



BIOLOGIA

ÍNDICE

CAPÍTULO 01: FUNDAMENTOS DA HEREDITARIEDADE.....	68
1) O VOCABULÁRIO DA HERANÇA GENÉTICA.....	68
2. PRIMEIRA LEI DE MENDEL	69
Ciência e informação	73
3) VARIAÇÕES NO MONOIBRIDISMO	74
4. GRUPOS SANGÜÍNEOS DO SISTEMA ABO	76
5. SISTEMA RH	77
6. SISTEMA MN	79
CAPÍTULO 02: HERANÇA DE DOIS OU MAIS PARES DE ALELOS.....	84
1. SEGUNDA LEI DE MENDEL	84
2) INTERAÇÕES GÊNICAS	85
3) LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÕES.....	87
Ciência e informação	88
Conhecimento, o fruto do Projeto Genoma Humano.....	88
CAPÍTULO 03: SEXO E HERANÇA	91
1) DETERMINAÇÃO CROMOSSÔMICA DO SEXO	91
Ciência e informação	92
A cromatina sexual.....	92
Tem mulher sobrando!	93
2) HERANÇA LIGADA AO SEXO	93
3) OUTRAS HERANÇAS RELACIONADAS COM O SEXO.....	94

PROFESSOR:

CAPÍTULO 01: FUNDAMENTOS DA HEREDITARIEDADE

1) O VOCABULÁRIO DA HERANÇA GENÉTICA



Não se estuda Genética - a ciência da hereditariedade - sem que o primeiro grande referencial seja Johann Gregor Mendel (nessa foto de 1862, o terceiro a partir da direita).

Cada segmento de DNA capaz de transcrever sua mensagem em uma molécula de RNA chama-se **gene**; logo um cromossomo possui uma seqüência linear de genes. A palavra "gene" foi empregada pela primeira vez em 1909 por Wilhelm Johannsen, para identificar as "unidades da herança". O lugar ocupado por um gene no cromossomo é o **loco gênico** (ou *locus*; no plural, *loci*) (figura 1).

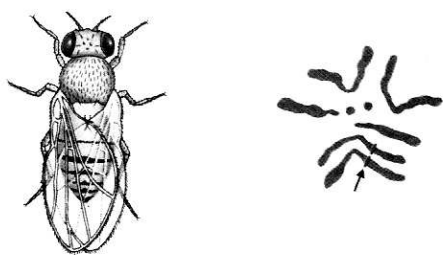


Figura 01: Em certo par de cromossomos homólogos da moscada-frutas (*Drosophila melanogaster*), está situado o gene que controla a forma das asas.

Alelos são formas alternativas de um gene, que atuam sobre a mesma característica, ocupando o mesmo loco em cromossomos homólogos. **Genótipo** é a constituição genética de um organismo, ou seja, o conjunto de alelos que ele herdou dos genitores. O **fenótipo** inclui as características internas ou externas de um ser vivo, geneticamente determinadas.

Determinadas características, como o grupo sanguíneo, dependem exclusivamente do genótipo; a maioria delas, entretanto, sofre também influência de fatores ambientais. A cor da pele, por exemplo, é determinada geneticamente, mas pode ser modificada pela exposição à luz solar, que é um fator ambiental. Portanto o fenótipo de um indivíduo depende do genótipo e também, freqüentemente, das influências ambientais. É o caso da cor das flores de hortênsias, que depende da acidez do solo (figura 2).



Figura 2: Hortênsias cultivadas em solo ácido (a) e em solo

FENÓTIPO = GENÓTIPO + AMBIENTE

Quando uma característica possui duas ou mais variedades, podemos concluir que o loco gênico correspondente pode ser ocupado por diferentes alelos. Em ervilhas, por exemplo, no loco que controla o aspecto das vagens, um alelo determina vagens infladas, enquanto o outro condiciona vagens constrictas.

Como esses alelos ocorrem em cromossomos homólogos, aos pares, há três tipos de plantas: as que possuem dois alelos para vagens infladas, as que têm um alelo para vagens infladas e um alelo para vagens constrictas e, finalmente, aquelas que têm dois alelos para vagens constrictas. Plantas com dois alelos para vagens infladas têm vagens infladas; as que possuem dois alelos para vagens constrictas exibem vagens constrictas; as que possuem um alelo de cada tipo têm vagens infladas.

Alelo dominante é aquele que pode manifestar-se tanto em dose dupla como em dose simples, enquanto o **alelo recessivo** é aquele que só se expressa em dose dupla. O alelo que determina vagens infladas é dominante sobre aquele que condiciona vagens constrictas (alelo recessivo).

Habitualmente os alelos são representados por uma letra, que corresponde, em geral, à inicial do fenótipo recessivo. No caso citado, escolhe-se a letra C, inicial de *constricta*. A letra maiúscula indica o alelo dominante, a letra minúscula indica o recessivo:

C - alelo dominante (determina vagens infladas)
c - alelo recessivo (determina vagens constrictas)
A relação de dominância pode ser expressa por $C > c$.

Quando um indivíduo possui dois alelos iguais (CC ou cc), ele é **homozigoto**; o indivíduo de genótipo CC é homozigoto dominante, enquanto o de genótipo cc é homozigoto recessivo. O genótipo Cc corresponde ao indivíduo **heterozigoto**.

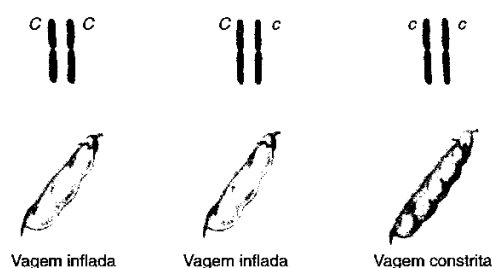


Figura 3: Pares de cromossomos com genótipos e fenótipos correspondentes.

2. PRIMEIRA LEI DE MENDEL

Mendel estudou as variações em ervilhas-de-jardim (ou ervilhas-de-cheiro, *Pisum sativum*), controlando os resultados dos cruzamentos. As flores da ervilha mostraram-se adequadas, pois a disposição das pétalas de uma flor impede a entrada do pólen de outra, permitindo apenas a **autofecundação**.

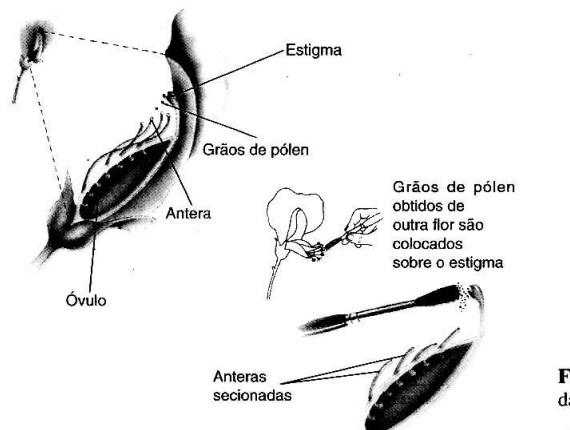


Figura 4: Removendo parte do sistema reprodutor masculino de algumas flores, Mendel impedia que se autofecundassem. Com um pincel, retirava o pólen de uma flor e o transferia para o sistema reprodutor feminino de outra. Em seguida Mendel cobria as flores para evitar fecundação cruzada; dessa maneira exercia completo controle sobre os resultados dos cruzamentos.

Mendel iniciou seus trabalhos obtendo **linhagens puras**, isto é, plantas que, por autofecundação, só originavam descendentes

iguais a elas mesmas em relação a determinadas características. Depois passou a efetuar **fecundação cruzada** entre plantas de linhagens puras que diferem apenas em uma característica, como a altura das plantas ou a cor das sementes, chamando de **híbridos** os descendentes desses cruzamentos.

O cruzamento entre indivíduos puros, que diferem em uma ou mais características, é chamado **hibridização** (ou **hibridação**). Quando, na descendência de um cruzamento, analisa-se apenas uma característica, trata-se de **monoibridismo**.

A geração inicial, constituída por indivíduos puros e com fenótipos distintos (flores purpúreas e flores brancas, por exemplo), é chamada **geração parental** (ou geração P). Os descendentes do cruzamento formam a **primeira geração filial** (geração F). Autofecundadas, as plantas da geração F1 produzem a **segunda geração filial** (geração F2) (figura 5).

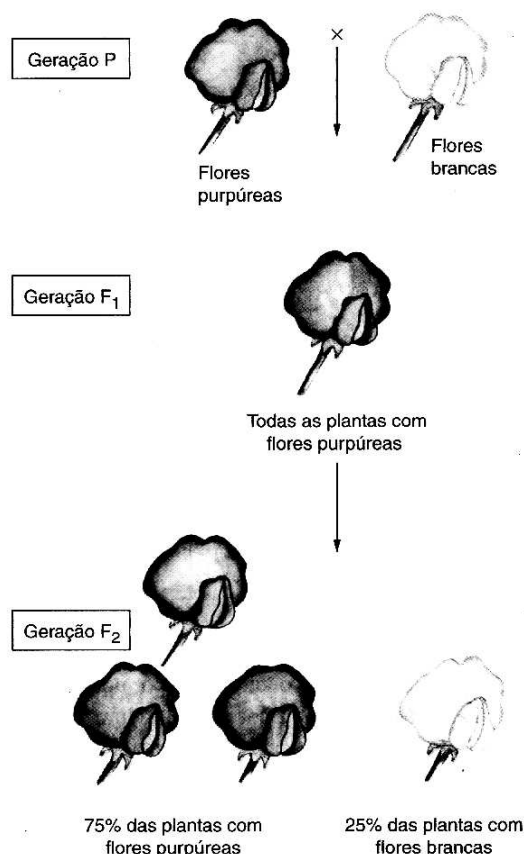












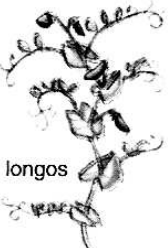



Figura 5: Obtenção das gerações F1 e F2, analisando-se a cor das flores.

Nas gerações F1 e F2 dois resultados chamam a atenção:

- 1º) Na geração F1 "desaparecem" as plantas de flores brancas.
- 2º) Na geração F2 essas plantas ressurgem em todos os cruzamentos, na proporção de 3 : 1, ou seja, três plantas de flores purpúreas para uma planta de flores brancas.

Tabela 1 Características estudadas por Mendel em ervilhas-de-cheiro.

Característica	Dominante	Recessiva
Textura da semente	3 lisas 	1 rugosa 
Cor da semente	3 amarelas 	1 verde 
Forma da vagem	3 infladas 	1 constricta 
Cor da vagem	3 verdes 	1 amarela 
Cor da flor	3 purpúreas 	1 branca 
Posição da flor	3 axiais 	1 terminal 
Comprimento dos ramos	3 longos 	1 curto 

Mendel chegou às seguintes conclusões:

- Cada característica é condicionada por um par de "fatores" alternativos. Quanto à cor das flores, um "fator" determina flores purpúreas, o outro determina flores brancas.
- Cada "fator" de um par vem de um dos genitores.
- Quando dois "fatores" são diferentes, apenas um (chamado **dominante**) se manifesta; o outro (**recessivo**) permanece encoberto.
- Os dois "fatores" separam-se na formação dos gametas, que são sempre puros; ou seja, cada gameta contém apenas um "fator" de cada par.

Essas conclusões integram a **primeira lei de Mendel**, também conhecida como **lei da**

pureza dos gametas ou **lei da segregação dos fatores**: "Cada característica é determinada por um par de fatores, que se segregam durante a formação dos gametas, os quais sempre são puros".

Atualmente esses "fatores" chamam-se **alelos**, que se separam durante a meiose. As plantas que Mendel chamou de "puras" são homozigotas, isto é, possuem um par de alelos iguais. Nas plantas homozigotas de flores purpúreas, há dois alelos iguais para flor purpúrea; nas plantas homozigotas de flores brancas, dois alelos iguais para flor branca.

As plantas que Mendel chamou de "híbridas" são heterozigotas, ou seja, possuem um par de alelos diferentes e suas flores são purpúreas, que é o fenótipo dominante.

Escolhe-se a letra *B* para simbolizar o alelo dominante (que determina flor purpúrea) e *b* para o alelo recessivo (que condiciona flor branca). A relação de dominância é assim representada: $B > b$.

Como as plantas homozigotas possuem apenas um tipo de alelo, a separação do par origina gametas que contêm apenas esse alelo. Dessa maneira, as plantas com genótipo *BB* produzem apenas gametas com o alelo *B*; as plantas com genótipo *bb*, apenas gametas com o alelo *b*.

As plantas heterozigotas recebem o alelo *B* de um dos genitores e o alelo *b* do outro. Como a variedade purpúrea é dominante, possuem flores purpúreas. Geram, então, dois tipos de gametas, em iguais proporções: com a separação dos alelos do par *Bb*, 50% dos gametas formados possuem o alelo *B* e os restantes 50%, o alelo *b* (figura 6).

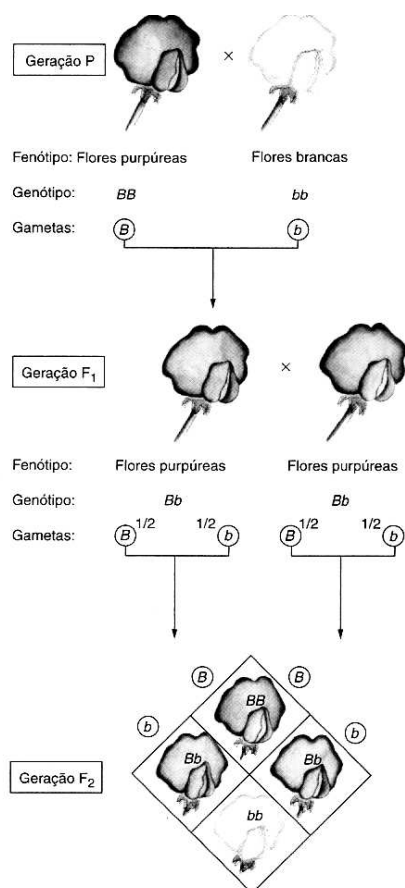
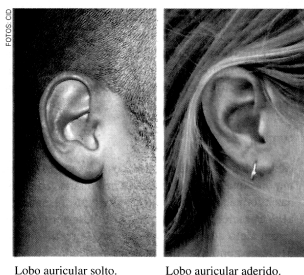


Figura 6: Na geração F² todas as combinações de gametas podem ocorrer com igual probabilidade. O quadrado de Punnett, visto na figura, é o diagrama que indica os gametas produzidos, os possíveis descendentes e suas proporções.

Na geração F₁ 100% dos descendentes possuem os mesmos genótipo e fenótipo. Na geração F₂, encontra-se a proporção de três plantas de flores purpúreas para uma planta de flores brancas; são encontrados, ainda, três genótipos diferentes: 25% dos descendentes têm genótipo EE, 50% Ee e 25% ee. Essas combinações explicam a proporção de 3 : 1 obtida por Mendel na geração F₂: plantas de genótipos EE e Ee apresentam o mesmo fenótipo (flores purpúreas) e apenas as plantas de genótipo ee têm flores brancas.

Exemplo

1. Paulo possui orelhas com lobos soltos e casa-se com Valéria, que apresenta fenótipo igual ao seu. Ricardo, primeiro filho do casal, tem orelhas com lobos aderidos.



a) Qual é a probabilidade de que Paulo e Valéria tenham, em uma segunda gestação, uma criança de orelhas com lobos soltos?

b) Se o casal tiver mais duas crianças, qual é a probabilidade de que ambas apresentem lobos aderidos?

Resolução

a) Como Paulo e Valéria possuem orelhas com lobos soltos e o filho tem lobo aderido, o fenótipo "lobo aderido" é recessivo, pois permaneceu oculto nos pais e se manifestou no filho. Vamos representar o par de alelos por:

A - determina lobos soltos

a - determina lobos aderidos

As pessoas cujas orelhas têm lobos soltos podem ter os genótipos AA ou Aa. Nesse caso, entretanto, uma informação permite determinar exatamente os genótipos de Paulo e Valéria, pois, tendo lobos soltos, geraram um filho de lobos aderidos. Logo são heterozigotos Aa.

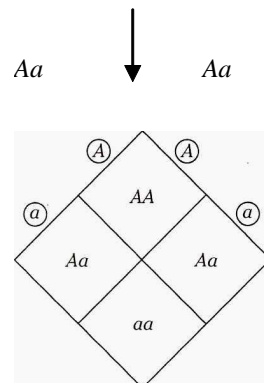
Paulo (lobos soltos) x Valéria (lobos soltos)

Aa I Aa

Ricardo (lobos aderidos) aa

Em uma segunda gestação, os possíveis descendentes serão:

Paulo x Valéria



A probabilidade de nascer uma criança com lobos soltos é de 3/4 ou 75%.

b) Dois nascimentos são dois eventos independentes; a probabilidade de sua ocorrência é dada pelo produto das probabilidades de cada um. Portanto:

PARA REFLETIR

1 (Vunesp/modificada) Os vários tipos de diabetes são hereditários, aparecendo mesmo em crianças cujos pais são normais. Em algumas dessas formas, os sintomas podem ser evitados por meio de injeções diárias de insulina. A administração de insulina aos diabéticos evitará que eles tenham filhos com esse distúrbio? Por quê?

2 (Fuvest-SP) Uma anomalia genética autossômica recessiva

é condicionada por uma alteração da sequência do DNA. Um homem portador dessa anomalia apresenta a sequência timina-citosina-timina enquanto sua mulher, que é normal, apresenta

timina-adenina-timina. A análise do DNA de um filho do casal mostrou que ele é ponador tanto da seqüência de bases do pai quanto da mãe.

a) O filho terá a doença? Por quê?

b) Qual a probabilidade de outro filho do casal apresentar as duas seqüências iguais à da mãe?

Heredogramas

A montagem de um grupo familiar com o uso de símbolos (figura 7) é o heredograma, também conhecido como genealogia, mapa familiar ou *pedigree*.

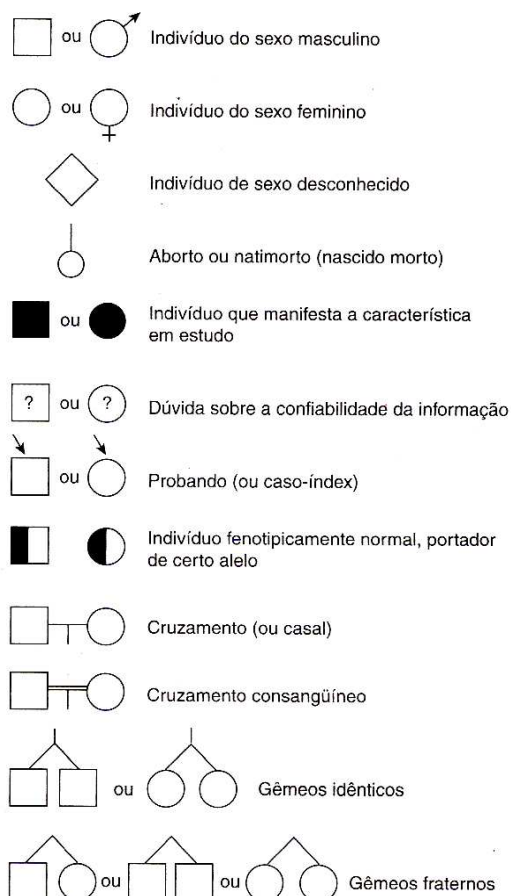
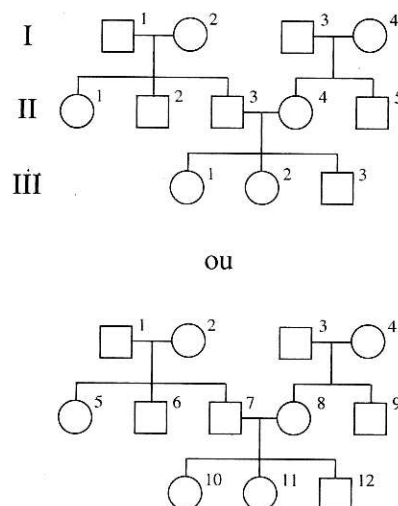


Figura 7 : Símbolos usados na elaboração de heredogramas.

As gerações são representadas por algarismos romanos (I, II, III etc.) e, dentro de cada geração, os indivíduos são indicados por algarismos arábicos (1, 2, 3, 4 etc.), da esquerda para a direita. Outra maneira é numerar todos os indivíduos em ordem crescente, a partir do primeiro acima e à esquerda.



A interpretação de um heredograma é efetuada em etapas.

- **Primeira etapa** - Determinação da dominância e da recessividade. Para concluir se um fenótipo é condicionado por alelo dominante ou recessivo, deve-se pesquisar, no heredograma, casais em que ambos os indivíduos são fenotipicamente normais ou afetados e que têm descendente com fenótipo diferente do seu. Caso o fenótipo apresentado pelo descendente contrastante não se manifestar em seus pais, ele será determinado pelo **alelo recessivo**.

- **Segunda etapa** - Localização dos homozigotos recessivos. Uma vez determinados o alelo dominante e o recessivo, localizam-se os homozigotos recessivos: apenas eles (e todos eles!) manifestam o fenótipo recessivo.

- **Terceira etapa** - Determinação dos demais genótipos. Podem-se determinar os genótipos dos demais indivíduos (se não de todos, pelo menos de uma parte deles), considerando que um homozigoto recessivo recebe um alelo recessivo de cada um dos pais e o transmite para todos os seus descendentes.

Eventualmente, os genótipos de alguns indivíduos com fenótipo dominante não são determinados, podendo ser homozigotos dominantes ou heterozigotos. Usa-se A_+ para indicar um indivíduo que pode ter genótipo AA ou Aa .

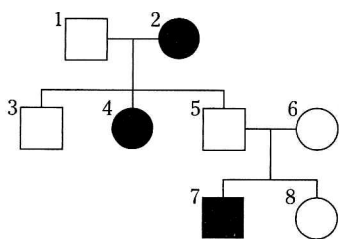
Exemplo

2. No heredograma, estão assinalados os membros de uma família afetados por uma doença hereditária. Com base nas informações obtidas no heredograma, responda:

a) A característica em questão é determinada por um alelo dominante ou recessivo? Justifique.

b) Dê os genótipos das pessoas indicadas no heredograma.

c) Qual é a probabilidade de que o casal 5-6 venha a ter, em outra gestação, uma criança afetada pela doença?

**Resolução**

a) Observe o casal 5-6: ambos são normais, mas tiveram uma criança afetada pela doença. Portanto a doença é determinada pelo alelo recessivo, pois permaneceu oculta nos indivíduos 5 e 6, manifestando-se em um de seus descendentes.

b) Usa-se a seguinte notação para indicar esse par de alelos:

A - determina o fenótipo normal

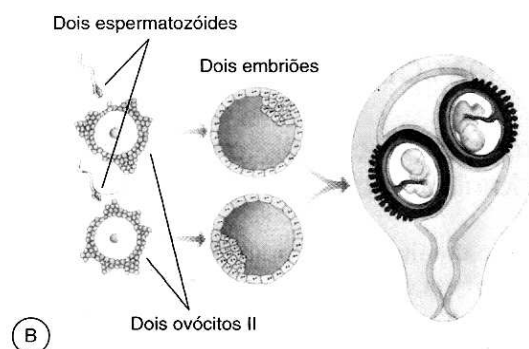
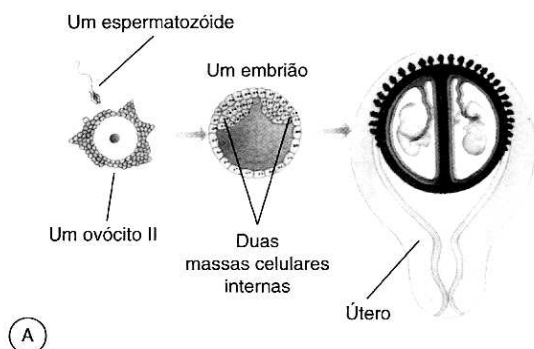
a - determina a doença

Ciência e informação**Ser canhoto é hereditário? Com a palavra, os gêmeos!**

O estudo dos gêmeos geneticamente idênticos é importante para avaliar as participações do genótipo e do ambiente na determinação do fenótipo.

Os **gêmeos idênticos** (gêmeos univitelinos, monozigóticos ou verdadeiros) formam-se pela partição precoce do embrião. Como se originam a partir de um só zigoto, há identidade genética entre eles, e todas as características determinadas geneticamente devem expressar-se igualmente em ambos.

Os **gêmeos fraternos** são também denominados gêmeos plurivitelinos. Como os gametas femininos são fecundados por espermatozoides distintos, os gêmeos fraternos são geneticamente tão parecidos quanto dois irmãos quaisquer, pois resultam do desenvolvimento de zigotos diferentes.



Gêmeos idênticos possuem genótipos iguais. Caso se desenvolvam em ambientes diferentes, permitem avaliar a importância de diversos fatores - socioeconômicos, culturais, alimentares e outros - na expressão do genótipo. Quando uma característica é determinada apenas pelo genótipo e não sofre influência ambiental, os gêmeos monozigóticos são sempre concordantes. Discordância indica que há componente ambiental na determinação da característica.

A tabela mostra a taxa de concordância entre gêmeos idênticos e fraternos perante algumas características.

Taxa de concordância entre gêmeos.

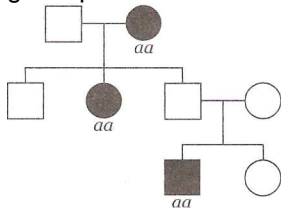
CARACTERÍSTICAS	IDENTICOS	FRATERNOS
Cor dos cabelos	95%	22%
Cor dos olhos	99%	28%
Pressão arterial	63%	36%
Uso da mão direita ou esquerda	79%	77%
Incidência de diabetes melito	84%	37%
Epilepsia	72%	15%
Câncer de estômago	27%	4%
Distúrbios psiquiátricos	80%	15%
Tabagismo	91%	65%
Alcoolismo	100%	79%
Tendência à criminalidade	68%	28%

Fonte: LIMA, Celso Piedmontede. *Genética humana*. São Paulo, Harbra, 1984.

Nota-se que a determinação da cor dos olhos e dos cabelos tem forte componente hereditário, pois a concordância entre os gêmeos idênticos é muito superior à dos gêmeos fraternos. Já o uso da mão direita ou da mão esquerda é determinado pelo ambiente, já que as taxas de concordância entre os gêmeos idênticos e fraternos são praticamente as mesmas. A tendência ao alcoolismo é francamente um

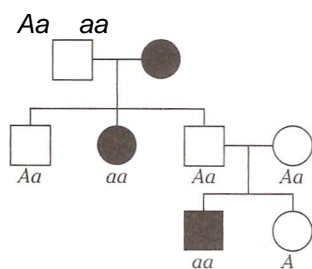
padrão hereditário. Deve haver alterações enzimáticas que tornam o indivíduo metabolicamente dependente do etanol. A Organização Mundial da Saúde, inclusive, considera o alcoolismo uma doença e não um hábito ou vício.

O próximo passo é a localização dos homozigotos recessivos. Todos os indivíduos de genótipo aa são doentes.

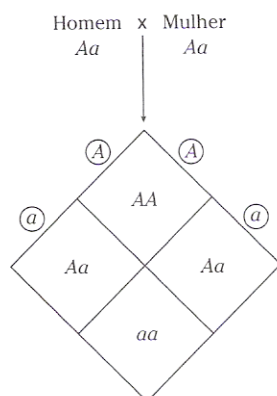


A partir desses genótipos, podemos descobrir os demais. O indivíduo I é heterozigoto Aa , pois é I normal, mas tem uma filha doente (a mulher 4). O homem 3 também é heterozigoto, porque é normal, mas recebeu de sua mãe o alelo a . O mesmo

se pode dizer do homem 5. A mulher 6 tem genótipo Aa . Ela é normal e teve um filho afetado pela doença. A mulher 8 pode ser homozigota dominante AA ou heterozigota Aa . Deixa-se seu genótipo indicado por A_{-} .



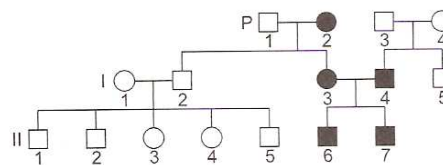
c) Os indivíduos 5 e 6 são heterozigotos. Sua possível descendência é:



Crianças afetadas correspondem a indivíduos de genótipo aa , cuja probabilidade de aparecimento é de $1/4$ ou 25%.

PARA REFLETIR

3. (U. F. Uberlândia-MG) No heredograma, os indivíduos afetados por uma anomalia genética estão representados por símbolos escuros.



a) Essa anomalia é condicionada por um alelo dominante ou recessivo? Justifique.

b) Qual é o genótipo mais provável do indivíduo I-1 e o do indivíduo 1-2?

c) Se o casal P-3, P-4 tiver mais dois filhos, qual é a probabilidade de que ambos sejam homens e afetados pela anomalia?

4

(Fuvest-SP) Dois irmãos (Pedro e Paulo) casam-se com duas irmãs (Maria e Joana). todos normais. O primeiro casal, Pedro e Maria, tem uma criança afetada por uma doença muito rara de herança autossômica recessiva.

a) Desenhe o heredograma representando os dois casais e os respectivos pais.

b) Qual é a probabilidade de que uma futura criança de Paulo e Joana venha a ser afetada por essa mesma doença genética? Considere desprezível a probabilidade de uma nova mutação.

c) Se Paulo e Joana tiverem a primeira criança afetada pela mesma doença genética, qual será o risco de que uma segunda criança desse casal também seja afetada pela mesma doença? Por quê?

5

(UFRJ) Um dos métodos para avaliar o papel relativo dos genes e dos fatores ambientais na determinação de uma característica é o estudo comparativo entre gêmeos monozigóticos criados juntos e criados separados.

A tabela a seguir, elaborada a partir de um grande número de pares de gêmeos, indica o grau de concordância de quatro características. Uma concordância significa que quando um dos gêmeos possui a característica o outro também a possui.

CARACTERÍSTICAS	GRAU DE CONCORDÂNCIA	
	CRIADOS JUNTOS	CRIADOS SEPARADOS
1	70%	65%
2	70%	20%
3	60%	50%
4	100%	100%

Indique a característica que mais depende de fatores ambientais. Justifique sua resposta.

3) VARIAÇÕES NO MONOIBRIDISMO

Dominância incompleta e co-dominância

Ocorre **dominância incompleta** quando o heterozigoto manifesta um fenótipo intermediário entre aqueles condicionados pelos alelos em homozigose. Na planta conhecida por boca-de-leão, há duas linhagens homozigotas: uma de flores vermelhas e outra de flores brancas. Quando cruzadas, os heterozigotos resultantes possuem flores rosa. Como nesse caso não há uma relação nítida de dominância, a representação dos alelos é feita de forma diferente da habitual:

G^V - alelo que condiciona flores vermelhas

C^B - alelo que condiciona flores brancas

A ausência de dominância completa entre os alelos é indicada assim: $G^V = C^B$. Se plantas de flores rosa forem autofecundadas, a descendência apresentará 25% de plantas de flores vermelhas, 50% de plantas de flores rosa e 25% de plantas de flores brancas (figura 8).

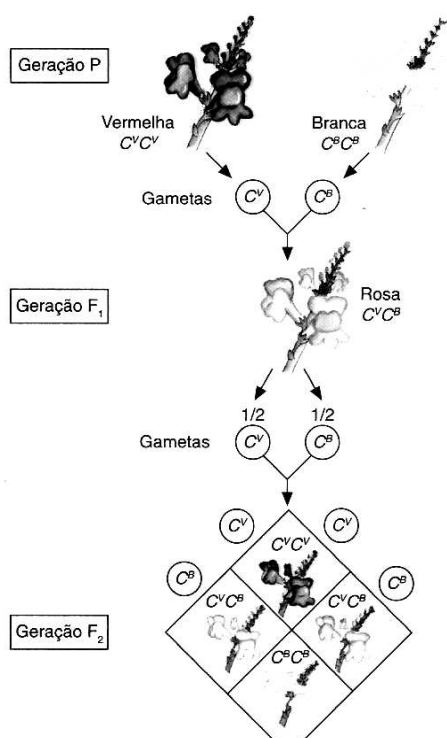


Figura 8 Cor das flores de boca-de-leão: gerações P, F₁ e F₂ mostrando o fenótipo intermediário (flor rosa) exibido pelos heterozigotos. Em F₁, a proporção genotípica é 1 $C^V C^V$: 2 $C^V C^B$: 1 $C^B C^B$ e a proporção fenotípica é de 1 flor vermelha: 2 flores rosa: 1 flor branca.

Nos casos de **co-dominância**, os dois alelos são ativos e manifestam-se simultaneamente. Um exemplo na espécie humana é a determinação genética dos grupos sanguíneos do sistema ABO, estudada ainda neste capítulo.

Exemplo

3. Do cruzamento de uma égua que produz albumina B com um cavalo produtor de albumina A, todos os potros produzem ambos os tipos de albumina. Se um macho dessa descendência for cruzado com uma fêmea de igual genótipo, qual a porcentagem esperada de descendentes que produzirão apenas a albumina B?

Pleiotropia

Há situações em que um gene - denominado **pleiotrópico** - determina o aparecimento simultâneo de várias características. Um exemplo é o alelo humano que condiciona a fibrose cística, doença em que muitas secreções do corpo se alteram, particularmente o suor, as secreções digestivas e o muco que recobre as vias aéreas. Em consequência, o indivíduo afetado apresenta suor com elevada concentração de sais e distúrbios digestivos e pulmonares.

Alelos múltiplos

Três ou mais alelos que podem ocupar alternativamente o mesmo loco gênico são chamados de **alelos múltiplos** (ou **polialelos**). Independentemente do número de alelos múltiplos de uma série, apenas dois (que podem ser iguais ou não) são encontrados em cada indivíduo.

Um exemplo conhecido de polialelia ocorre em coelhos. A pelagem desses animais é condicionada por quatro alelos múltiplos.

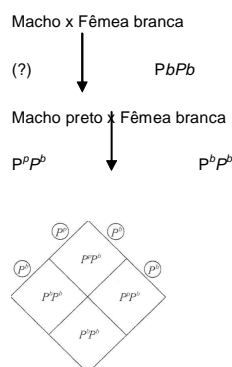
- c - determina pelagem selvagem ou aguti
- c^{ch} - determina pelagem chinchila
- c^h - determina pelagem himalaia
- c (ou C^a) - determina pelagem branca ou albina

A relação de dominância é: $C > c^{ch} > c^h > C$.

Genótipos	Fenótipo
CC, Cc^{ch}, Cc^h e Cc	Selvagem
$c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h$ e $c^{ch}c$	Chinchila
c^hc^h e c^hc	Himalaia
Cc	Albino

Exemplo

4. Em uma espécie animal, a cor dos pêlos é controlada por uma série de três alelos múltiplos P, P'' e pil , em que o primeiro é dominante sobre os demais e determina o fenótipo preto; o segundo condiciona pelagem marrom e é dominante sobre o último, que determina pêlos brancos. Um macho preto, cuja mãe era branca, é cruzado com uma fêmea branca. Qual será a possível descendência desse cruzamento?



A descendência desse cruzamento deverá ter 50% de indivíduos pretos ($PPPb$) e 50% de brancos ($PbPb$).

PARA REFLETIR

6 (Fuvest-SP) Em uma espécie de planta, a forma dos frutos pode ser alongada, oval ou redonda. Foram realizados quatro tipos de cruzamentos entre plantas dessa espécie e obtidos os seguintes resultados:

CRUZAMENTO	TIPOS DE PLANTA	DESCENDÊNCIA OBTIDA
I	Fruto longo X fruto redondo	100% fruto oval
II	Fruto longo X fruto oval	50% fruto longo 50% fruto oval
III	Fruto redondo X fruto oval	50% fruto redondo 50% fruto oval
IV	Fruto oval X fruto oval	25% fruto longo 50% fruto oval 25% fruto redondo

a) Formule uma hipótese consistente com os resultados obtidos para explicar a herança da forma dos frutos nessa espécie.

b) Represente os alelos por letras e indique os genótipos dos indivíduos parentais e dos descendentes no cruzamento IV.

4. GRUPOS SANGÜÍNEOS DO SISTEMA ABO

o sangue é formado pelo plasma sangüíneo e por elementos figurados (hemácias, leucócitos e plaquetas).

Em consequência de uma transfusão de sangue inadequada, pode ocorrer queda da pressão arterial, vermelhidão generalizada ou palidez, escurecimento da visão, desmaio e até morte. Tais reações são determinadas por antígenos, cuja presença no sangue é geneticamente

condicionada. Em 1901 Karl Landsteiner observou que, ao misturar sangue de um indivíduo com plasma de outro, em certos casos surgiam grumos grosseiros (**reação de aglutinação**). Atualmente se sabe que esses grumos são causados por uma reação antígeno-anticorpo.

No organismo, uma substância estranha (**antígeno**) pode desencadear contra si a produção de **anticorpos** (proteínas de defesa). A reação entre o antígeno e o anticorpo é específica, ou seja, cada anticorpo se liga a determinado antígeno, sugerindo uma ligação do tipo chave-fechadura.

Os antígenos do sistema ABO - designados por **aglutinogênio A** e **aglutinogênio B** - são glicoproteínas, encontradas na superfície externa das hemácias; os anticorpos correspondentes são a **aglutinina anti-A** e a **aglutinina anti-B**.

Conforme os aglutinogênios que possuem, as pessoas são classificadas em quatro grupos sangüíneos: A, B, AB e O.

Grupo sangüíneo	Aglutinogênios nas hemácias	Aglutininas no plasma
A	A	Anti-B
B	B	Anti-A
AB	AeB	Nenhuma
O	Nenhum	Anti-A e anti-B

Em uma transfusão de sangue, evita-se que uma pessoa receba sangue com antígenos contra o qual ela possua anticorpos. As transfusões podem ser realizadas desde que o receptor não tenha aglutininas contra os aglutinogênios do sangue que ele irá receber (figura 9).

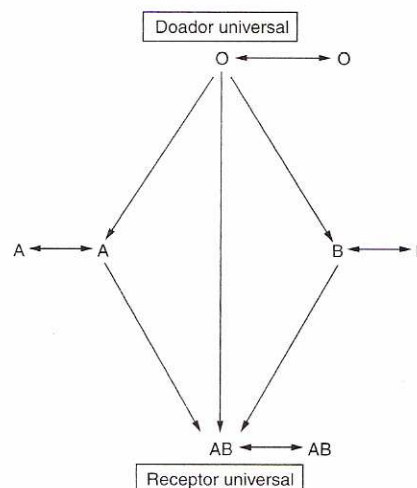


Figura 9: Possíveis transfusões no sistema ABO.

Em uma transfusão, a reação de aglutinação geralmente acontece entre os aglutinogênios do doador e as aglutininas do receptor.

Como os indivíduos do grupo AB não possuem aglutininas anti-A nem anti-B no plasma, são **receptores universais**, porque podem receber sangue de qualquer grupo do sistema ABO. Já os indivíduos do grupo O, que são **doadores universais**, não têm aglutinogênios em suas hemácias e seu sangue pode ser recebido por qualquer pessoa, considerando-se o sistema ABO.

Herança do sistema ABO

Os grupos sanguíneos do sistema ABO são determinados por uma série de três alelos múltiplos - I^A , I^B e i -, que podem ocupar alternativamente o mesmo loco gênico em cromossomos homólogos, formando pares.

I^A - determina a produção do aglutinogênio A
 I^B - determina a produção do aglutinogênio B
 i - não determina a produção de aglutinogênios

Existe co-dominância entre os alelos I^A e I^B , sendo ambos dominantes sobre i ($I^A = I^B > i$). Com três polialelos, são seis os genótipos possíveis.

Genótipo	Fenótipo
$I^A I^A$	A
$I^A i$	A
$I^B I^B$	B
$I^B i$	B
$I^A I^B$	AB
ii	O

O conhecimento desse padrão de herança é muito importante em Medicina Legal. Casos de trocas de crianças em maternidades ou de investigação de paternidade podem ser solucionados conhecendo-se os grupos sanguíneos dos indivíduos envolvidos.

5. SISTEMA RH

Em 1940 Landsteiner e Wiener relataram a descoberta do fator Rh no sangue de macaco reso. Eles notaram que o soro anti-Rh produzido por coelhos provocava aglutinação das hemácias, ao ser misturado com o sangue desses macacos ou com o sangue de 85% das pessoas de uma população, mas não aglutinava as hemácias dos 15% restantes (figura 10).

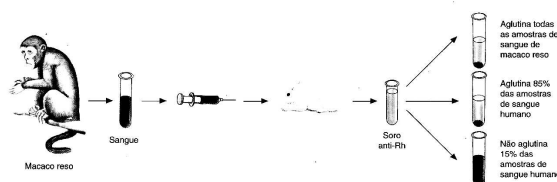


Figura 10 Landsteiner e Wiener injetavam sangue do macaco reso em coelhos. Posteriormente, o sangue dos coelhos era centrifugado para a separação do plasma, em que estavam os anticorpos (soro anti-Rh).

Os pesquisadores concluíram que, no sangue de 85% das pessoas, deveria haver o mesmo antígeno encontrado no sangue do macaco reso. Esse antígeno, presente na superfície externa das hemácias, foi nomeado **fator Rh**, que são as iniciais de *rhesus*, palavra originada do antigo nome científico dessa espécie de macaco (*Macaca rhesus*, atualmente *Macaca mulatta*).

Os indivíduos em cujo sangue existe o fator Rh são Rh-positivos (Rh+); aqueles em que o fator Rh está ausente são Rh-negativos (Rh-) ..

Ao contrário do sistema ABO, em que as pessoas possuem aglutininas anti-A ou anti-B mesmo sem ter recebido transfusões anteriores, os anticorpos anti-Rh só são produzidos quando uma pessoa Rh-negativa recebe sangue de uma pessoa Rh-positiva.

Quando se faz a tipagem de uma amostra de sangue, geralmente empregam-se anticorpos anti-A, anti-B e antiRh, determinando-se simultaneamente os grupos dos sistemas ABO e Rh (figura 11).

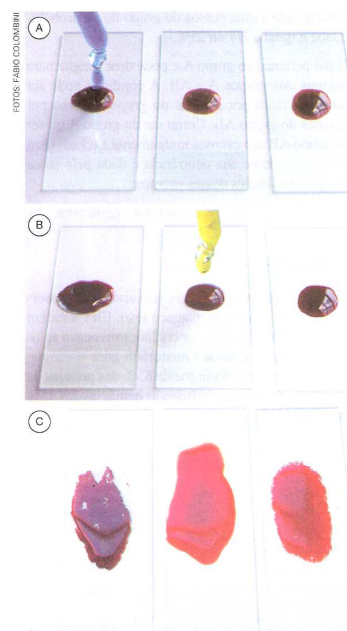


Figura 11: Tipagem sanguínea para os sistemas ABO e Rh: três gotas de sangue são colocadas sobre uma lâmina de vidro; (a) sobre uma gota de sangue, aplica-se uma gota do soro que contém anticorpos anti-A; (b) sobre outra, anticorpos anti-B; e sobre a terceira, anticorpos anti-Rh (não).

indicado nas fotos); (c) verifica-se a ocorrência ou não de aglutinação.

A determinação do sistema Rh tem importância médico-legal em casos de identificação de amostras de sangue ou de investigação de paternidade.

Herança do sistema Rh

Para efeitos práticos, pode-se entender a determinação genética do sistema Rh como um caso de monoidrismo com dominância completa: um par de alelos *D* e *d* (ou *R* e *r*), em que o alelo dominante *D* determina a produção do fator Rh e o alelo recessivo *d* não ($D > d$).

Genótipo	Fenótipo
DD	Rh positivo
Dd	Rh positivo
dd	Rh negativo

As pessoas Rh-positivas podem receber tanto sangue Rh positivo como negativo, pois não possuem nem produzem anticorpos anti-Rh; já as pessoas Rh-negativas só devem receber sangue Rh negativo, caso contrário passarão a produzir o anticorpo anti-Rh (figura 12):

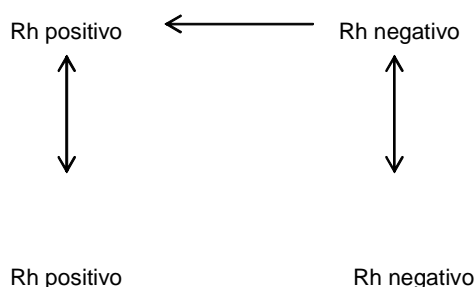


Figura 12: Possíveis transfusões no sistema Rh.

Considerando-se os sistemas ABA e Rh, percebe-se que só há um tipo de pessoa que pode receber qualquer tipo de sangue: é o indivíduo do grupo AB e com Rh positivo. Por outro lado, as pessoas com sangue do tipo O e Rh negativo podem doar sangue para receptores de qualquer grupo dos sistemas ABA e Rh.

Doença hemolítica do recém-nascido (DHRN)

A sensibilização pelo fator Rh pode acontecer quando em uma gestante Rh-negativa está-se desenvolvendo um feto Rh-positivo. Hemácias fetais podem passar para a circulação materna, particularmente durante o parto. Mesmo em quantidade reduzida, são reconhecidas pelo sistema imunológico da mulher, que passa a produzir anticorpos anti-Rh.

A criança que resulta dessa gravidez dificilmente apresenta algum problema, mas deixa uma indesejável situação para os próximos fetos Rh-positivos. Os anticorpos anti-Rh chegam à

circulação dos fetos Rh-positivos e causam **hemólise**, isto é, a destruição de suas hemácias (figura 13), quadro conhecido como **doença hemolítica do recém-nascido (DHRN)**.

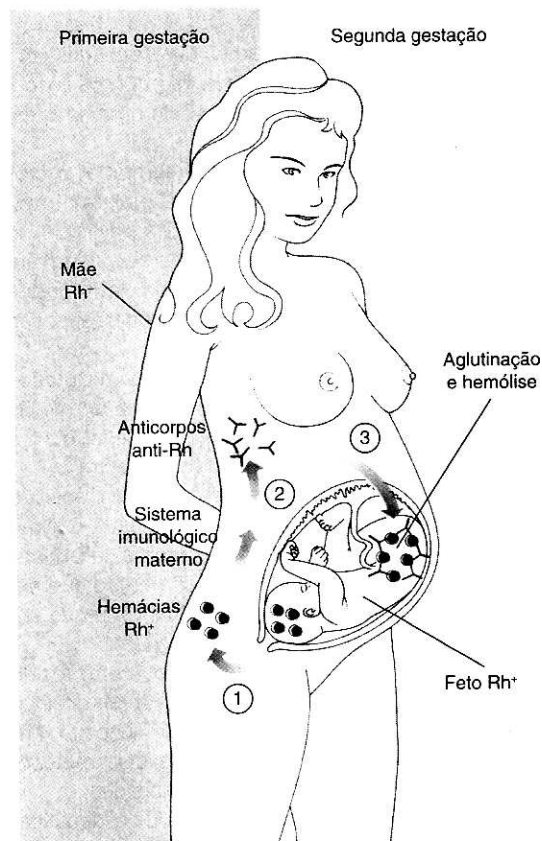


Figura B (1) Pequeno número de hemácias fetais atravessa a placenta e atinge a circulação materna. (2) Essas células são reconhecidas pelo sistema imunológico da mãe, que produz anticorpos anti-Rh. (3) Em uma próxima gestação de feto Rh-positivo, tais anticorpos alcançam a circulação fetal e causam hemólise.

Os principais sinais de hemólise são: anemia, icterícia (coloração amarela da pele e das mucosas), elevação da frequência cardíaca, aumento do tamanho do baço e do fígado, presença de hemácias jovens no sangue circulante e, nos casos mais graves, edema (inchaço) generalizado. Hemácias jovens nucleadas, vistas no sangue dessas crianças, são chamadas eritroblastos, o que explica o outro nome dado à doença: **eritroblastose fetal**.

É possível evitar a sensibilização de uma mulher Rh-negativa depois do nascimento de um bebê Rh-positivo, empregando-se anticorpos anti-Rh até 72 horas após o parto. Os anticorpos anti-Rh aplicados na mãe destroem rapidamente as células fetais que passaram para sua circulação antes que seu sistema imunológico as reconheça e passe a produzir anticorpos. A injeção de anticorpos anti-Rh (imunoglobulina) é erroneamente chamada "vacina anti-Rh".

6. SISTEMA MN

Landsteiner e Levine, em 1927, descobriram os antígenos do sistema MN: duas proteínas - os antígenos Me N - presentes nas hemácias. Esses antígenos, aplicados em coelhos ou em cobaias, ocasionam a produção dos anticorpos anti-M e anti-N, respectivamente. Os grupos sanguíneos do sistema MN são condicionados por um par de alelos L^M e L^N (sendo $L^M = L^N$). O alelo L^M determina a produção do antígeno M; o alelo L^N , a produção do antígeno N.

Genótipo	fenótipo
$L^M L^M$	M
$L^M L^N$	MN
$L^N L^N$	N

A determinação do sistema MN pode ter importância médico-legal em casos de identificação de amostras de sangue ou de investigação de paternidade. Entretanto não é considerada nas transfusões de sangue nem se associa à incompatibilidade sanguínea materno-fetal.

Exemplos

6. Em uma primeira gestação, uma mulher deu à luz uma criança saudável. Seu segundo descendente teve eritroblastose fetal grave por incompatibilidade com o fator Rh. A terceira criança nasceu bem, sem sinais de incompatibilidade sanguínea. Quais são os genótipos e os fenótipos de todos os membros dessa família quanto ao sistema Rh?

Resolução

Se a mulher teve problema de incompatibilidade materno-fetal provocada pelo sistema Rh, ela é Rh-negativa, pois só assim viria a produzir anticorpos anti-Rh. A primeira criança nasceu normal, mas foi responsável pela sensibilização de sua mãe. Logo era Rh-positiva. A segunda criança teve DHRN e, portanto, era Rh-positiva.

A terceira teve nascimento normal, embora gerada por uma mulher sensibilizada. A única explicação plausível é que essa criança era Rh-negativa, estando livre da ação destruidora dos anticorpos anti-Rh que recebeu de sua mãe durante a gravidez, uma vez que suas hemácias não possuem o fator Rh.

Finalmente, o pai: suas crianças eram Rh-positivas, para quem ele enviou o alelo D. Isso se conclui porque a mulher é Rh-negativa (dd) e enviou para todas as suas crianças o alelo d . Entretanto a terceira criança desse 'homem' era Rh-negativa, o que só seria possível sendo ele heterozigoto Dd .

Ciência e Informação

DNA: O Sherlock Holmes dos tempos modernos

Os policiais chegam ao local onde um assassinato foi cometido, e algumas mechas de cabelo do criminoso são encontradas 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. 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 e do suposto pai.

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 casos de assassinato, estupro ou investigação de paternidade. A técnica permite concluir, com exatidão de quase 100%, se o material genético encontrado em uma amostra de sangue, de cabelo, de esperma ou de outro material biológico é de certa pessoa.

A técnica baseia-se no fato de que o DNA de cada pessoa possui pedaços que se sucedem de forma peculiar, repetindo-se em tamanhos e quantidades que são únicos para cada pessoa. Exceto gêmeos univitelinos, 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.

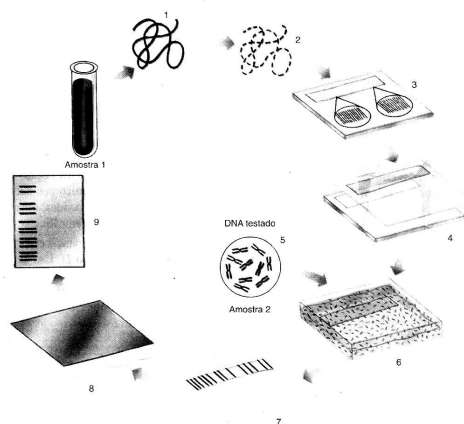
Esse método de análise consiste em fragmentar o DNA (amostra 1) de uma célula - leucócitos, espermatozoides, células do folículo piloso ou outras - por meio do uso de enzimas chamadas endonucleases de restrição. Os fragmentos obtidos são separados por eletroforese, como mostra a figura a seguir. Depois de separados, são transferidos para uma fita de náilon.

O DNA a ser testado (amostra 2) é marcado com isótopos radioativos e, a seguir, fragmentado da mesma forma. Os fragmentos são postos em solução, na qual se introduz a fita de náilon contendo o DNA aderido (da amostra 1).

A fita é lavada para remover o excesso 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 (da amostra 2) aderidos aos fragmentos que estavam na fita de náilon (da amostra 1), estabelecendo um padrão de faixas que é absolutamente individual.

Quando o material examinado for sangue ou outro tecido que contenha células diplóides, deverá ser total a coincidência com o material obtido do sangue do suspeito. Em DNA obtido de esperma, há concordância pela metade, porque

os espermatozoides são células haplóides. Nos casos de investigação de paternidade ou de identificação de crianças desaparecidas, o DNA do filho apresenta 50% de concordância com o DNA de cada um dos pais.



Etapas da "impressão digital" do DNA.

7. Uma criança foi localizada pela polícia e um casal alega tratar-se de seu filho desaparecido. A análise do sangue do casal e da criança revelou o seguinte:

Homem - sangue tipo A, Rh negativo, M Mulher - sangue tipo B, Rh positivo, MN Criança - sangue tipo O, Rh positivo, N

Esses resultados confirmam a hipótese de a criança ser desse casal?

PARA REFLETIR

7. (Unicamp-SP) O rei Salomão resolveu uma disputa entre duas mulheres que reclamavam a posse de uma criança. Ao propor dividir a criança ao meio, uma das mulheres desistiu. O rei então concluiu que aquela que havia desistido era a mãe verdadeira. Nos tribunais modernos, um juiz pode utilizar a análise dos grupos sanguíneos e teste de DNA para ajudar a solucionar questões semelhantes. Analisando uma situação em que uma mulher de sangue A atribuía a paternidade de seu filho de sangue O a um homem de sangue B, o juiz não pôde chegar a nenhuma decisão conclusiva.

a) Explique por quê.

b) Qual deveria ser o grupo sanguíneo do homem para que a decisão pudesse ser conclusiva?

c) Com base no teste de DNA, no entanto, o juiz concluiu que o homem era o pai da criança. Por que o teste de DNA permite tirar conclusões tão precisas em casos como este?

8 (Fuvest-SP) Nos anos 1940, o famoso cineasta Charles Chaplin foi acusado de ser o pai de uma criança, fato que ele não admitia. Os exames de sangue revelaram que a mãe era do grupo A, a criança do grupo B e Chaplin do grupo O. Ao final do julgamento, Chaplin foi considerado como sendo um possível pai da criança.

a) O veredicto é aceitável? Por quê?

b) Na hipótese de Chaplin ter tido filhos com a referida mulher, de que tipos sanguíneos eles poderiam ser?

9. (Vunesp) Uma mulher com útero infantil, Rh+ homozigota, casa-se com um homem Rh-. Impedida de ter filhos, o casal decide ter um bebê de proveta e contrata uma mãe de aluguel para receber em seu útero o zigoto formado por aquele casal. O que o casal não sabia é que a mãe de aluguel tivera três filhos, sendo que o último apresentava a doença hemolítica do recém-nascido. A probabilidade de o bebê de proveta nascer com a doença hemolítica do recém-nascido é:

a) mínima, visto que seu pai é Rh-.

b) mínima, visto que sua mãe genética é Rh+.

c) alta, já que o bebê de proveta, com absoluta certeza, será Rh+.

d) nula, visto que a doença hemolítica do recém-nascido só ocorre quando a mãe é Rh- e o pai é Rh+.

e) alta, pois a mãe de aluguel é Rh+.

10 A maternidade mais saudável passa pelo acesso ao acompanhamento pré-natal, feito desde os primeiros sinais da gestação. Procure informar-se sobre a importância desse atendimento na prevenção de problemas maternos e infantis relacionados com a gestação e o parto, em especial quanto à eritroblastose fetal

ATIVIDADES COMPLEMENTARES

1 (U. F. Juiz de Fora-MG) As flores das hortênsias podem ser azuis se plantadas em solo de teor ácido ou róseas se plantadas em solo alcalino. Essa observação indica que:

2

a) o fenótipo resulta da interação do genótipo com o meio ambiente.

b) essa característica depende exclusivamente do genótipo do organismo.

c) essa característica é recessiva.

d) o ambiente anula a informação genética do indivíduo.

e) a característica cor da flor da hortênsia independe do genótipo.

2 (Unicamp-SP) Um criador de cabras, depois de muitos anos nesse ramo, observou que alguns dos animais de sua criação apresentavam uma característica incomum nos chifres. Como o criador poderia fazer para determinar se essa variação é decorrente de uma mutação genética ou de uma alteração causada por fatores ambientais?

3 (Fuvest-SP) Por que, em um indivíduo heterozigoto Aa, a segregação dos alelos A e a pode ocorrer na

primeira ou na segunda divisão meiótica?

4) **(Fuvest-SP)** O albinismo é uma anomalia de herança autossômica recessiva. Uma mulher albina casada com um homem de fenótipo normal teve duas crianças fenotipicamente normais e uma albina. Qual a probabilidade de que outra criança que o casal venha a ter seja albina? Justifique a resposta.

5) **(Vunesp)** A mamona (*Ricinus communis*) produz inflorescência contendo somente flores pistiladas (flores femininas) quando o genótipo é recessivo e inflorescências mistas (flores femininas e flores masculinas) quando o genótipo é homozigoto dominante ou heterozigoto. Com base nessas informações, que tipos de intlorescências serão produzidos nos descendentes dos seguintes cruzamentos:

a) $NN \times Nn$?

b) $Nn \times Nn$?

6) **(Fuvest-SP)** No porquinho-da-índia existe um par de alelos que determina a cor da pelagem: o alelo dominante *B* determina a cor preta e o recessivo *b*, a cor branca. Descreva um experimento que possa evidenciar se um porquinho preto é homozigoto ou heterozigoto.

7) **(Fuvest-SP)** Qual é a porcentagem de descendentes *Aa* nascidos de uma mãe *Aa*?

a) 25%

b) 50%

c) 75%

d) 100%

e) Depende do pai.

8) **(E. E. Mauá-SP)** A braquidactilia apresenta padrão de herança dominante. Suponha o casamento entre um homem com braquidactilia e uma mulher normal. (Considere o homem sendo heterozigoto.)

a) Qual é a probabilidade de o primeiro filho do casal ter braquidactilia?

b) No caso de o casal ter três filhos, qual é a probabilidade de nenhum deles apresentar braquidactilia?

9) **(Fuvest-SP)** Considere os seguintes cruzamentos para ervilha, sabendo que *V* representa o alelo que determina cor amarela dos cotilédones e é dominante sobre o alelo *v*, que determina cor verde.

I. $VV \times vv$

II. $Vv \times Vv$

III. $Vv \times vv$

Um pé de ervilha, heterozigoto e que, portanto, produz vagens com sementes amarelas e com sementes verdes, pode resultar:

a) apenas do cruzamento 1.

b) apenas do cruzamento 11.

c) apenas do cruzamento III.

d) apenas dos cruzamentos II e III. e) dos cruzamentos I, II e m.

10) **(Unicamp-SP)** Em experimento feito no início do século, dois pesquisadores retiraram os ovários de uma cobaia albina e implantaram-lhe um ovário obtido de uma cobaia preta. Mais tarde, o animal foi cruzado com um macho albino e deu origem a uma prole toda preta.

a) Sabendo que o albinismo é uma característica recessiva, como você explica esse resultado?

b) Indique os genótipos da fêmea preta e da prole.

c) Se fosse possível implantar os pêlos da fêmea preta na fêmea albina, em vez de transplantar o ovário, o resultado seria o mesmo? Justifique.

11) **(F. Hermínio Ometto-SP)** Um homem, apresentando os primeiros sintomas da doença de Huntington, um processo irreversível de degeneração do sistema nervoso, de manifestação tardia e de herança autossômica dominante, procurou um geneticista para saber quais os riscos de que seus filhos possam apresentar o alelo causador da doença. O geneticista respondeu que:

a) não existem riscos de os filhos serem afetados, pois a doença decorre de uma mutação tardia, que surge depois da idade reprodutiva.

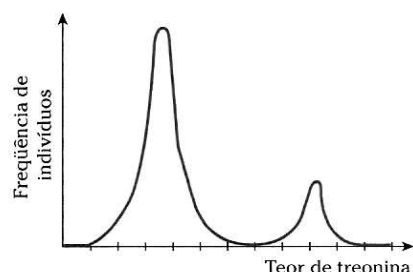
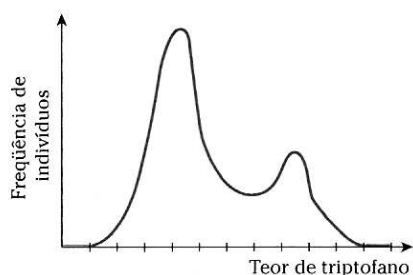
b) os filhos apresentam o alelo com certeza e desenvolverão a doença numa idade mais avançada.

c) os filhos não apresentam o alelo, pois só recebem do pai genes ligados ao sexo.

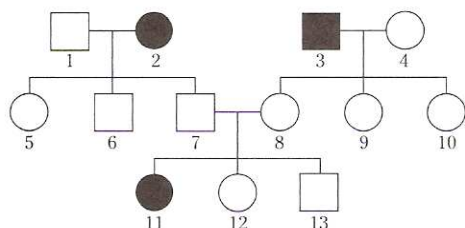
d) a probabilidade de os filhos desse homem possuírem o alelo é de pelo menos 50%.

e) não existem dados que permitam calcular o risco de os filhos apresentarem os alelos da doença.

12) **(Unicamp-SP)** Duas características, teor de triptofano e teor de treonina, ambas com herança monofatorial, são estudadas na geração F_1 de uma espécie, obtendo-se as distribuições de frequências ilustradas nos gráficos a seguir. Em qual dessas características é possível identificar mais facilmente os indivíduos com genótipo homozigoto recessivo? Por quê?



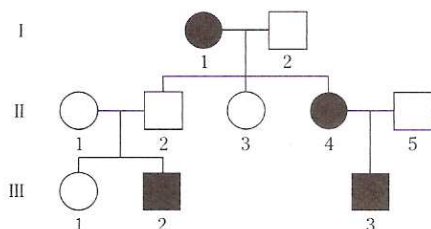
- 13) (E. F. O. Alfenas-MG) No heredograma a seguir, os indivíduos indicados pela cor preta representam pessoas afetadas por determinada doença, enquanto os outros são normais.



a) Qual dos dois caracteres — normal ou afetado — é con-

- a) Qual dos dois caracteres - normal ou afetado - é condicionado por alelo dominante? Como você chegou a essa conclusão?
b) Quais são os genótipos dos indivíduos 1, 2, 7, 11 e 13?

- 14) (Vunesp) Na genealogia da figura, os indivíduos indicados pela cor escura apresentam uma doença hereditária, enquanto os outros exibem fenótipo normal. Os círculos representam as mulheres e os quadrados, os homens.



Análise essa genealogia e responda:

- a) Essa doença é condicionada por alelo dominante ou recessivo?
b) Dos dez indivíduos que compõem essa genealogia, qual o único que não pode ter seu genótipo definido? Explique por quê.

- 15) (U. Católica de Salvador-BA)

Dependendo do genótipo que apresenta, determinada planta pode ter folhas estreitas (*EE*), de largura intermediária (*EL*) ou largas (*LL*). Assinale o cruzamento a partir do qual é possível obter descendentes apenas com folhas de largura intermediária.

- a) *LL* x *LL*
b) *EE* x *EL*
c) *EE* x *LL*
d) *EL* x *LL*
e) *EL* x *EL*

- 16) (F. M. Triângulo Mineiro-MG) Para a cor da pelagem de coelhos, a transmissão do caráter ocorre por quatro alelos, colocados na seguinte ordem hierárquica de dominância: aguti (*e*), pelagem cinza-acastanhado; chinchila (*C^h*), pelagem cinza-claro; himalaia (*c^h*), pelagem branca, patas, focinho, cauda e orelhas pretas; e albino (*c^u*), pelagem branca e olho vermelho.

- a) Quais os fenótipos esperados no cruzamento entre um macho aguti heterozigoto para albino com uma fêmea himalaia heterozigota para albinismo?
b) Quais os genótipos esperados nesse mesmo cruzamento?

- 17) (U. E. Londrina-PR/modificada) Numa variedade de planta, os alelos que condicionam flores brancas (*F*), amarelas (*i*) e alaranjadas (*j*) constituem uma série de alelos múltiplos com a seguinte relação de dominância: $F > i > j$. Cruzando-se uma planta de flores brancas com uma de flores amarelas, obtiveram-se descendentes com flores brancas, amarelas e alaranjadas. Quais são os genótipos das plantas genitoras?

- 18) (Fuvest-SP) Um banco de sangue possui 5 litros de sangue tipo AB, 3 litros tipo A, 8 litros tipo B e 2 litros tipo O. Para transfusões em indivíduos dos tipos O, A, B e AB estão disponíveis, respectivamente:

- a) 2, 5, 10 e 18 litros.
b) 2, 3, 5 e 8 litros.
c) 2, 3, 8 e 16 litros.
d) 18, 8, 13 e 5 litros. e) 7, 5, 10 e 11 litros.

- 19) (Esal-MG) Um casal tem quatro filhos e resolveu determinar, em relação ao sistema ABO, qual o fenótipo de cada um deles. Um era do grupo A, outro do grupo B, um terceiro do grupo AB e o quarto filho era do grupo O.

- a) Qual o provável genótipo dos pais?
b) Qual dos filhos pode receber sangue de qualquer membro da família? Por quê?

- 20) (Fuvest-SP) O pai e a mãe de um par de gêmeos dizigóticos têm tipo sanguíneo AB.

- a) Qual a probabilidade de ambos os gêmeos terem sangue do tipo AB? Por quê?

b) E se fossem monozigóticos? Por quê?

21) **(U. E. Londrina-PR)** Uma mulher Rh+, cujo pai é Rh-, é casada com um homem Rh+, cuja mãe é Rh-. Responda:

a) Qual é a probabilidade de que esse casal tenha uma criança Rh-? Mostre como chegou ao resultado.

b) Qual é a probabilidade de que uma criança Rh+, filha desse casal, tenha eritroblastose fetal? Por quê?

22) **(Fuvest-SP)** Como a incompatibilidade materno-fetal no sistema Rh pode determinar a doença hemolítica do recém-nascido (eritroblastose fetal)?

23) **(UFES)** Um homem Rh-positivo heterozigoto casa-se com uma mulher que não possui o fator Rh nas hemácias e desse casamento nasce uma criança com doença hemolítica perinatal (DHRN). Qual é a probabilidade de um segundo filho do casal vir a ter a mesma doença?

24) **(U. F. Uberlândia-MG/modificada)** Uma mulher que nunca recebeu transfusão de sangue dá à luz, numa segunda gravidez, uma criança com eritroblastose fetal, doença em que se observa destruição de hemácias. Numa terceira gravidez, nasce uma criança normal. Quanto ao fator Rh, quais são os fenótipos da mulher, do marido e das três crianças?

25) **(Mackenzie-SP/modificada)** Utilizando-se três lâminas de microscopia, foi colocada uma gota de sangue humano em cada uma delas. A cada gota foi juntada igual quantidade de soro anti-A na primeira, soro anti-B na segunda e soro anti-Rh na terceira. Após a mistura do sangue com os respectivos soros, foi observada aglutinação nas três lâminas. Qual é a tipagem sanguínea desse indivíduo, quanto aos grupos sanguíneos ABO e ao fator Rh?

26) **(Vunesp)** Necessitando de uma transfusão sanguínea de urgência, um homem que nunca havia recebido sangue anteriormente foi submetido apenas à tipagem do sistema ABO, obtendo-se resultado satisfatório.

a) Por que é necessário conhecer o tipo sanguíneo para uma transfusão?

b) Por que não foi feita a tipagem do Rh?

c) Não se sabendo o tipo sanguíneo do paciente, que tipo de sangue poderia ser administrado sem risco?

27) **(U. E. Maringá-PR)** Com relação ao sistema ABO e ao sistema Rh, assinale o que for correto.

(01) O sistema ABO exemplifica um dos casos de alel os múltiplos.

(02) Existem pelo menos três alelos para o sistema ABO, mas cada indivíduo poderá ter no máximo dois.

(04) Sangues humanos de diferentes grupos sanguíneos, se misturados, podem apresentar reações imunológicas que se caracterizam por aglutinação dos glóbulos vermelhos.

(08) Os alelos [A e [B exibem entre si uma relação de codominância.

(16) Com a descoberta do fator Rh, verificou-se que a eritroblastose fetal ocorre somente quando a mãe é Rh-negativa e a criança é Rh-positiva.

Dê a soma dos itens corretos.

28) **(PUC-SP)** Uma mulher deu à luz um par de gêmeos do mesmo sexo. No berçário foi feita a tipagem sanguínea dos dois irmãos e verificou-se que um apresentava tipo O Rh+, MN e o outro, tipo O Rh-, M. Podemos concluir que:

a) se trata de gêmeos dizigóticos e se originaram da fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides.

b) se trata de gêmeos dizigóticos e se originaram da fecundação de um óvulo por dois espermatozoides.

c) se trata de gêmeos monozigóticos e se originaram da fecundação de dois óvulos por dois espermatozoides.

d) se trata de gêmeos monozigóticos e se originaram da fecundação de um óvulo por dois espermatozoides.

e) os dados são insuficientes para concluir se os gêmeos são mono ou dizigóticos.

CAPÍTULO 02: HERANÇA DE DOIS OU MAIS PARES DE ALELOS

1. SEGUNDA LEI DE MENDEL

A análise concomitante de duas características, em um cruzamento, chama-se **diíbridismo**. Duas das características estudadas por Mendel - a cor das flores e sua posição nos ramos - resultaram nas observações descritas na figura 1.

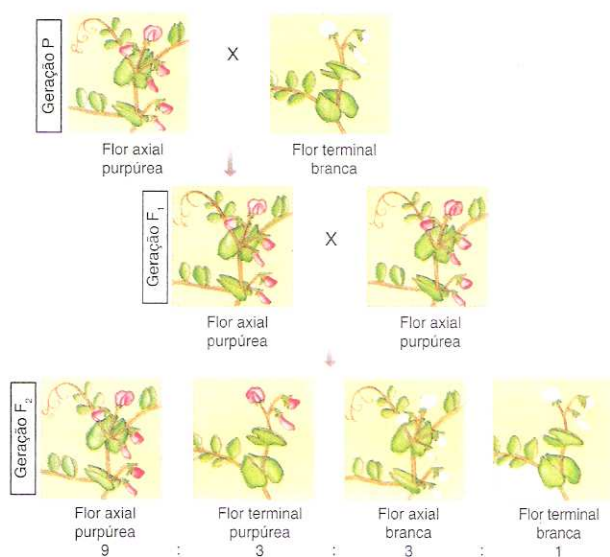


Figura 1 Na geração F¹ todos os descendentes têm fenótipos dominantes (plantas de flores axiais purpúreas). Na geração F₂, as características aparecem em combinações não existentes na geração parental.

Dois pares de alelos participam da determinação dessas características:

T - determina flores axiais

t - determina flores terminais

B - determina flores purpúreas *b* - determina flores brancas

No cruzamento entre duas plantas homocigotas para esses dois pares de alelos, uma de flores axiais purpúreas (genótipo *TT BB*) e outra de flores terminais brancas (genótipo *tt bb*), todos os descendentes possuem flores axiais purpúreas (genótipo *Tt Bb*). Estando os pares de alelos *Tt* e *Bb* em cromossomos diferentes, a separação dos alelos de um dos pares, durante a meiose, não interfere na separação dos alelos do outro par (figura 2), de tal forma que os gametas podem formar-se com quatro combinações possíveis, nas mesmas proporções.

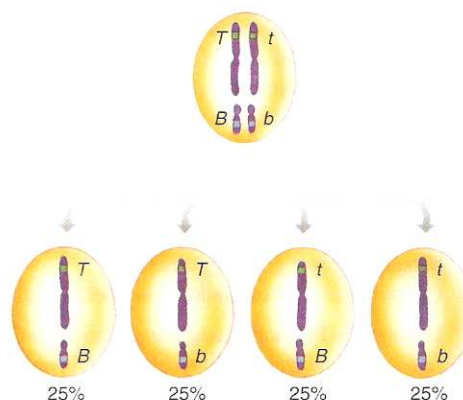
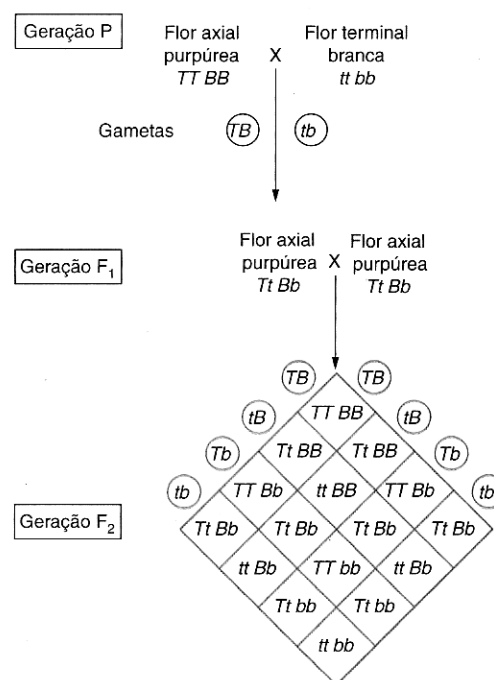


Figura 2 A planta de genótipo *Tt Bb* forma gametas com quatro combinações de alelos, nas mesmas proporções.

Na geração F₂, esses gametas podem combinar-se de várias maneiras, todas com a mesma probabilidade.



GENÓTIPO	FENÓTIPO
9 <i>T_ B_</i>	Flores axiais purpúreas
3 <i>T_ bb</i>	Flores axiais brancas
3 <i>tt B_</i>	Flores terminais purpúreas
1 <i>tt bb</i>	Flores terminais brancas

Estudando vários cruzamentos em que acompanhava duas características ao mesmo tempo, Mendel enunciou sua segunda lei: "Dois ou mais pares de fatores segregam-se independentemente durante a formação dos

gametas, nos quais se recombinam ao acaso". Pelos conhecimentos atuais de divisão celular, sabe-se que a segunda lei de Mendel só se aplica a pares de alelos situados em pares diferentes de cromossomos homólogos.

Formação dos gametas

Pode-se determinar quantos tipos de gametas um indivíduo pode gerar, conhecendo-se seu genótipo. Essa quantidade é dada por 2^n , em que n é o número de pares em heterozigose, no genótipo analisado.

GENÓTIPO	Pares em heterozigose	Tipos de gametas
AABb	1	$2^1 = 2$
Aa BB Cc	2	$2^2 = 4$
AA Bb CcDd	3	$2^3 = 8$
AaBB Cc DdEe	4	$2^4 = 16$
Aa Bb Cc Dd EE Ff	5	$2^5 = 32$
Aa Bb Cc Dd Ee Ff	6	$2^6 = 64$

Exemplo

1. Um homem de sangue tipo AB, Rh positivo e M casa-se com uma mulher tipo O, Rh negativo e MN. O primeiro descendente do casal tem sangue A, Rh negativo e M.

a) Quais devem ser os genótipos do casal e do primeiro descendente?

b) Qual é a probabilidade de que uma segunda criança desse casal tenha sangue tipo B, Rh positivo e MN?

PARA REFLETIR

1 (Fuvest-SP) Em uma espécie de planta, a cor amarela da semente é dominante sobre a verde e a textura lisa da casca é dominante sobre a rugosa. Os locos gênicos correspondentes a esses dois caracteres estão em cromossomos diferentes. Da autofecundação de uma planta duplo-heterozigota, foram obtidas 800 plantas. Qual o número esperado de plantas:

- a) com sementes verdes e rugosas?
b) com sementes amarelas?

2) INTERAÇÕES GÊNICAS

Nas interações gênicas, dois ou mais pares de alelos afetam, ao mesmo tempo, uma única característica. Costuma-se dizer que, geneticamente, correspondem ao inverso da pleiotropia.

Genes complementares (ou interação gênica

simples)

Genes complementares, em um mesmo indivíduo, determinam a manifestação de um fenótipo diferente daquele que expressam quando isolados. O formato das cristas de galinhas é determinado por dois pares de alelos que interagem. O alelo dominante R determina crista rosa; o alelo dominante E condiciona crista ervilha. As aves $rr ee$ possuem cristas simples. Quando ambos os alelos dominantes estão presentes em uma mesma ave, a crista é noz.

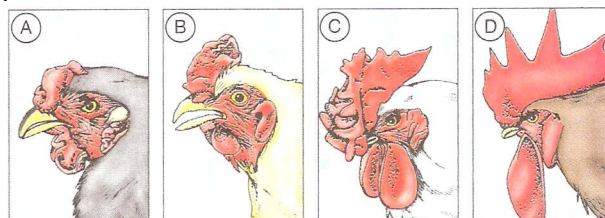
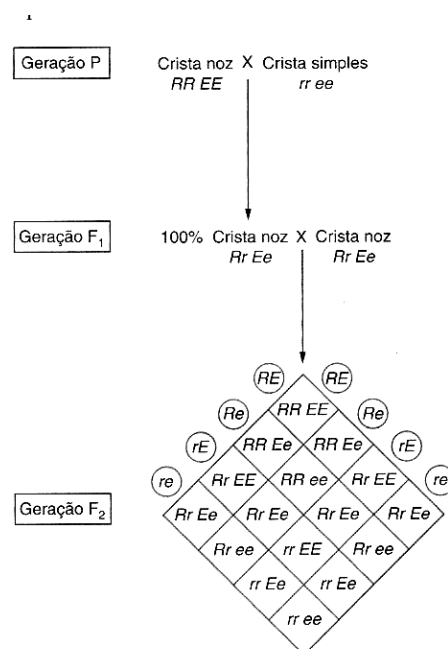


Figura 3: (a) Crista noz; (b) crista rosa; (c) crista ervilha; (d) crista simples.



Genótipo	Fenótipo
9 $R_ E_$	Crista noz
3 $R_ ee$	Crista rosa
3 $rr E_$	Crista ervilha
1 $rr ee$	Crista simples

Epistasia

Um alelo pode impedir a expressão fenotípica de outro alelo localizado em loco gênico diferente. Esse fenômeno denomina-se **epistasia**. O alelo que impede a manifestação é o **epistático**; o que é inibido se chama **hipostático**.

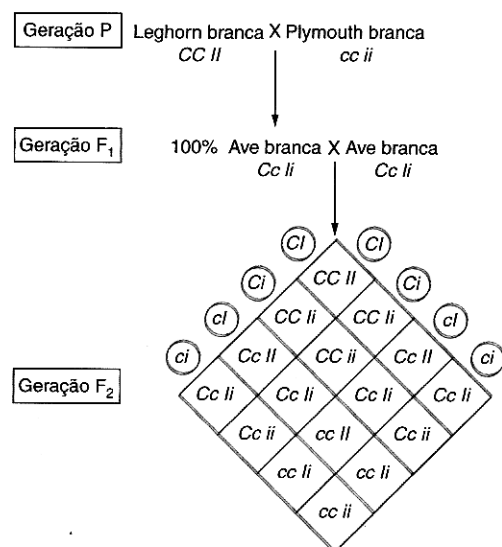
Em galináceos, quando se cruzam aves brancas da variedade Leghorn com aves brancas da variedade Plymouth, todos os descendentes são brancos. Entretanto, quando esses descendentes são cruzados entre si, surgem aves brancas e

coloridas. Há dois pares de alelos envolvidos nessa herança:

c - determina plumagem colorida c - determina plumagem branca

I - impede a produção de pigmentos (alelo inibidor) i - permite a produção de pigmentos

-
-



Na geração F2' são encontradas 13 aves brancas para 3 aves coloridas.

Genótipo	Fenótipo
9CC	Aves brancas
3 Cii	Aves coloridas
3 ccC	Aves brancas
1cc ii	Aves brancas

Herança quantitativa (ou poligênica)

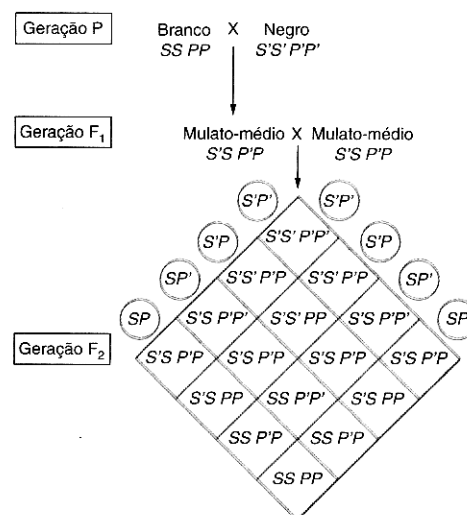
Num canteiro de ervilhas, podem-se separar plantas de flores purpúreas e plantas de flores brancas. Essas características, em que há classes fenotípicas bem distintas, possuem **variação qualitativa ou descontínua**. Entretanto há características (como a estatura humana) que têm **variação contínua ou gradativa**. Nesse caso, as diferenças entre os indivíduos são muito pequenas e não permitem colocá-los em classes fenotípicas completamente distintas. As estaturas dos alunos de uma escola, por exemplo, distribuem-se segundo uma curva em forma de sino (ou curva de Gauss).

Essas duas constatações - fenótipo com variação contínua e distribuição fenotípica em curva de Gauss - indicam que a herança é determinada por vários pares de alelos; trata-se da **herança poligênica ou quantitativa**.

Nesse padrão de herança, há uma série de pares de alelos nos quais cada alelo pode contribuir com certa variação no fenótipo, a partir de um

valor ITÚnimo chamado **fenótipo residual**. Em cada um desses pares, não há um alelo dominante e outro recessivo, mas um **alelo aditivo** e um **não aditivo**.

Um exemplo é a determinação genética da cor da pele na espécie humana. Embora se acredite atualmente que haja mais de cinco pares de alelos envolvidos nessa herança, de acordo com o modelo proposto por Charles Davenport, a cor da pele é condicionada por dois pares de alelos (SS' e PP'). Em cada par, há um alelo aditivo (S' e P'), que contribui para tornar a pele mais escura, e um alelo não aditivo (S e P).



A cor da pele varia de acordo com a quantidade de alelos aditivos:

Genótipo	Fenótipo
4	Negro
3	Mulato-escuro
2	Mulato-médio
1	Mulato-claro
0	branco

Em um caso de herança poligênica, pode-se estimar o número de pares de alelos envolvidos de acordo com o número de classes fenotípicas existentes:

$$\text{número de classes fenotípicas} = 2n + 1$$

Na fórmula anterior, n é o número de pares de alelos.

Por exemplo: em uma espécie vegetal, quanto ao peso das frutas, há sete classes fenotípicas distintas.

$$7 = 2n + 1 \rightarrow n = 3 \text{ pares}$$

O peso das frutas é determinado por três pares de alelos. Imagine que os frutos mais pesados tenham 120 gramas e os mais leves, 60 gramas. Na planta de peso mínimo, não há alelo aditivo; na de peso máximo há seis, pois são três pares.

Portanto cada alelo aditivo acrescenta 10 gramas ao fenótipo residual.

$$\frac{\text{peso máximo} - \text{peso mínimo}}{\text{Número de alelos aditivos}} = \frac{120 - 60}{6} = \frac{60}{6} = 10 \text{ gramas}$$

Exemplos

2. Do cruzamento de uma galinha de crista rosa com um galo de crista ervilha resultou uma descendência em que havia aves com crista simples.

a) Determine os genótipos das aves cruzadas.

b) Determine a probabilidade de que esse mesmo cruzamento origine uma ave de crista noz.

3. O comprimento das espigas de milho é determinado por dois pares de alelos (A' e A , B' e B). Os alelos A' e B' são aditivos e os alelos A e B são não aditivos. A variedade *b/ack mexican*, de genótipo $A'A' B'B'$, possui quatro alelos aditivos e espigas com 16,8 cm. A variedade Tom Thumb, de genótipo $AA BB$, não possui nenhum alelo aditivo e suas espigas medem 6,6 cm.

Logo o fenótipo residual, ou seja, o tamanho mínimo das espigas, é de 6,6 cm. Como a diferença entre o tamanho máximo e o mínimo é de 10,2 cm, conclui-se que cada alelo aditivo contribui cumulativamente com 2,55 cm de acréscimo no comprimento das espigas.

Como serão as gerações F 1 e F 2 no cruzamento entre uma planta sem nenhum alelo aditivo e outra com quatro alelos aditivos?

Para refletir

(Unicamp-SP) Existe um gene em cobaias que suprime o efeito do gene que determina a coloração da pelagem nesses animais. Esse gene está localizado em um cromossomo diferente daquele em que está o gene que determina a cor do animal. Cobaias albinas homozigotas foram cruzadas e todos os descendentes nasceram pretos. Como isso pode ser explicado, considerando-se que não ocorreu mutação? Justifique.

3) LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÕES

Os genes estão enfileirados nos cromossomos como as pérolas de um colar. Assim, a posição que ocupam nos cromossomos interfere em seu comportamento durante a meiose. Na anáfase I, quando ocorre a separação dos cromossomos homólogos, os pares de alelos localizados em pares diferentes de homólogos podem separar-se independentemente; entretanto, se dois ou mais pares de alelos estão em um mesmo par de homólogos, tendem a permanecer unidos e seguir juntos para a mesma célula-filha.

Genes que estão em um mesmo cromossomo formam um grupo de ligação. Tal distribuição peculiar faz com que seus alelos não sigam o princípio da segregação independente, expresso

na segunda lei de Mendel. Entre dois ou mais genes que estão em um mesmo cromossomo, há ligação gênica (*linkage*, vinculação ou ligação fatorial).

Na prófase I da meiose, enquanto os cromossomos homólogos estão pareados, pode ocorrer permutação (ou *crossing-over*), trocas de fragmentos entre suas cromátides.

Não ocorre permutação entre dois determinados genes em todas as células. Vejamos o que acontece se, entre dois pares de alelos ligados (Aa e Bb), ocorrer permutação em 60% das células da linhagem produtora de gametas (figura 4).

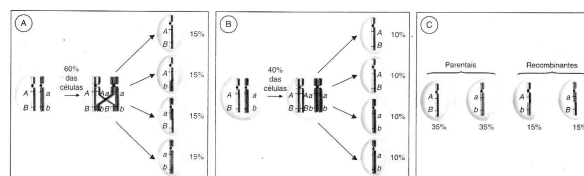


Figura 4: (a) As células em que ocorre permutação entre os pares Aa e Bb originam quatro tipos de gametas: AB , Ab , aB e ab . (b) As células em que não ocorre permutação formam dois tipos: AB e ab . (c) Os gametas AB e ab - chamados gametas parentais - formam-se mesmo que não ocorra permutação e repetem a ligação gênica existente nos cromossomos do indivíduo gerador. Os gametas Ab e aB refletem a ocorrência da permutação e são gametas recombinantes.

A permutação acontece entre as cromátides internas dos pares de homólogos, enquanto nas cromátides externas mantém-se a ligação gênica original. Por isso, se em todas as células ocorrer permutação entre dois pares de alelos, a quantidade de gametas recombinantes será de apenas 50%.

A proporção de gametas recombinantes, no total de gametas produzidos, é a taxa de recombinação (TR).

$$TR = \frac{\text{Quantidade de gametas recombinantes}}{\text{Quantidade total de gametas}}$$

Em geral, a taxa de recombinação é calculada por meio da análise da descendência dos cruzamentos.

Transformando distâncias em posição relativa

Quanto mais afastados estão dois genes, em um mesmo par de cromossomos homólogos, maior é a taxa de recombinação entre eles. Esse princípio básico permite a elaboração de mapas cromossômicos. Quando a taxa de recombinação entre dois genes é igual a 1 %, convencionou-se que a distância relativa entre eles é de uma unidade de recombinação (UR) ou morganídeo.

O primeiro cromossomo a ser mapeado foi o

cromossomo II da drosófila, onde estão os genes p , r e v , entre os quais as taxas de recombinação são as seguintes:

entre p e v = 17%

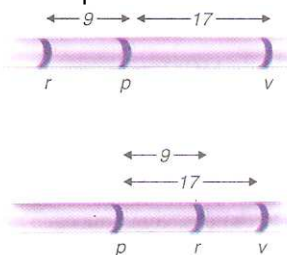
entre p e r = 9%

entre r e v = 8%

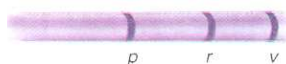
A análise desses dados permite concluir que:

- como a taxa de recombinação entre os genes p e v é de 17%, os locos dos genes p e v distam 17 unidades de recombinação;
- a taxa de recombinação entre os genes p e r é de 9%, ou seja, seus locos estão a 9 unidades de recombinação;

- há duas possibilidades para posicionar o gene r a uma distância de 9 unidades de recombinação do gene p : à esquerda ou à direita dele.



Se o gene r estivesse à esquerda, a distância entre r e v seria de 26 unidades de recombinação. Entretanto, como a taxa de recombinação entre os genes r e v é de 8%, o gene r deve estar à direita de p a 8 unidades de recombinação do gene v . Portanto, no cromossomo II da drosófila, a sequência dos genes é p - r - v .



Além da determinação das distâncias entre os genes, outro passo importante no mapeamento cromossômico é o estabelecimento da distribuição dos alelos no par de cromossomos homólogos. Duas moscas podem possuir os mesmos alelos, mas se eles estiverem em posições trocadas, os tipos de gametas que podem ser produzidos serão diferentes (figura 5).

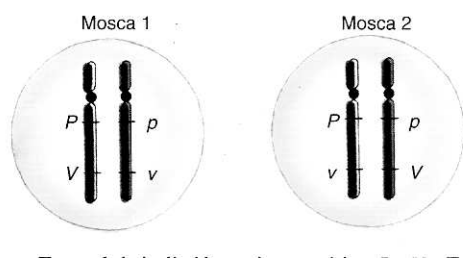


Figura 5 Esses dois indivíduos têm genótipo Pp Vv . Entretanto a distribuição dos alelos no par de homólogos é diferente.

Durante a formação dos gametas pela mosca 1,

deverão surgir em maior número os gametas PV e $p v$, pois não dependem da permutação para serem formados. Os gametas Pv e $p V$ formam-se em número menor que os parentais. Em um dos cromossomos, a mosca 2 tem os alelos P e v ; no outro, os alelos p e V . Ela formará os gametas Pv e $p V$ em maior número, pois são parentais.

Há diversas maneiras de indicar a posição dos alelos no par de cromossomos homólogos. As mais usadas são as seguintes:

Mosca 1: PV/pv ou \underline{PV} (heterozigoto tipo cis) pv

Mosca 2: Pv/pV ou \underline{Pv} (heterozigoto tipo trans) pV

Exemplo

4. Na espécie humana, há um loco gênico onde pode ser encontrado um alelo c , recessivo, que determina o aparecimento de catarata congênita. Em outro loco, o alelo recessivo d causa um tipo de distrofia muscular. Um homem produz gametas dos seguintes tipos, nas proporções indicadas:

CD : 47% - Cd : 3% - cD : 3% - cd : 47%

Sobre esses alelos, responda:

- Como eles estão distribuídos nos cromossomos desse homem?

- Qual é a distância entre seus locos gênicos?

Resolução

- Trata-se de um caso de *linkage*, e os dois pares de alelos estão no mesmo par de cromossomos homólogos. Os quatro tipos de gametas possíveis não se formam nas mesmas proporções, o que seria de esperar caso se tratasse de genes localizados em cromossomos diferentes.

Ciência e informação

Conhecimento, o fruto do Projeto Genoma Humano

"O Projeto Genoma Humano, que está provocando uma explosão de conhecimentos, tem por objetivo localizar e identificar cerca de quase cem mil genes existentes nos cromossomos humanos. Assim como a tabela periódica categorizou os elementos químicos para que os pesquisadores pudessem prever como eles reagiriam, o genoma humano totalmente mapeado fornecerá à comunidade médica lampejos dramáticos sobre como o corpo funciona." (O Estado de São Paulo)

O Projeto Genoma Humano (PGH) dos Estados Unidos foi iniciado em 1990, tendo como objetivo sequenciar os três bilhões de pares de base do genoma humano. Tem dotação de três bilhões de dólares e sua conclusão está prevista para o ano 2005, embora se acredite que possa ser antecipada.

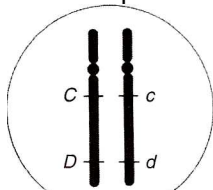
Existe, ainda, uma organização chamada *Human Genome Organization* (Hugo), criada por cientistas para articular internacionalmente os

diversos programas genômicos. A Hugo não é uma entidade de pesquisa, mas uma sociedade científica.

A informação gerada pelo PGH, que já está sendo protegida por patentes, significará o domínio na competição econômica global no século XXI, o século da Bioinformática, do genoma e da Biotecnologia. Os países detentores dessa tecnologia se utilizarão dela como forma de arrecadar recursos. Isso preocupa muito, porque o Brasil não tem nenhum programa estabelecido. *Teme-se* que, mais uma vez, o país perca uma oportunidade histórica de alcançar um nível de competitividade internacional, ficando destinado a comprar tecnológicos ultrapassados dos países do Primeiro Mundo.

(Observação: para obter textos publicados pelo jornal **O Estado de S. Paulo**, ou propostas de atividades, consulte o site **Estadão na escola** - www.estadao-escola.com.br/.)

Há dois tipos de gametas formados em maiores quantidades (*CD* e *cd*), que são os tipos parentais e refletem a posição dos alelos no par de homólogos. Concluindo, a distribuição desses alelos no par de cromossomos é:



Essa distribuição é indicada por *CD/cd* (duplo-heterozigoto tipo *cis*).

b) No total de gametas produzidos, os recombinantes perfazem 6%. A taxa de recombinação é de 6% e a distância entre os dois locos é de 6 UR.

Para Refletir

3) (U. E. Londrina-PR/modificada) A partir do cruzamento de um indivíduo heterozigoto com um homozigoto, foram obtidos estes descendentes:

AB/ab 5% *Ab/ab* 45% *aB/ab* 45%

ab/ab 5%

Qual deve ser o genótipo do casal?

4) As informações decorrentes do Projeto Genoma Humano

poderão trazer uma série de problemas éticos. O conhecimento prévio do risco de desenvolver certas doenças poderá acarretar uma nova e odiosa forma de discriminação: o "preconceito genético". Vamos discutir como essa questão pode afetar as relações entre os pacientes e seus médicos, os cidadãos e os planos de saúde, as empresas e os candidatos aos empregos etc.

ATIVIDADES COMPLEMENTARES

1 (Fuvest-SP) Um indivíduo é heterozigoto

quanto a dois pares de alelos (*Aa* e *Bb*), localizados em diferentes pares de cromossomos. Em relação a esses alelos, que tipos de gametas formará e em que proporção?

2 (Fuvest-SP) Considere um homem heterozigoto para o alelo *A*, duplo-recessivo para o alelo *D* e homozigoto dominante para o alelo *F*. Considere ainda que todos esses alelos se situam em cromossomos diferentes. Entre os gametas que poderão formar-se, encontraremos apenas:

a) *AdF*.

b) *AA DD FF*.

c) *Aa dd FF*.

d) *AdFeadF*.

e) *ADFe adf*

3 (U. F. Uberlândia-MG) No cruzamento *Aa Bb Cc Dd* x *Aa bb Cc dd*, considere dominância completa em todos os pares de alelos.

a) Quantas classes fenotípicas são possíveis na ascendência?

b) Qual a probabilidade de surgir um indivíduo *aa bb cc dd*?

4 (U. F. Uberlândia-MG) Dos cruzamentos de um mesmo

cavalo negro trotador, homozigoto para as duas características, com éguas marrons marchadoras, resultaram em F1 100% de descendentes negros trotadores. Cruzando-se um cavalo negro trotador, heterozigoto para as duas características, com uma égua marrom marchadora, qual a probabilidade de nascer um descendente negro e marchador?

5 (UFMS) Na ervilha-de-cheiro, a cor amarela (*I*) das sementes é dominante em relação à cor verde (*v*) e sementes lisas (*R*) são dominantes em relação às sementes rugosas (*r*). Cruzaram-se plantas de sementes amarelas rugosas com plantas de sementes verdes lisas e obtiveram-se descendentes de sementes amarelas lisas e amarelas rugosas em proporções iguais. Quais são os genótipos das plantas cruzadas?

6) (Fuvest-SP) A cor preta da pelagem de cães da raça *cocker spaniel* é condicionada por um alelo dominante *B* e a cor vermelha, pelo seu alelo recessivo *b*. O padrão uniforme da pelagem é condicionado por outro alelo dominante *S*, cujo alelo recessivo *s* condiciona padrão malhado. Ambos os pares de alelos são autossômicos. Um cão macho de pelagem preta e uniforme foi cruzado com uma fêmea preta e malhada. Desse cruzamento nasceram 8 filhotes: 3 pretos e uniformes e 3 pretos e malhados; 1 vermelho e uniforme e 1 vermelho e malhado. Quais os prováveis genótipos dos pais e dos dois filhos que apresentaram pelagem vermelha?

7) (Vunesp) Numa dada planta, o alelo *B*

condiciona fruto branco e o alelo *A* condiciona fruto amarelo, mas o alelo *B* inibe a ação do alelo *A*. ° duplo-recessivo condiciona fruto verde. Considerando que tais alelos se segregam independentemente um do outro, responda:

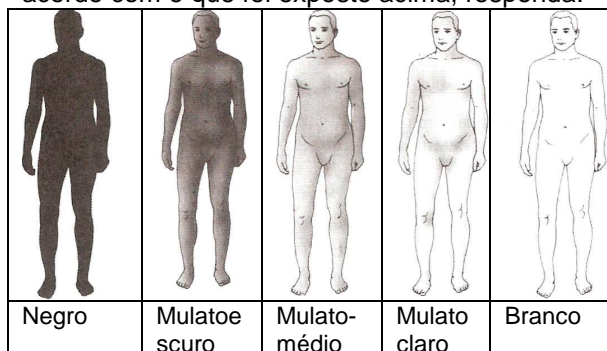
- a) Como se chama esse tipo de herança?
b) Qual a proporção fenotípica correta entre os descendentes do cruzamento de plantas heterozigotas para esses dois pares de alelos?

8) (PUC/Campinas-SP) Considere que a surdez no homem esteja relacionada a dois pares de alelos (*Dd* e *Ee*) localizados em cromossomos não homólogos. Os indivíduos homozigotos *dd* ou *ee* são surdos; os indivíduos com audição normal possuem, pelo menos, um alelo *D* e um *E*. Qual é a probabilidade de um casal *Dd Ee* x *dd Ee* vir a ter uma criança com surdez? E uma criança do sexo feminino e com audição normal?

10) (Fuvest-SP) Um criador que desejasse aumentar a média de pesos de seus porcos deveria usar qual dos métodos abaixo?

- a) Cruzar porcos de peso médio com porcos de peso médio.
b) Cruzar porcos de peso pequeno com porcos de peso elevado.
c) Cruzar porcos e porcas ao acaso, até obter aumento da média de peso.
d) Cruzar porcos e porcas de maior peso possível.
e) Cruzar porcos e porcas ao acaso, para aumentar a ocorrência de mutações.

11) (U. F. Uberlândia-MG) Segundo Davenport, existem dois pares de alelos com ausência de dominância condicionando o caráter cor de pele; o fenótipo seria resultado da soma das expressões parciais para cor de pele de cada um desses alelos. Assim, o negro possuiria dois pares de alelos para negro (*55 TT*) e o branco, dois pares de alelos para branco (*ss tt*). De acordo com o que foi exposto acima, responda:



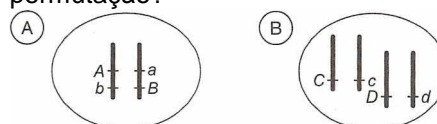
- a) Quais os possíveis genótipos de um indivíduo mulato-escuro, de um mulato-médio e de um mulato-claro?
b) Do cruzamento de um homem mulato-médio, heterozigoto para os dois pares de alelos, com uma mulher branca, quais os possíveis genótipos e fenótipos dos filhos?
c) Qual a proporção fenotípica esperada do

cruzamento acima (letra *b*)?

12) (U. E. Londrina-PR) A altura de determinada planta varia entre 1,00 m e 1,60 m, com intervalos de 0,15 m. Trata-se de um caso de herança quantitativa. Assinale a alternativa da tabela que apresenta a porcentagem correta de descendentes quanto à altura que se espera obter do cruzamento *Cc DD* x *cc dd*.

	1,00m	1,15m	1,30m	1,45m	1,60m
a)	-	-	100%	-	-
b)	-	-	75%	25%	-
c)	-	50%	50%	-	-
d)	25%	-	-	-	75%
e)	-	25%	25%	25%	25%

13) As células A e B representadas abaixo pertencem a linhagens germinativas de dois diferentes organismos. Após a meiose, a célula A e a célula B originarão, respectivamente, quantos e quais tipos de gametas se não houver permutação?



14) (U. E. Londrina-PR) Na meiose de um indivíduo *ABlab*, ocorre *crossing-over* entre esses pares de alelos em 40% das células. Quais devem ser, respectivamente, as freqüências dos gametas *AB*, *Ab*, *aB* e *ab* produzidos por esse indivíduo?

- a) 10%, 40%, 40% e 10%.
b) 30%, 20%, 20% e 30%.
c) 30%, 30%, 20% e 20%.
d) 40%, 10%, 10% e 40%.
e) 40%, 40%, 10% e 10%.

15) (Unicamp-SP) Os locos gênicos *A* e *B* localizam-se em um mesmo cromossomo, havendo 10 unidades de recombinação entre eles.

- a) Como se denomina a situação acima mencionada?
Supondo o cruzamento de um indivíduo *ABlab* com outro *ablab*:
b) Qual será a porcentagem de indivíduos *Aa Bb* na descendência?
c) Qual será a porcentagem de indivíduos *Aa bb*?

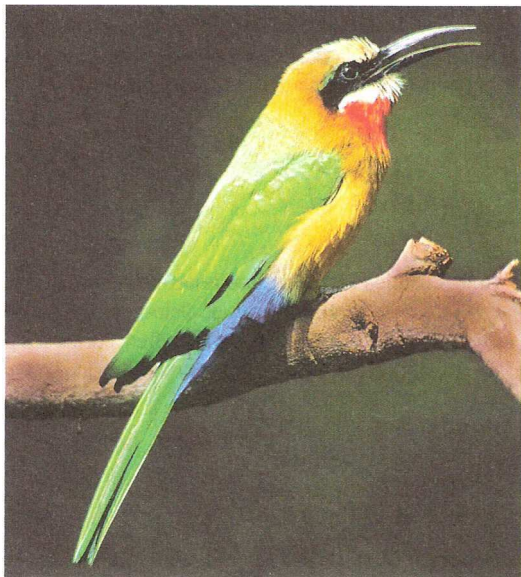
16) (F. F. Celso Lisboa-RJ) Para quatro genes localizados no mesmo cromossomo, encontramos nos descendentes as seguintes freqüências de *crossing-over*:

- entre *a* e *d* = 40%
- entre *a* e *b* = 20%
- entre *c* e *d* = 30%
- entre *c* e *b* = 10%

Qual é a seqüência correta dos genes no cromossomo?

CAPÍTULO 03: SEXO E HERANÇA

1) DETERMINAÇÃO CROMOSSÔMICA DO SEXO



A vistosa plumagem desse macho reflete particularidades de seu cariótipo, que é diferente do cariótipo da fêmea.

Sistema XV

Na espécie humana, a determinação cromossômica do sexo é conhecida por **sistema XV**, o mesmo observado também em quase todos os mamíferos, em alguns invertebrados - como a drosófila - e em alguns vegetais superiores que possuem plantas com sexos separados. Nesse sistema, além de dois lotes de autossomos, as células somáticas dos machos têm um par de cromossomos sexuais constituído pelos cromossomos X e Y; as células somáticas das fêmeas possuem os mesmos autosomos e mais um par de cromossomos sexuais X.

O cromossomo X é maior que o cromossomo Y e nele há locos que não têm correspondentes no cromossomo Y; apesar de bem menor, o cromossomo Y também possui locos que não têm correspondentes no cromossomo X (figura 1).

No sistema XY, o sexo masculino é heterogamético, isto é, origina dois tipos diferentes de gametas, enquanto o sexo feminino é homogamético, pois todos os gametas femininos contêm o cromossomo X (figura 2).

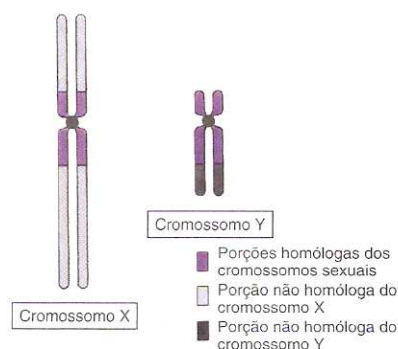


Figura 1 As porções homólogas ou pares dos cromossomos sexuais são aquelas em que há correspondência entre os locos. Nas porções não homólogas ou ímpares, os genes do cromossomo X não ocorrem no Y e vice-versa.

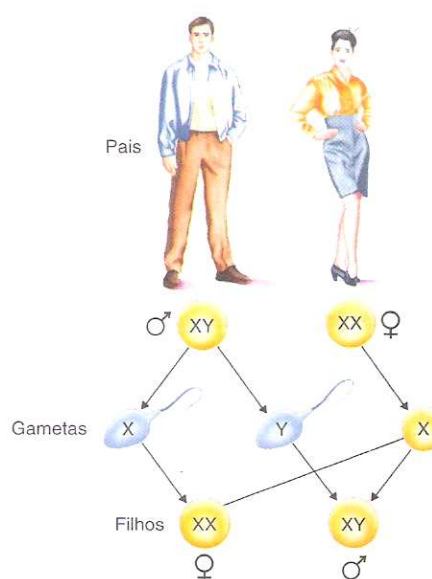


Figura 2 No sistema XY, os gametas masculinos são os responsáveis pela determinação do sexo dos descendentes.

A menina recebe, de seu pai, o cromossomo X, enquanto o menino recebe dele o cromossomo Y. Genes localizados nos cromossomos X não são transmitidos de pai para filho, mas sempre de pai para filha. Por outro lado, genes presentes no cromossomo Y são sempre enviados do pai para seus filhos, mas não para suas filhas.

O nascimento de menino ou menina é apenas uma questão de probabilidade. Henrique VIII, rei da Inglaterra, abandonou algumas esposas que, segundo ele, haviam sido incapazes de lhe dar um menino. Ele não sabia que seus próprios espermatozoides eram responsáveis pela determinação do sexo de seus filhos!

Erros na determinação do sexo

- **Trissomia X** (cariótipo 47, XXX): mulheres cujas células têm três cromossomos X. Podem ser normais e férteis ou, eventualmente, ter

retardo mental.

• **Síndrome de Klinefelter** (47, XXY): homens cujas células apresentam XXY. Têm atrofia testicular e esterilidade, geralmente grande estatura e membros desproporcionalmente longos.

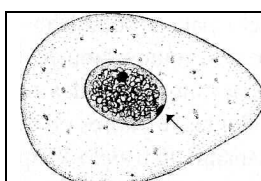
• **Síndrome de Turner** (45, XO): mulheres cujas células possuem apenas um cromossomo X. Ocasionalmente, apresentam retardo mental. Os caracteres sexuais secundários não se desenvolvem e os órgãos genitais permanecem com aspecto infantil.

• **Síndrome do duplo-Y** (47, XYY): homens cujas células têm XYY. São fenotipicamente normais e férteis, geralmente de grande estatura. Esse quadro, de acordo com alguns autores, estaria associado com agressividade e tendência à criminalidade.

Ciência e informação

A cromatina sexual

Em 1961 a pesquisadora inglesa Mary F. Lyon propõe que um dos cromossomos X das células dos embriões femininos sofre inativação ao acaso, ao fim de algumas semanas do desenvolvimento embrionário. Em algumas células, inativa-se o cromossomo X de origem paterna; em outras, o cromossomo X de origem materna. Ao nascimento, as mulheres têm um "mosaico" de células com cromossomo X paterno e células com cromossomo X materno ativos. O cromossomo X condensado se inativa, sendo visualizado geralmente na periferia do núcleo, junto à face interna da carioteca, como um grânulo, conhecido por **cromatina sexual** (ou corpúsculo de Barr). Os glóbulos brancos e as células da mucosa da boca e do sangue são comumente usados na pesquisa da cromatina sexual.



A cromatina sexual (apontada pela seta) é vista como um grânulo denso aderido à face interna da carioteca

A quantidade de corpúsculos de Barr presentes em uma célula depende de quantos cromossomos X ela tem. Independentemente do total de cromossomos X, apenas um é ativo; os demais se inativam, formando corpúsculos de Barr

cariótipo	Fenótipo	Corpúsculo de Barr
46, XY	Homem normal	0
46, XX	Mulher normal	1
45, XO	Síndrome de Turner	0

47, XYY	Síndrome do duplo-Y	0
47, XXY	Síndrome de Klinefelter	1
47, XXX	Trissomia X	2

Sistema XO

O **sistema XO** é responsável pela determinação cromossômica do sexo em muitas espécies de insetos. As células somáticas dos machos possuem dois lotes de autosomos e apenas um cromossomo sexual X. A designação XO indica a falta de um dos cromossomos desse par (figura 3a).

Sistema ZW

Em aves e em lepidópteros (borboletas e mariposas), a determinação cromossômica do sexo baseia-se no **sistema ZW**. As células somáticas dos machos possuem dois lotes de autosomos e um par de cromossomos sexuais iguais, chamados cromossomos Z; as fêmeas têm um par ZW (figura 3b).

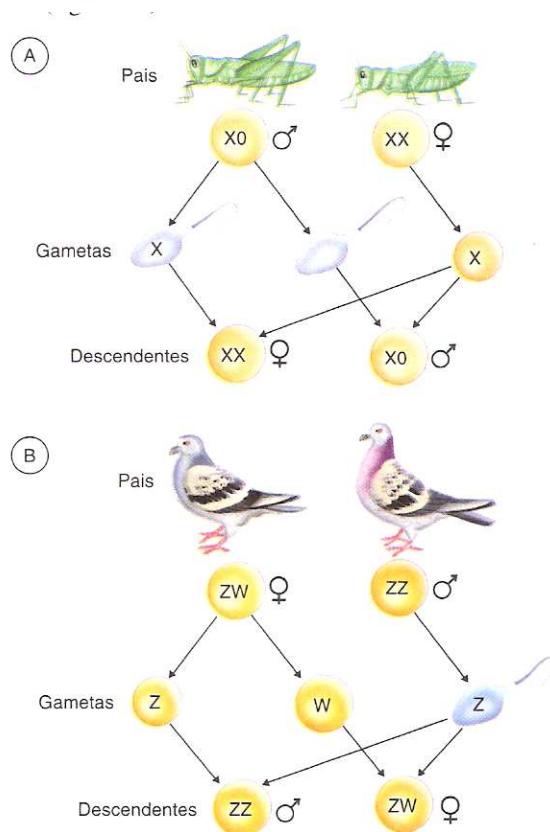


Figura 3 (a) No sistema XO, o sexo heterogamético é o masculino e os espermatozoides determinam o sexo dos descendentes. As fêmeas são homogaméticas. (b) No sistema ZW, as fêmeas são heterogaméticas e os gametas femininos, chamados óvulos, determinam o sexo dos filhotes. Os machos são homogaméticos e todos os espermatozoides têm um cromossomo Z.

Determinação sexual em abelhas

Em abelhas, as fêmeas têm 32 cromossomos nas células somáticas; os zangões, apenas 16. As fêmeas são diplóides, enquanto os machos são haplóides. Óvulos fecundados dão origem a zigotos diplóides que se desenvolvem formando fêmeas; óvulos que se desenvolvem sem ter sido fecundados são haplóides e originam machos partenogenéticos. A diferenciação dos embriões diplóides em rainhas ou operárias resulta do tipo de dieta oferecida.

? Partenogênese (do grego *parthenos*, "virgem", e *genesis*, "origem") é o desenvolvimento de óvulos que não foram fecundados.

Tem mulher sobrando!

Seria cômico se não fosse trágico: faltam homens no Brasil. Segundo dados da contagem populacional feita pelo IBGE (1996), há cerca de 2,2 milhões de mulheres a mais, no país. Dos 157.079.573 brasileiros, cerca de 50,7% representam a parcela feminina. [] Se dependesse da natureza, a igualdade quantitativa entre os sexos existiria sem problemas. Apesar de nascerem mais meninos (e não existem pesquisas que expliquem a razão), eles morrem mais até completarem um ano de vida.

É na faixa etária a partir dos vinte anos que a escassez de homens começa. As brasileiras representam 51 % da população entre vinte e quarenta anos; [...] a partir dos 55 anos, as mulheres alcançam a média de 53,3% da população. A explicação para tanta mulher na terceira idade é que a expectativa de vida das brasileiras é de quase setenta anos, enquanto a dos homens é pouco maior que 61 anos.

Fonte: REZENDE, Rosângela. *O Estado de S. Paulo*. Para obter outros textos publicados pelo jornal *O Estado de S. Paulo*, ou propostas de atividades, consulte o site *Estadão na escola* - www.estadao-escola.com.br.

PARA REFLETIR

1 (Vunesp) Uma revista publicou uma reportagem com o título "Atleta com anomalia genética faz operação para definir seu sexo e pode competir na classe feminina de judô". A matéria dizia, ainda, que a jovem era um caso de pseudohermafroditismo, pois apresentava órgãos sexuais internos masculinos e órgãos sexuais externos femininos. Os testículos da atleta foram extirpados para que ela pudesse competir na equipe feminina de judô.

Sabendo que ela foi considerada do sexo feminino, que teste citogenético você faria para comprovar essa afirmação? Justifique.

2) HERANÇA LIGADA AO SEXO

Na espécie humana, já foram identificadas numerosas características condicionadas por alelos da porção não homóloga do cromossomo X. Essas características constituem a herança ligada ao sexo (ou ligada ao cromossomo X).

Hemofilia A

A coagulação do sangue é uma sequência de reações em cadeia e se uma delas não ocorre, o sangue não coagula. Um dos distúrbios de coagulação é a hemofilia A, causada pela deficiência do fator VIII, um dos intermediários dessa sequência de reações.

Esse distúrbio é determinado pelo alelo recessivo X^h , localizado na porção não homóloga do cromossomo X. O alelo dominante X^H determina a presença do fator VIII em quantidade normal.

Genótipo	Fenótipo
$X^H Y$	Homem normal
$X^h Y$	Homem hemofílico
$X^H X^H$	Mulher normal
$X^H X^h$	Mulher normal (portadora)
$X^h X^h$	Mulher hemofílica

A incidência da hemofilia A é de aproximadamente um caso em cada vinte mil pessoas. Mulheres hemofílicas são ainda mais raras, o que se explica pela necessidade da presença do alelo X^H em duplicata para que a doença se manifeste em um cariótipo XX.

É idéia geral que as mulheres hemofílicas morrem nas primeiras menstruações, o que é falso! A interrupção do fluxo menstrual ocorre por contração dos vasos e regeneração do endométrio e não por formação de coágulos intra-uterinos. Além disso, se a causa da raridade de mulheres hemofílicas fosse essa, não haveria mulheres hemofílicas, mas seriam encontradas meninas hemofílicas!

As mulheres de genótipo $X^H X^h$ são fenotipicamente normais, mas portadoras do alelo para a hemofilia A. Como esse alelo está localizado no cromossomo X, há 50% de probabilidade de que seja transmitido das mulheres portadoras para os descendentes, meninos ou meninas. Os homens hemofílicos transmitem o alelo X^h apenas para as filhas; para os filhos, transmitem o cromossomo Y (figura 4).

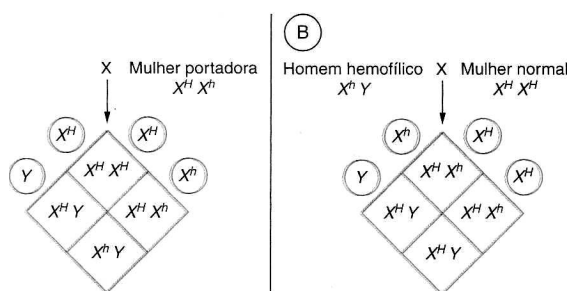


Figura 4 (a) Mulher portadora do alelo da hemofilia A pode transmiti-lo para seus descendentes: as filhas que receberem o alelo X^h serão portadoras; os filhos serão hemofílicos. (b) Homem hemofílico transmite esse alelo para todas as filhas, que serão portadoras, e para nenhum dos filhos, que serão todos normais.

Daltonismo

o **daltonismo** é uma doença determinada por um alelo recessivo da porção não homóloga do cromossomo X. Daltônicos são incapazes de distinguir cores, geralmente o verde e o vermelho. O diagnóstico pode ser confirmado pela utilização de pranchas coloridas.

A herança do daltonismo é semelhante à da hemofilia: há um alelo recessivo da porção não homóloga do cromossomo X - o alelo X^d - que, estando presente em dose dupla nas mulheres, determina a ocorrência do daltonismo; nos homens, basta um alelo no cromossomo X para que a doença se manifeste.

Genótipo	fenótipo
$X^D Y$	Homem normal
$X^d Y$	Homem daltônico
$X^D X^D$	Mulher normal
$X^D X^d$	Mulher normal (portadora)
$X^d X^d$	Mulher daltônica

O número de homens daltônicos é superior ao de mulheres daltônicas, pelo motivo já exposto para a hemofilia A. Entretanto a ocorrência de mulheres daltônicas não é tão raro: em média, a frequência de homens daltônicos é de 1 em cada 15, enquanto a de mulheres daltônicas é de cerca de 1 em cada 225.

Pistas para reconhecer características recessivas ligadas ao sexo:

- Mulheres afetadas são raras.
- Homens afetados são filhos de homens normais.
- Em uma descendência, as proporções de homens e de mulheres afetados geralmente são diferentes.
- Casal formado por homem afetado e

mulher normal tem descendência diferente de homem normal e mulher afetada.

3) OUTRAS HERANÇAS RELACIONADAS COM O SEXO

Herança restrita ao sexo

Alelos holândricos localizam-se na porção não homóloga do cromossomo Y e, portanto, não estão presentes nas mulheres. Um alelo holândrico bastante conhecido é o que provoca a **hipertricose**, presença de grande quantidade de pêlos nas narinas e nas orelhas.

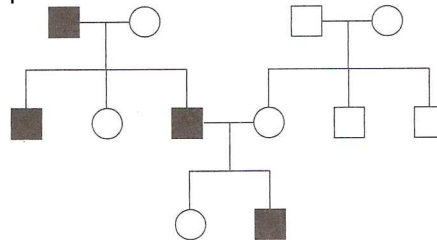


Figura 6 O alelo determinante da hipertricose é transmitido de um homem afetado para todos os filhos e para nenhuma filha.

Dominância influenciada pelo sexo

Em sua forma clássica, a calvície é determinada por um alelo autossômico cuja dominância depende do sexo: nos homens, comporta-se como dominante; nas mulheres, como recessivo

C^1 - calvície

C^2 - fenótipo normal

Genótipo	Homem	mulher
$C^1 C^1$	Calvo	Calva
$C^1 C^2$	Calvo	Normal
$C^2 C^2$	Normal	Normal

Homens homozigotos ou heterozigotos apresentam calvície depois de certa idade; mulheres heterozigotas são normais; mulheres homozigotas para o alelo o da calvície manifestam-na em graus variados, mas o fenótipo nunca é tão pronunciado como nos homens.

Expressão gênica limitada ao sexo

Uma característica marcante do gado bovino da raça holandesa é a grande produção de leite. O patrimônio hereditário que determina essa aptidão está presente também nos machos. Um touro da raça holandesa, por exemplo, transmite para as descendentes alelos que garantem boa produtividade leiteira, os quais nele não se manifestam. Fatores anatômicos e hormonais fazem com que essa manifestação fenotípica seja restrita aos indivíduos do sexo feminino.

Atividades complementares.

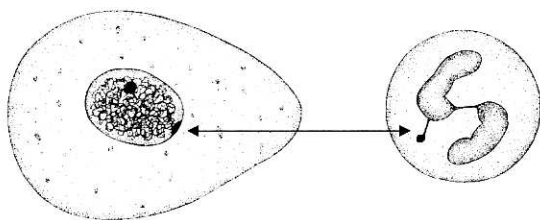
1 (Fuvest-SP) Um homem com cariótipo 47, XYY pode originar-se da união de dois gametas, um com 24 cromossomos e outro com 23. O gameta anormal:

- a) é um óvulo.
- b) é um espermatozóide.
- c) pode ser um óvulo ou um espermatozóide.
- d) é uma ovogônia.
- e) é uma espermatogônia.

2 (Fuvest-SP) Em certa espécie de abelhas, as células somáticas das fêmeas apresentam 32 cromossomos, enquanto as do macho apresentam 16 cromossomos.

- a) Explique a origem das fêmeas e dos machos com esse número de cromossomos.
- b) Se uma abelha operária tem o alelo *a* herdado de seu pai, qual é a probabilidade de que uma irmã sua tenha esse mesmo alelo *a*? Por quê?

3 (F. F. O. Diamantina-MG) A estrutura apontada nas duas células humanas encontra-se em:



todas as células haplóides de indivíduos dessa espécie.

- a) apenas células sanguíneas e epiteliais de todos os humanos.
- b) células de indivíduos do sexo masculino e cariótipo triploide.
- c) células de indivíduos do sexo feminino e cariótipo normal.
- d) células de portadores de síndrome de Turner e trissomia do 21º par.

4 (Vunesp) A análise dos núcleos interfásicos de células da mucosa oral de uma mulher, fenotipicamente normal, revelou a existência de duas cromatinas sexuais em todos eles.

- a) Quantos cromossomos X tem essa mulher?
- b) Se ela se casar com um homem normal, qual a probabilidade de ter um descendente com constituição cromossômica igual à sua?

5 (Fuvest-SP) Com relação à espécie humana, pergunta-se:

- a) Por que é o pai quem determina o sexo da prole?
- b) Por que filho homem de pai hemofílico nunca herda essa característica do pai?

6 (Fuvest-SP) Pedro e seus filhos, João e Maria, têm uma doença determinada por um alelo dominante. Não há outros afetados na família. Esse alelo:

- a) deve estar no cromossomo X.
- b) deve estar no cromossomo Y.
- c) deve estar num autossomo.
- d) pode estar no cromossomo X ou no Y.
- e) pode estar no cromossomo X ou num autossomo.

7 (Fuvest-SP) Por que os genes ligados ao sexo são mais facilmente localizáveis?

8 (Fuvest-SP) Um homem afetado por uma doença genética muito rara, de herança dominante, casa-se com uma mulher normal, não consanguínea. Imagine que o casal tenha doze descendentes, seis filhos e seis filhas. Responda, justificando sua resposta, qual será a proporção esperada de filhas e filhos afetados pela doença do pai no caso de o alelo em questão estar localizado:

- a) em um autossomo; b) no cromossomo X.

9 (ESPM-SP) Um homem normal, cujo pai era daltônico, casa-se com uma mulher normal, que tinha pai normal e mãe daltônica. Qual é a probabilidade de esse casal ter filhas daltônicas?

10 (PUC-SP) No filme *O óleo de Lorenzo*, o personagem principal apresenta uma anomalia neurológica determinada por um alelo que é transmitido pelas mães a crianças do sexo masculino. As mães, embora portadoras do alelo, não apresentam a doença.

- a) Em que cromossomo está localizado o referido alelo? Esse alelo é dominante ou recessivo? Justifique sua resposta.
- b) Cite duas outras anomalias da espécie humana que tenham esse mesmo modo de transmissão.

11 (Fuvest-SP) O raquitismo resistente à vitamina D é uma doença hereditária. Na prole de homens afetados, todas as meninas são afetadas e todos os meninos são normais. Qual o tipo de herança dessa doença?

12 (Fuvest-SP) Um casal normal para pigmentação da pele e para visão de cores (não daltônico) teve os dois primeiros filhos do sexo masculino, sendo o primeiro daltônico. Os dois últimos filhos foram do sexo feminino, sendo a terceira albina e a quarta normal. Construa o heredograma da família e marque os possíveis genótipos dos pais e dos quatro filhos.

13 (Fuvest-SP) O daltonismo é uma característica de herança recessiva ligada ao X. Uma menina tem síndrome de Turner (cariótipo

45, X) e é daltônica. Seus pais têm visão normal para cores.

Qual dos genitores deve ter contribuído com o gameta sem cromossomo sexual? Explique por quê.

14) (Unicamp-SP) Considerando que, em aves, o sexo heterogamético é o feminino, qual a proporção entre machos e fêmeas que se espera na descendência de um macho portador de alelo letal (embrionariamente), recessivo e ligado ao sexo?

15) (UFPA) A hipemicose auricular é condicionada por um alelo localizado na parte não homóloga do cromossomo Y (alelo holandrico). Um homem, cujo avô paterno tinha hipertricose, casa-se com mulher normal e sem hipertricose na família. Esse casal tem descendentes com os seguintes fenótipos:

- a) todas as mulheres são portadoras e todos os homens apresentam hipertricose.
- b) todas as mulheres são normais e todos os homens apresentam hipertricose.
- c) 50% das mulheres e dos homens apresentam hipertricose.
- d) 100% das mulheres são normais, enquanto 25% dos homens apresentam hipertricose.
- e) todas as mulheres apresentam hipertricose.

16) (PUC-RJ) Um rapaz calvo, intrigado pelo fato de não ter pais ou irmãos calvos, procurou um geneticista, que lhe disse ser provável que ele tenha recebido o alelo determinante da calvície de sua mãe, embora ela não seja calva. Essa resposta baseia-se no fato de que o alelo da calvície:

- a) é autossômico, tendo sua manifestação influenciada pelo sexo.
- b) é autossômico, mas apenas se manifesta na presença de alelos localizados no cromossomo Y.
- c) é ligado ao cromossomo X e, portanto, somente sua mãe poderia ter-lhe mandado.
- d) é ligado ao cromossomo Y paterno, mas é recessivo.
- e) é atávico e deve ter vindo do avô paterno.

17) A calvície é determinada por um alelo que se comporta como dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Um homem normal casa-se com uma mulher normal cuja mãe era calva. Qual é a probabilidade de que esse casal tenha descendentes calvos? Mostre como chegou ao resultado.