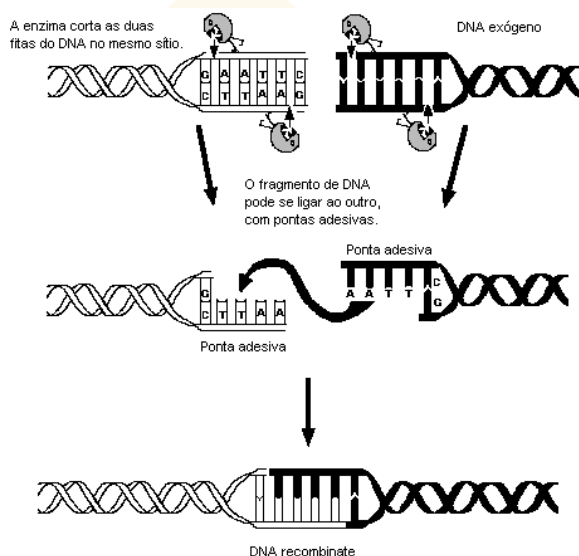
ENZIMAS DE RESTRIÇÃO

Estas enzimas são endonucleases, ou seja, no interior (daí o prefixo *endo-* dentro) das moléculas de DNA, cortando-as em locais bem definidos.

São enzimas produzidas normalmente por bactérias e que possuem a propriedade de defendê-las de vírus invasores. Essas substâncias "picotam" a molécula de DNA sempre em determinados pontos, levando a produção de fragmentos contendo pontas adesivas, que podem se ligar a outras pontas de moléculas de DNA que tenham sido cortadas com a mesma enzima. Em Engenharia Genética, a obtenção dos fragmentos de DNA serve para criar, *in vitro* (em tubo de ensaio ou no laboratório), novas moléculas, recortando e colando vários pedaços de informações.

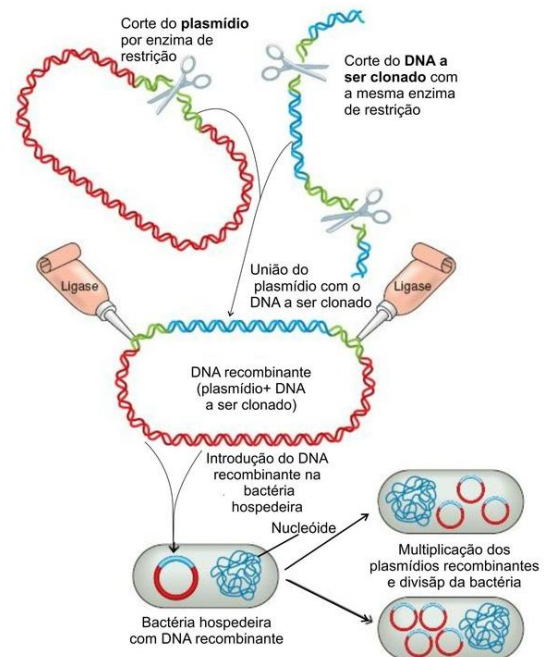
Uma das primeiras enzimas de restrição a ser isolada foi a EcoRI, produzida pela bactéria *Escherichia coli*. Essa enzima reconhece apenas a sequência GAATTC (figura abaixo) e atua sempre entre o G e o primeiro A.

O local do "corte", o local de uma enzima, é conhecido como sítio alvo. Você pode perguntar por que essa enzima não atua no DNA da própria bactéria? Isso não ocorre devido à existência de outras enzimas protetoras, que impedem a ação das enzimas de restrição no material genético da bactéria.



As enzimas de restrição também podem ser utilizadas junto aos PLASMÍDEOS. As bactérias apresentam frequentemente pequenos segmentos circulares de DNA, os plasmídios, independentes do cromossomo bacteriano. Os plasmídios podem ser transferidos de uma bactéria para outra, permitindo a transmissão de genes, através das enzimas de restrição, como foi visto anteriormente..

Assim, eles são segmentos de DNA exportáveis.



Como foi observado figura da Enzima de Restrição EcoRI, cada molécula de DNA pode ser composta de várias repetições da sequência GAATTC ao longo de toda sua extensão. Portanto ao contato com a enzima EcoRI a fita de DNA pode ser clivada "cortada" em diversos lugares, gerando vários pedaços, de tamanhos diferentes.

[E como se separa estes diferentes pedaços de DNA clivados?](#)

Separando fragmentos de DNA: ELETROFORESE EM GEL

Como vimos anteriormente, os fragmentos de DNA formados com a ação das enzimas de restrição possuem tamanhos diferentes. A

técnica de separação dos fragmentos de DNA mais utilizada é a eletroforese através de géis de agarose.

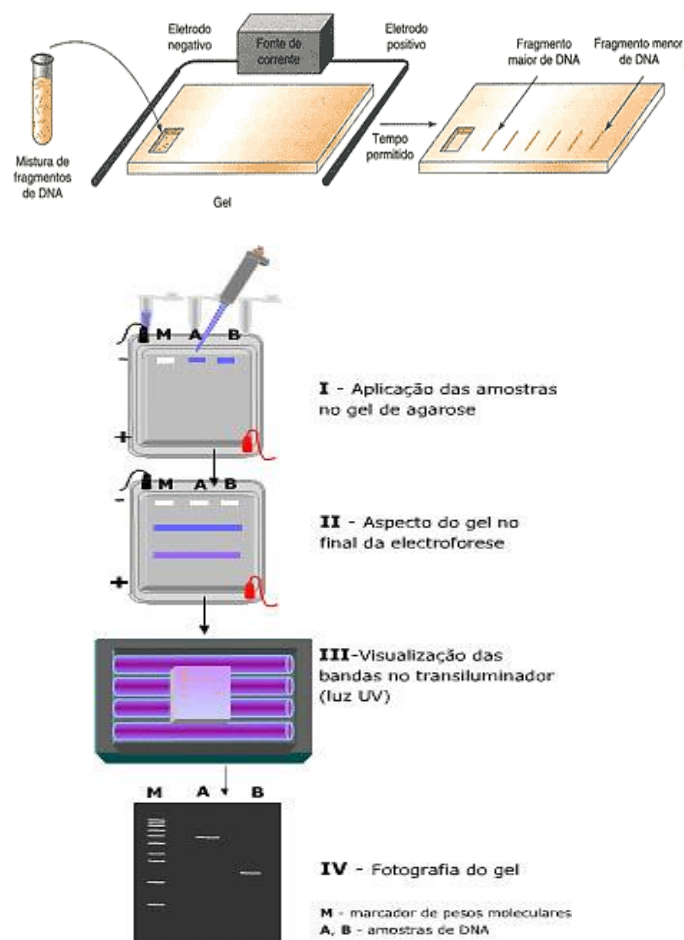
A agarose é um polissacarídeo (como ágar e pectina) que dissolve em água fervente e então gelifica quando esfria como a gelatina. Para realizar uma eletroforese, um gel de agarose é preparado, o DNA é introduzido em pequenos poços de gel, e então uma corrente elétrica é aplicada através do gel. Como o DNA é negativamente carregado, ele é atraído pelo eletrodo positivo. Entretanto, para chegar ao eletrodo positivo, o DNA deve migrar através do gel de agarose.

Os fragmentos de DNA menores podem migrar através de um gel de agarose mais rapidamente que os fragmentos de DNA maiores. A velocidade de migração de fragmentos de DNA lineares através da agarose é inversamente proporcional aos seus pesos moleculares.

É possível calcular o tamanho exato de um dado fragmento com base na sua razão de migração. Após a eletroforese em gel, os



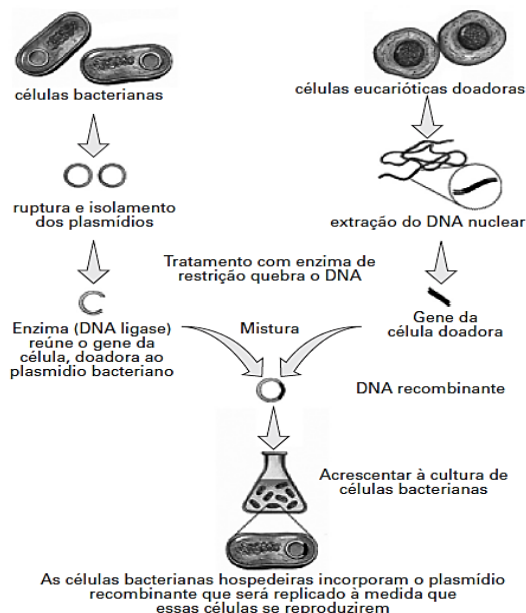
fragmentos de DNA normalmente são corados com brometo de etídeo, que possui afinidade pelo DNA e fluoresce (torna-se visível) vivamente em contato com a luz ultravioleta. Dessa forma pode-se localizar as bandas que correspondem ao DNA. Os fragmentos de DNA podem, então, ser isolados e purificados a partir dos géis de agarose.



E agora? O que se faz com esses fragmentos de DNA?

A TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

Utilizando as enzimas de restrição bacterianas, tornou-se possível cortar dois DNAs diferentes e, pela ação de enzimas ligases, unir os segmentos resultantes e formar um DNA recombinante. Este processo iniciou a Engenharia Genética, mais corretamente denominada Tecnologia do DNA Recombinante. Segmentos de DNA humano e plasmídios retirados de bactérias podem ser cortados pela mesma enzima de restrição, e os fragmentos resultantes podem ser unidos, formando um DNA recombinante entre o plasmídio e o DNA humano. Recolocado na bactéria, o plasmídio recombinante duplica ao mesmo tempo que o DNA bacteriano, permitindo a formação de novas cópias, em um processo de amplificação denominado clonagem molecular.



A TÉCNICA DO PCR

A clonagem molecular por meio de bactérias é um processo eficiente, porém trabalhoso, delicado e relativamente demorado. Na década de 1980, desenvolveu-se uma técnica muito mais rápida para a produção de cópias de DNA, denominada PCR (Polymerase Chain Reaction = Reação em Cadeia da Polimerase). A partir de um DNA molde a ser copiado, são utilizadas pequenas sequências iniciadoras; nucleotídeos e a enzima DNA polimerase são empregados em um mecanismo cíclico e automático, que permite a produção de múltiplas cópias do segmento inicial. O processo trabalha com amostras mínimas de DNA, extraídas de pequenas quantidades de sangue, pele, folículos pilosos, espermatozoides ou até mesmo de fragmentos de fósseis.

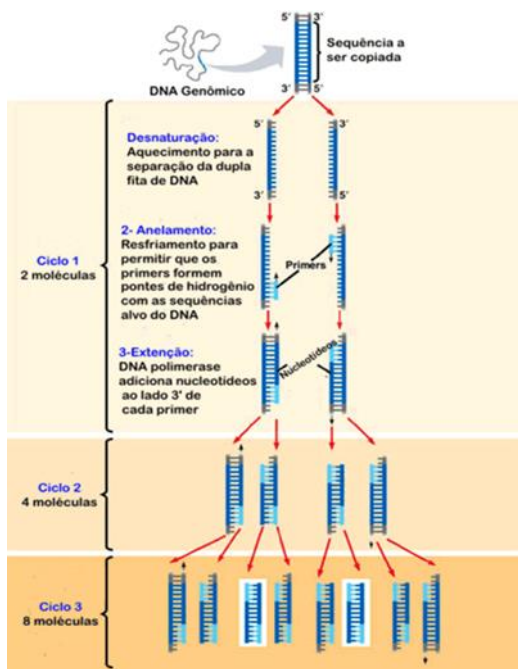
A finalidade da PCR é produzir rapidamente grande quantidade de cópias de determinado DNA, tornando-as disponíveis para estudo.

Técnica de PCR, passo a passo

Obtém-se uma amostra mínima de DNA de uma célula humana.

- 1) A amostra de DNA, a enzima que faz a replicação (DNA polimerase), os nucleotídeos de DNA e os primers complementares a sequência de DNA são colocados em um tubo de ensaio.
- 2) Coloca-se o tubo de ensaio em uma máquina de PCR (máquina que aumenta e diminui a temperatura de acordo com um programa). Os passos seguintes, de aquecimento e resfriamento, acontecem dentro da máquina controlados pelo programa.
- 3) Aquece-se o tubo a 94°C para desnaturar (separar a dupla fita) o DNA.
- 4) Cada fita simples do DNA que foi desnaturado serve de molde para a síntese de novas cadeias complementares. Para isso resfria-se a 54°C onde os primers se anelam ao início das duas fitas simples, servindo de iniciadores para a enzima polimerase.

Aquece-se novamente o tubo a 72°C (temperatura ideal de funcionamento da DNA polimerase) para a duplicação da fita. A DNA polimerase inicia, após o final do primer, a colocar os nucleotídeos livres na fita de DNA ligando-os por complementaridade, formando assim uma nova fita dupla.



APLICAÇÕES DA ENGENHARIA GENÉTICA

A tecnologia do DNA recombinante tem um grande número de aplicações.

Entre elas, pode-se incluir:

- Utilização de sondas (sequências de DNA complementares) que reconhecem pequenas sequências repetidas de nucleotídeos distribuídas ao longo do DNA de um organismo. Denominadas minissatélites, ficam fora dos genes e têm um padrão característico de distribuição em cada indivíduo, constituindo uma verdadeira "impressão digital" do DNA (daí o seu nome em inglês, DNA-fingerprint). Por meio das sondas, que são marcadas com compostos radioativos ou corantes sensíveis à fluorescência, são realizados testes altamente precisos de paternidade ou de identificação de criminosos.
- Localização de genes associados a doenças genéticas, por meio de sequências de DNA complementares marcadas que reconhecem esses genes, permitindo a identificação dos portadores da doença. Esses exames podem ser realizados na fase pré-natal, para a detecção de doenças genéticas no embrião.
- Detecção de genes relacionados com o desenvolvimento de certos tumores, como o retinoblastoma (tumor ocular) e certos tipos de câncer de mama.
- Terapia gênica, para a correção de doenças genéticas (pela introdução de genes que corrijam as distorções existentes) ou para o tratamento de câncer (usando genes que bloqueiam o crescimento tumoral ou ainda que induzem a formação de antígenos, estimulando a rejeição do tumor pelo organismo).
- Produção de vacinas sintéticas, empregando um vírus que é inofensivo para o homem e que transporta um gene responsável pela produção de um antígeno idêntico ao de um agente infeccioso. O antígeno não provoca a doença, mas estimula a produção de anticorpos específicos que imunizam o organismo contra o agente.

BIOTECNOLOGIA MODERNA

Com o aparecimento da Engenharia Genética, desenvolveu-se um novo e imenso campo para os processos biotecnológicos. Por meio da manipulação genética, a Biotecnologia pode obter novas drogas para o tratamento de doenças ou novas fontes de produção de

hormônios, como a insulina (necessária aos diabéticos) e a somatotropina (hormônio de crescimento).

A partir das informações do Projeto Genoma, será possível identificar genes e entender o que fazem, produzir drogas que atuem sobre eles ou ainda que realizem a sua função. Agentes fermentadores podem ser manipulados para se aumentar a sua eficiência ou produzir substâncias diferentes das originais. Mas as principais aplicações da Biotecnologia moderna estão relacionadas com a clonagem de animais e os organismos transgênicos.

CLONAGEM E ORGANISMOS TRANSGÊNICOS

CLONAGEM

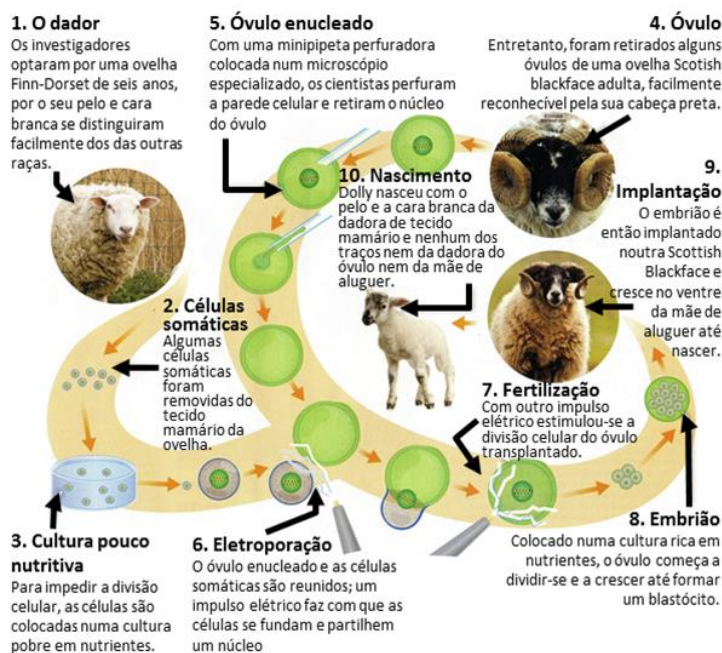
Clone é uma palavra usada há muito tempo em Biologia para designar indivíduos originados de outros por reprodução assexuada. A produção de clones é uma prática frequente de multiplicação de vegetais voltada para interesse econômico, alimentar e ornamental. Quando um agricultor planta pedaços de caule de mandioca ou de cana-de-açúcar para a obtenção de uma cultura homogênea, ele está fazendo clonagem.

Com animais, essa prática iniciou-se na década de 1950, quando se produziram sapos a partir do enxerto de núcleos de células intestinais de girinos em óvulos anucleados. Na década de 1960, ratos foram clonados a partir de células embrionárias.

Em 1986, foram obtidos clones de cabras e vacas, por meio da utilização de células embrionárias indiferenciadas. No Brasil, a segmentação de embriões para clonagem de gado bovino já é praticada há mais de 10 anos.

Dolly, o marco Em fevereiro de 1997, foi anunciado por Ian Wilmut, do Instituto Roslin, na Escócia, o nascimento de Dolly, um clone de ovelha. Ela foi formada a partir de uma célula de glândula mamária de ovelha de pelagem branca, cujo núcleo foi implantado em um ovócito anucleado proveniente de outra ovelha, de pelagem negra. O embrião resultante foi implantado no útero de uma terceira ovelha. E assim surgiu Dolly. Logicamente, as suas características genéticas correspondem às da ovelha doadora do núcleo, embora não devamos esquecer que os genes mitocondriais descendem do citoplasma do ovócito.

Em 13 de abril de 1998 nasceu Bonnie, filha de Dolly, provando que esta, a despeito da sua origem pouco usual, foi capaz de se reproduzir.



Outros casos de clonagem em animais

Em março de 1997 nasceram, no Centro de Pesquisas Regionais de Beverton, no Oregon, Neti e Ditto, dois macacos Rhesus, a partir de células embrionárias indiferenciadas. Cientistas japoneses conseguiram produzir duas gerações de touros clonados. O projeto fez parte de um estudo sobre expectativa de vida e envelhecimento de animais clonados. O núcleo de uma célula da pele da orelha foi transplantado em ovócito anucleado. O embrião obtido foi implantado em vaca de aluguel. O bezerro nasceu pesando cerca de 44 kg!

Perspectivas da Clonagem

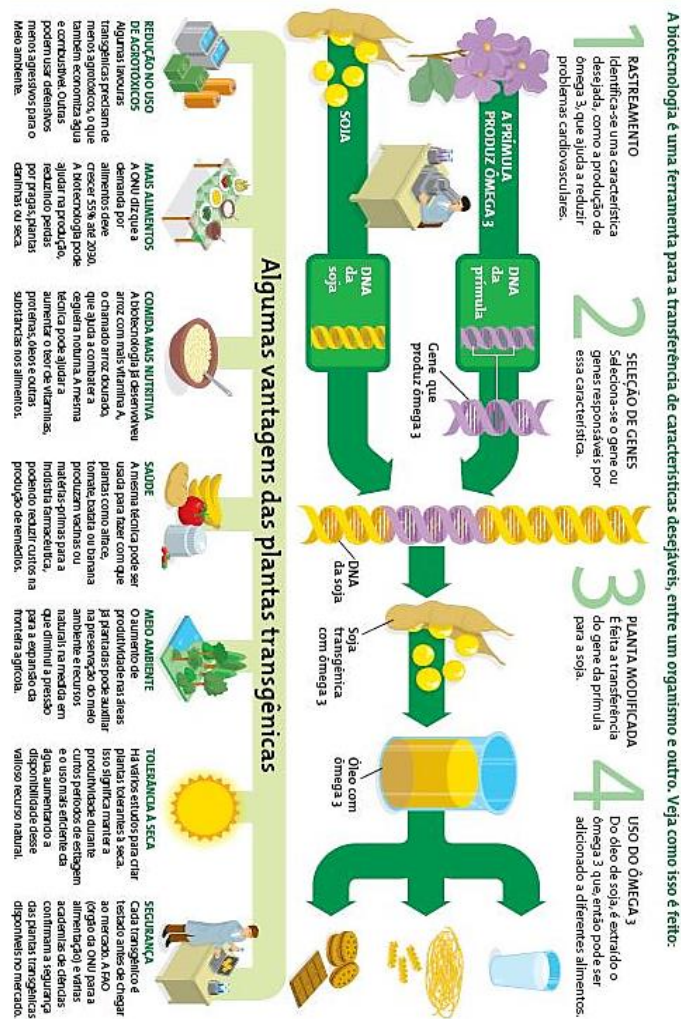
A partir da desdiferenciação a que foi submetido o núcleo da célula adulta que gerou Dolly, é possível pensar-se na regeneração de tecidos cujas células não mais se dividem por mitose — caso dos tecidos nervoso e muscular, onde normalmente, suas células já adultas, não sofrem mais mitoses. Outras células desses tecidos possuem tal capacidade, por exemplo, a NEUROGÊNESE.

ORGANISMOS TRANSGÊNICOS

Organismos transgênicos são aqueles que têm o seu genoma modificado, por meio da inserção de genes provenientes de outras espécies. Para obter um organismo transgênico, primeiro o gene de interesse é identificado e, a seguir, multiplicado pela técnica do PCR. Depois, a partir de métodos apropriados, é preciso inseri-lo no animal ou vegetal que se deseja modificar.

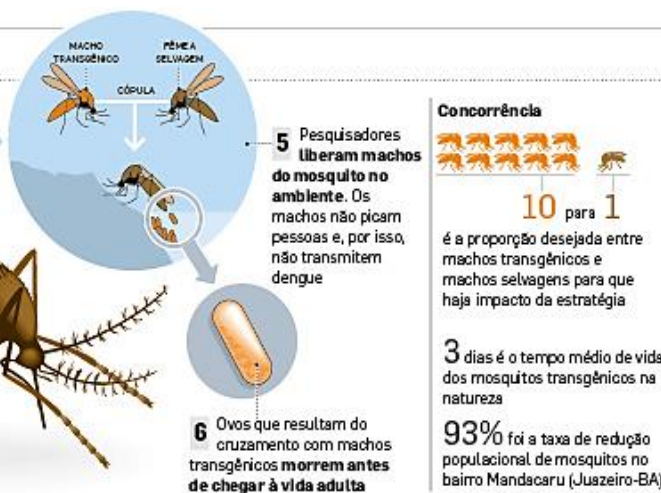
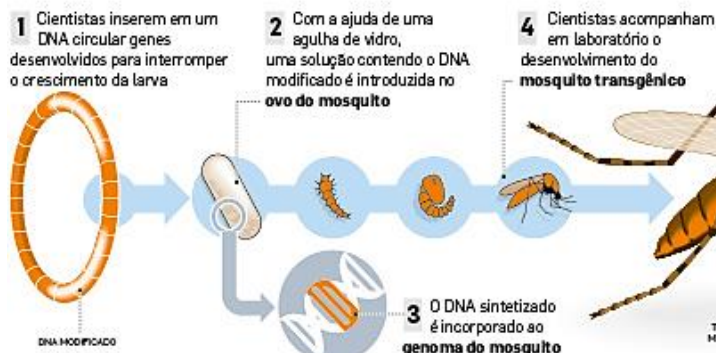
Os organismos transgênicos permitem a abertura de um leque de aplicações bastante amplo, como, por exemplo:

- Produção de insulina humana e hormônio do crescimento humano, por meio de bactérias transgênicas modificadas com a tecnologia do DNA recombinante.
- Produção de fatores de coagulação do sangue humano em vacas e cabras, a partir do leite produzido por esses animais, para utilização por pessoas hemofílicas.
- Possível utilização de órgãos de animais transgênicos (coração de porcos, por exemplo) para transplantes em seres humanos.
- Obtenção de animais de crescimento mais rápido e com menor porcentagem de gordura na carne, no leite e nos ovos.
- Geração de animais resistentes a doenças, reduzindo os custos com drogas e a intoxicação delas decorrente.
- Aumento da produtividade de plantas de interesse alimentar, tais como milho, canola, soja, arroz, etc.



BIOTECNOLOGIA ALADA

● *Aedes aegypti* transgênico reduz a população de mosquitos da dengue na natureza



1 [174990]. (Enem 2017) A reação em cadeia da polimerase (PCR, na sigla em inglês) é uma técnica de biologia molecular que permite replicação *in vitro* do DNA de forma rápida. Essa técnica surgiu na década de 1980 e permitiu avanços científicos em todas as áreas de investigação genômica. A dupla hélice é estabilizada por ligações de hidrogênio, duas entre as bases adenina (A) e timina (T) e três entre as bases guanina (G) e citosina (C). Inicialmente, para que o DNA possa ser replicado, a dupla hélice precisa ser totalmente desnaturada (desenrolada) pelo aumento da temperatura, quando são desfeitas as ligações de hidrogênio entre as diferentes bases nitrogenadas.

Qual dos segmentos de DNA será o primeiro a desnaturar totalmente durante o aumento da temperatura na reação de PCR?

- G G C C T T C G
- _____
- a) C C G G A A G C
C C T C G A C T
- _____
- b) G G A G C T G A
A A T T C C T A
- _____
- c) T T A A G G A T
T T A C G G C G
- _____
- d) A A T G C C G C
C C T A G G A A
- _____
- e) G G A T C C T T

2 [177096]. (Enem PPL 2017) Um geneticista observou que determinada plantação era sensível a um tipo de praga que atacava as flores da lavoura. Ao mesmo tempo, ele percebeu que uma erva daninha que crescia associada às plantas não era destruída. A partir de técnicas de manipulação genética, em laboratório, o gene da resistência à praga foi inserido nas plantas cultivadas, resolvendo o problema.

Do ponto de vista da biotecnologia, como essa planta resultante da intervenção é classificada?

- a) Clone.
b) Híbrida.
c) Mutante.
d) Dominante.
e) Transgênica.

3 [177104]. (Enem PPL 2017) O resultado de um teste de DNA para identificar o filho de um casal, entre cinco jovens, está representado na figura. As barras escuras correspondem aos genes compartilhados.



Qual dos jovens é filho do casal?

- a) I
b) II
c) III
d) IV
e) V

4 [166101]. (Enem 2ª aplicação 2016) Em 1950, Erwin Chargaff e colaboradores estudavam a composição química do DNA e observaram que a quantidade de adenina (A) é igual à de timina (T), e a quantidade de guanina (G) é igual à de citosina (C) na grande maioria das duplas fitas de DNA. Em outras palavras, esses cientistas descobriram que o total de purinas (A+G) e o total de pirimidinas (C+T) eram iguais.

Um professor trabalhou esses conceitos em sala de aula e apresentou como exemplo uma fita simples de DNA com 20 adeninas, 25 timinas, 30 guaninas e 25 citosinas.

Qual a quantidade de cada um dos nucleotídeos, quando considerada a dupla fita de DNA formada pela fita simples exemplificada pelo professor?

- a) Adenina: 20; Timina: 25; Guanina: 25; Citosina: 30.
b) Adenina: 25; Timina: 20; Guanina: 45; Citosina: 45.
c) Adenina: 45; Timina: 45; Guanina: 55; Citosina: 55.
d) Adenina: 50; Timina: 50; Guanina: 50; Citosina: 50.
e) Adenina: 55; Timina: 55; Guanina: 45; Citosina: 45.

5 [166097]. (Enem 2ª aplicação 2016) Em um hospital, acidentalmente, uma funcionária ficou exposta a alta quantidade de radiação liberada por um aparelho de raios X em funcionamento. Posteriormente, ela engravidou e seu filho nasceu com grave anemia. Foi verificado que a criança apresentava a doença devido à exposição anterior da mãe à radiação.

O que justifica, nesse caso, o aparecimento da anemia na criança?

- a) A célula-ovo sofreu uma alteração genética.
b) As células somáticas da mãe sofreram uma mutação.
c) A célula gamética materna que foi fecundada sofreu uma mutação.
d) As hemácias da mãe que foram transmitidas à criança não eram normais.
e) As células hematopoiéticas sofreram alteração do número de cromossomos.

6 [165228]. (Enem 2016) O Brasil possui um grande número de espécies distintas entre animais, vegetais e microrganismos envolvidos em uma imensa complexidade e distribuídos em uma grande variedade de ecossistemas.

O incremento da variabilidade ocorre em razão da permuta genética, a qual propicia a troca de segmentos entre cromátides não irmãs na meiose.

Essa troca de segmentos é determinante na

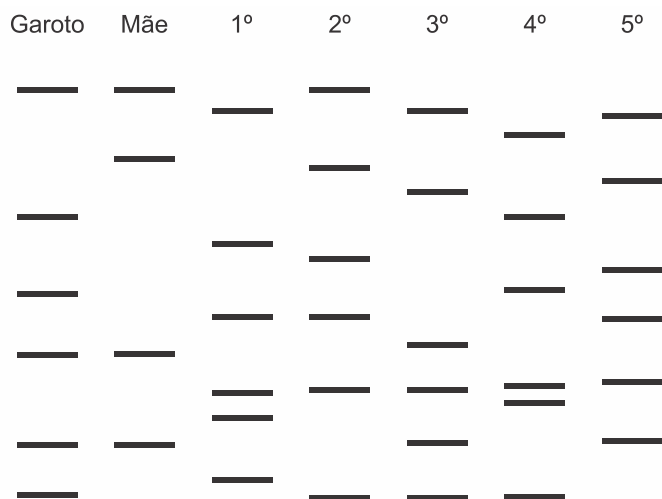
- produção de indivíduos mais férteis.
- transmissão de novas características adquiridas.
- recombinação genética na formação dos gametas.
- ocorrência de mutações somáticas nos descendentes.
- variação do número de cromossomos característico da espécie.

7 [171822]. (Enem PPL 2016) Após a germinação, normalmente, os tomates produzem uma proteína que os faz amolecer depois de colhidos. Os cientistas introduziram, em um tomateiro, um gene antissentido (imagem espelho do gene natural) àquele que codifica a enzima "amolecedora". O novo gene antissentido bloqueou a síntese da proteína "amolecedora".

Um benefício ao se obter o tomate transgênico foi o fato de o processo biotecnológico ter

- aumentado a coleção de proteínas que o protegem do apodrecimento, pela produção da proteína antissentido.
- diminuído a necessidade do controle das pragas, pela maior resistência conferida pela nova proteína.
- facilitado a germinação das sementes, pela falta da proteína que o leva a amolecer.
- substituído a proteína amolecedora por uma invertida, que endurece o tomate.
- prolongado o tempo de vida do tomate, pela falta da proteína que o amolece.

8 [171828]. (Enem PPL 2016) Para verificar a eficácia do teste de DNA na determinação de paternidade, cinco voluntários, dentre eles o pai biológico de um garoto, cederam amostras biológicas para a realização desse teste. A figura mostra o resultado obtido após a identificação dos fragmentos de DNA de cada um deles.



OLIVEIRA, F. B.; SILVEIRA, R. M. V. O teste de DNA na sala de aula: é possível ensinar biologia a partir de temas atuais. *Revista Genética na Escola*, abr. 2010.

Após a análise das bandas de DNA, pode-se concluir que o pai biológico do garoto é o

- 1º voluntário.
- 2º voluntário.
- 3º voluntário.
- 4º voluntário.
- 5º voluntário.

9 [149348]. (Enem 2015) O formato das células de organismos pluricelulares é extremamente variado. Existem células discoides,

como é o caso das hemácias, as que lembram uma estrela, como os neurônios, e ainda algumas alongadas, como as musculares.

Em um mesmo organismo, a diferenciação dessas células ocorre por

- produzirem mutações específicas.
- possuírem DNA mitocondrial diferentes.
- apresentarem conjunto de genes distintos.
- expressarem porções distintas do genoma.
- terem um número distinto de cromossomos.

10 [149357]. (Enem 2015) A cariotipagem é um método que analisa células de um indivíduo para determinar seu padrão cromossômico. Essa técnica consiste na montagem fotográfica, em sequência, dos pares de cromossomos e permite identificar um indivíduo normal (46, XX ou 46, XY) ou com alguma alteração cromossômica. A investigação do cariótipo de uma criança do sexo masculino com alterações morfológicas e comprometimento cognitivo verificou que ela apresentava fórmula cariotípica 47, XY, +18.

A alteração cromossômica da criança pode ser classificada como

- estrutural, do tipo deleção.
- numérica, do tipo euploidia.
- numérica, do tipo poliploidia.
- estrutural, do tipo duplicação.
- numérica, do tipo aneuploidia.

11 [149328]. (Enem 2015) A palavra "biotecnologia" surgiu no século XX, quando o cientista Herbert Boyer introduziu a informação responsável pela fabricação da insulina humana em uma bactéria para que ela passasse a produzir a substância. Disponível em: www.brasil.gov.br. Acesso em 28 jul. 2012 (adaptado).

As bactérias modificadas por Herbert Boyer passaram a produzir insulina humana porque receberam

- a sequência de DNA codificante de insulina humana.
- a proteína sintetizada por células humanas.
- um RNA recombinante de insulina humana.
- o RNA mensageiro de insulina humana.
- um cromossomo da espécie humana.

12 [141402]. (Enem PPL 2014) O arroz-dourado é uma planta transgênica capaz de produzir quantidades significativas de betacaroteno, que é ausente na variedade branca. A presença dessa substância torna os grãos amarelados, o que justifica seu nome.

A ingestão dessa variedade geneticamente modificada está relacionada à redução da incidência de

- fragilidade óssea.
- fraqueza muscular.
- problemas de visão.
- alterações na tireoide.
- sangramento gengival.

13 [135525]. (Enem 2014) 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.



1

Extração

Células de pele foram retiradas de pacientes autistas e saudáveis



2

Regressão

Elas foram regredidas a células-tronco, capazes de se transformar em diversas células do corpo.



Redes neurais

Em um ambiente que imita o cérebro, por meio de vitaminas e sais, células-tronco viram neurônios

3

4

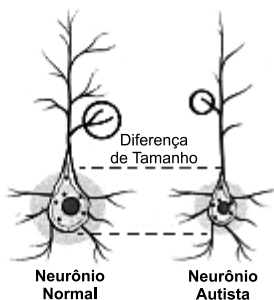
Defeito

Observa-se que os neurônios vindos de células de autistas se atrofiam e fazem menos sinapses.

5

Revitalização

Em teste, o hormônio IGF1 e o antibiótico Gentamicina revertem a atrofia



Neurônio Normal

Neurônio Autista

HEIDRICH, G. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com>. Acesso em: 29 ago. 2011 (adaptado).

Analisando-se o experimento, a diferenciação de células-tronco em neurônios ocorre estimulada pela

- extração e utilização de células da pele de um indivíduo portador da doença.
- regressão das células epiteliais a células-tronco em um meio de cultura apropriado.
- atividade genética natural do neurônio autista num meio de cultura semelhante ao cérebro.
- aplicação de um fator de crescimento (hormônio IGF1) e do antibiótico Gentamicina no meio de cultura.
- criação de um meio de cultura de células que imita o cérebro pela utilização de vitaminas e sais minerais.

20 [127064]. (Enem PPL 2012) O DNA (ácido desoxirribonucleico), material genético de seres vivos, é uma molécula de fita dupla, que pode ser extraída de forma caseira a partir de frutas, como morango ou banana amassados, com uso de detergente, de sal de cozinha, de álcool comercial e de uma peneira ou de um coador de papel.

- aglomerar o DNA em solução para que se torne visível.
- promover lise mecânica do tecido para obtenção do DNA.
- emulsificar a mistura para promover a precipitação do DNA.
- promover atividades enzimáticas para acelerar a extração do DNA.
- romper as membranas celulares para liberação do DNA em solução.

21 [121568]. (Enem 2012) 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

- sofre 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.

22 [127066]. (Enem PPL 2012) Pela manipulação genética, machos do *Aedes aegypti*, mosquito vetor da dengue, criados em laboratório, receberam um gene modificado que produz uma proteína que mata a prole de seu cruzamento.

SILVEIRA, E. Disponível em: www.pesquisafapesp.com.br. Acesso em: 14 jun. 2011 (adaptado)

Com o emprego dessa técnica, o número de casos de dengue na população humana deverá diminuir, pois

- os machos modificados não conseguirão fecundar as fêmeas.
- os machos modificados não obterão sucesso reprodutivo.
- os machos modificados possuem genes que impedem a infecção dos mosquitos.
- a inserção de novos mosquitos aumentará a quantidade de mosquitos imunes ao vírus.
- o número de machos modificados crescerá com as gerações.

23 [121567]. (Enem 2012) 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.

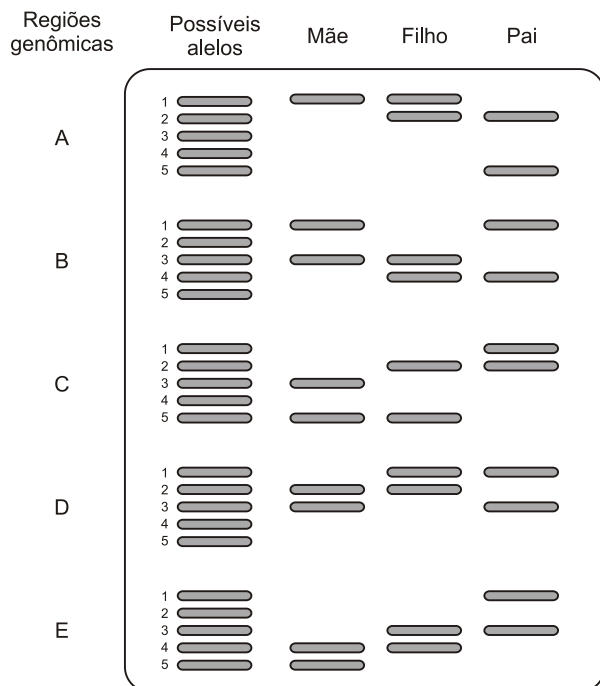
- A característica de interesse será manifestada em decorrência
- do incremento do DNA a partir da duplicação do gene transferido.
 - da transcrição do RNA transportador a partir do gene transferido.
 - da expressão de proteínas sintetizadas a partir do DNA não hibridizado.
 - da síntese de carboidratos a partir da ativação do DNA do milho original.
 - da tradução do RNA mensageiro sintetizado a partir do DNA recombinante.

24 [127059]. (Enem PPL 2012) Um estudo modificou geneticamente a *Escherichia coli*, visando permitir que essa bactéria seja capaz de produzir etanol pela metabolização do alginato, açúcar presente em grande quantidade nas algas marrons. A experiência mostrou que a bactéria transgênica tem capacidade de obter um rendimento elevado na produção de etanol, o que pode ser aplicado em escala industrial. "Combustível de algas". *Revista Pesquisa Fapesp*, ed. 12, fev. 2012 (adaptado)

O benefício dessa nova tecnologia, em comparação às fontes atuais de produção de etanol, baseia-se no fato de que esse modelo experimental

- aumentará a extensão de área continental cultivada.
- aumentará a captação de CO₂ atmosférico.
- facilitará o transporte do etanol no final da etapa produtiva.
- reduzirá o consumo de água doce durante a produção de matéria-prima.
- reduzirá a contaminação dos mares por metais pesados.

25 [127060]. (Enem PPL 2012) Na investigação de paternidade por análise de DNA, avalia-se o perfil genético da mãe, do suposto pai e do filho pela análise de regiões do genoma das pessoas envolvidas. Cada indivíduo apresenta um par de alelos, iguais ou diferentes, isto é, são homocigotos ou heterocigotos, para cada região genômica. O esquema representa uma eletroforese com cinco regiões genômicas (classificadas de A a E), cada uma com cinco alelos (1 a 5), analisadas em urna investigação de paternidade:



Quais alelos, na sequência das regiões apresentadas, filho recebeu, obrigatoriamente, do pai?

- 2,4,5,2,4
- 2,4,2,1,3
- 2,1,1,1,1
- 1,3,2,1,3
- 5,4,2,1,1

26 [108601]. (Enem 2011) 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.

A importância dessa inovação tecnológica para a comunidade científica se deve à

- possibilidade de sequenciar os genomas de bactérias para serem usados como receptoras de cromossomos artificiais.
- capacidade de criação, pela ciência, de novas formas de vida, utilizando 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 biocombustíveis.
- capacidade da bactéria *Mycoplasma capricolum* de expressar suas proteínas na bactéria sintética e estas serem usadas na indústria.

27 [108598]. (Enem 2011) Em 1999, a geneticista Emma Whitelaw desenvolveu um experimento no qual ratas prenhes foram submetidas a uma dieta rica em vitamina B12, ácido fólico e soja. Os filhotes dessas ratas, apesar de possuírem o gene para obesidade, não expressaram essa doença na fase adulta. A autora concluiu que a alimentação da mãe, durante a gestação, silenciou o gene da obesidade. Dez anos depois, as geneticistas Eva Jablonka e Gal Raz listaram 100 casos comprovados de traços adquiridos e transmitidos entre gerações de organismos, sustentando, assim, a epigenética, que estuda as mudanças na atividade dos genes que não envolvem alterações na sequência do DNA.

A reabilitação do herege. *Época*, nº 610, 2010 (adaptado).

Alguns cânceres esporádicos representam exemplos de alteração epigenética, pois são ocasionados por

- aneuploidia do cromossomo sexual X.
- poliploidia dos cromossomos autossômicos.
- mutação em genes autossômicos com expressão dominante.
- substituição no gene da cadeia beta da hemoglobina.
- inativação de genes por meio de modificações das bases nitrogenadas.

28 [108594]. (Enem 2011) Nos dias de hoje, podemos dizer que praticamente todos os seres humanos já ouviram em algum momento falar sobre o DNA e seu papel na hereditariedade da maioria dos organismos. Porém, foi apenas em 1952, um ano antes da descrição do modelo do DNA em dupla hélice por Watson e Crick, que foi confirmado sem sombra de dúvidas que o DNA é material genético. No artigo em que Watson e Crick descreveram a molécula de DNA, eles sugeriram um modelo de como essa molécula deveria se replicar. Em 1958, Meselson e Stahl realizaram experimentos utilizando isótopos pesados de nitrogênio que foram incorporados às bases nitrogenadas para avaliar como se daria a replicação da molécula. A partir dos resultados, confirmaram o modelo sugerido por Watson e Crick, que tinha como premissa básica o rompimento das pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas.

Considerando a estrutura da molécula de DNA e a posição das pontes de hidrogênio na mesma, os experimentos realizados por Meselson e Stahl a respeito da replicação dessa molécula levaram à conclusão de que

- a replicação do DNA é conservativa, isto é, a fita dupla filha é recém-sintetizada e o filamento parental é conservado.
- a replicação de DNA é dispersiva, isto é, as fitas filhas contêm DNA recém-sintetizado e parentais em cada uma das fitas.
- a replicação é semiconservativa, isto é, as fitas filhas consistem de uma fita parental e uma recém-sintetizada.
- a replicação do DNA é conservativa, isto é, as fitas filhas consistem de moléculas de DNA parental.
- a replicação é semiconservativa, isto é, as fitas filhas consistem de uma fita molde e uma fita codificadora.

29 [101682]. (Enem 2ª aplicação 2010) Segundo Jeffrey M. Smith, pesquisador de um laboratório que faz análises de organismos geneticamente modificados, após a introdução da soja transgênica no Reino Unido, aumentaram em 50% os casos de alergias. “O gene que é colocado na soja cria uma proteína nova que até então não existia na alimentação humana, a qual poderia ser potencialmente alergênica”, explica o pesquisador.

Considerando-se as informações do texto, os grãos transgênicos que podem causar alergias aos indivíduos que irão consumi-los são aqueles que apresentam, em sua composição, proteínas

- a) que podem ser reconhecidas como antigênicas pelo sistema imunológico desses consumidores.
- b) que não são reconhecidas pelos anticorpos produzidos pelo sistema imunológico desses consumidores.
- c) com estrutura primária idêntica às já encontradas no sistema sanguíneo desses consumidores.
- d) com sequência de aminoácidos idêntica às produzidas pelas células brancas do sistema sanguíneo desses consumidores.
- e) com estrutura quaternária idêntica à dos anticorpos produzidos pelo sistema imunológico desses consumidores.

30 [90005]. (Enem 2009) A figura seguinte representa um modelo de transmissão da informação genética nos sistemas biológicos. No fim do processo, que inclui a replicação, a transcrição e a tradução, há três formas proteicas diferentes denominadas *a*, *b* e *c*.



Depreende-se do modelo que

- a) a única molécula que participa da produção de proteínas é o DNA.
- b) o fluxo de informação genética, nos sistemas biológicos, é unidirecional.
- c) as fontes de informação ativas durante o processo de transcrição são as proteínas.
- d) é possível obter diferentes variantes proteicas a partir de um mesmo produto de transcrição.
- e) a molécula de DNA possui forma circular e as demais moléculas possuem forma de fita simples linearizadas.

31 [91061]. (Enem 2009) 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 dividido 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.

32 [90003]. (Enem 2009) 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.

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.

33 [90010]. (Enem 2009) Uma vítima de acidente de carro foi encontrada carbonizada devido a uma explosão. Indícios, como certos adereços de metal usados pela vítima, sugerem que a mesma seja filha de um determinado casal. Uma equipe policial de perícia teve acesso ao material biológico carbonizado da vítima, reduzido, praticamente, a fragmentos de ossos. Sabe-se que é possível obter DNA em condições para análise genética de parte do tecido interno de ossos. Os peritos necessitam escolher, entre cromossomos autossômicos, cromossomos sexuais (X e Y) ou DNAmT (DNA mitocondrial), a melhor opção para identificação do parentesco da vítima com o referido casal.

Sabe-se que, entre outros aspectos, o número de cópias de um mesmo cromossomo por célula maximiza a chance de se obter moléculas não degradadas pelo calor da explosão.

Com base nessas informações e tendo em vista os diferentes padrões de herança de cada fonte de DNA citada, a melhor opção para a perícia seria a utilização

- a) do DNAmT, transmitido ao longo da linhagem materna, pois, em cada célula humana, há várias cópias dessa molécula.
- b) do cromossomo X, pois a vítima herdou duas cópias desse cromossomo, estando assim em número superior aos demais.
- c) do cromossomo autossômico, pois esse cromossomo apresenta maior quantidade de material genético quando comparado aos nucleares, como, por exemplo, o DNAmT.
- d) do cromossomo Y, pois, em condições normais, este é transmitido integralmente do pai para toda a prole e está presente em duas cópias em células de indivíduos do sexo feminino.
- e) de marcadores genéticos em cromossomos autossômicos, pois estes, além de serem transmitidos pelo pai e pela mãe, estão presentes em 44 cópias por célula, e os demais, em apenas uma.

Gabarito – BIOTECNOLOGIA - 2020

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	E	C	C	C	C	E	D	D	E
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	C	E	D	D	B	C	C	E	E
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
E	B	E	D	B	D	E	C	A	D
31	32	33							
B	D	A							



Oficina de
ESTUDOS