

2ª Lei de Mendel

Quando são analisadas características determinadas por apenas um par de genes alelos, ou seja, quando há no genótipo apenas um par de genes alelos, está-se diante de uma situação de mono-hibridismo. Ao observar, simultaneamente, características determinadas por dois pares de genes alelos, fala-se em di-hibridismo; se forem analisadas, simultaneamente, características determinadas por três pares de genes alelos, haverá um tri-hibridismo, e assim por diante. Analisando-se, ao mesmo tempo, características determinadas por vários pares de genes alelos, fala-se em poli-hibridismo.

Quando dois ou mais pares de genes alelos estiverem localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, tem-se um caso de segregação independente. A transmissão das características condicionadas por dois ou mais pares de genes que se segregam independentemente obedece à 2ª Lei de Mendel.

2ª LEI DE MENDEL

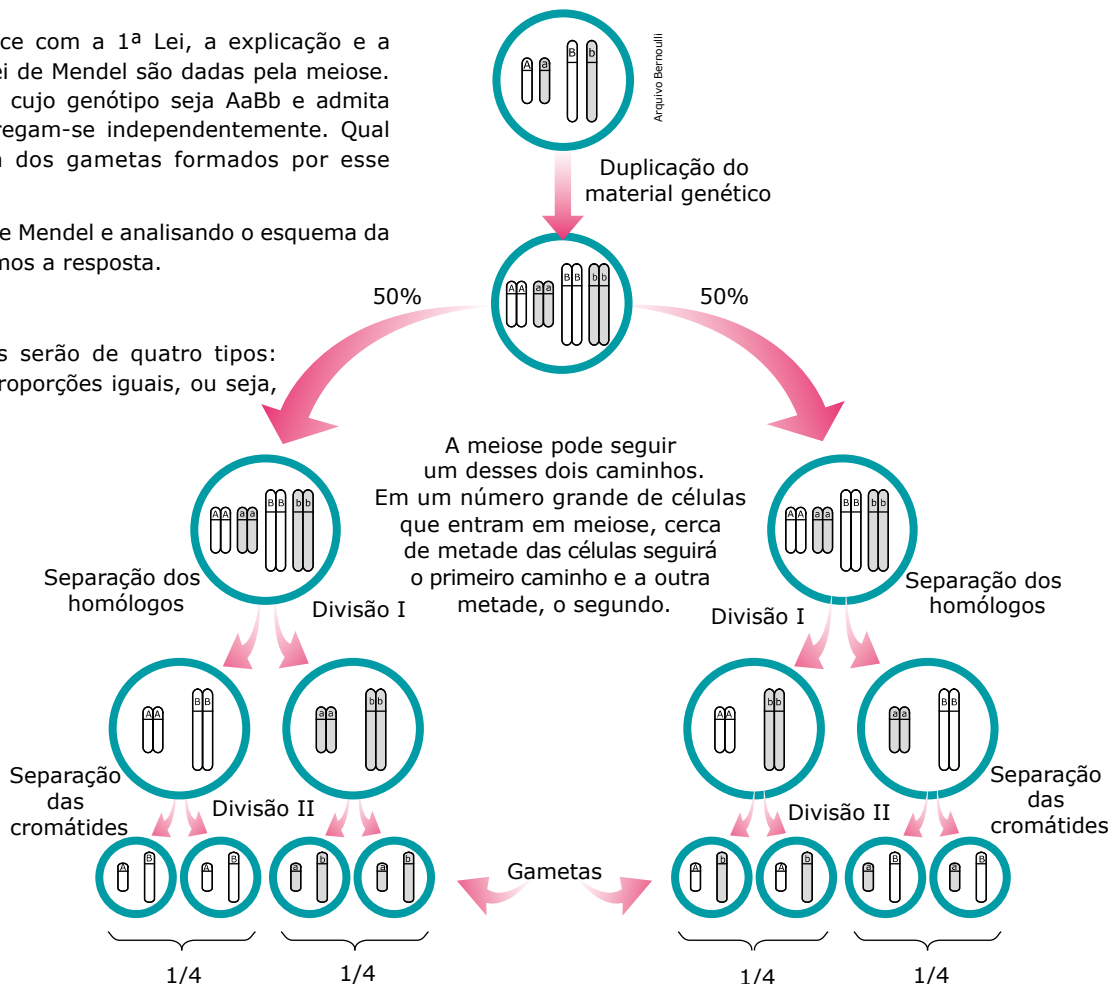
Conhecida também por **lei da segregação independente dos fatores**, a **2ª Lei de Mendel** pode ser assim enunciada: "Fatores (genes) que condicionam dois ou mais caracteres segregam-se (separam-se) independentemente durante a formação dos gametas (gametogênese), recombinando-se ao acaso, de maneira a estabelecer todas as possíveis combinações entre si."

Assim como acontece com a 1ª Lei, a explicação e a compreensão da 2ª Lei de Mendel são dadas pela meiose. Imagine um indivíduo cujo genótipo seja AaBb e admita que esses genes segregam-se independentemente. Qual a constituição gênica dos gametas formados por esse indivíduo?

Aplicando a 2ª Lei de Mendel e analisando o esquema da figura ao lado, obteremos a resposta.

Resposta:

Os gametas formados serão de quatro tipos: AB, ab, Ab e aB em proporções iguais, ou seja, 1/4 (25%) de cada.



Di-hibridismo com segregação independente

Quando se analisam, simultaneamente, as características condicionadas por dois pares de genes alelos localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, temos uma situação de di-hibridismo com segregação independente. Nesse caso, a transmissão desses genes e as respectivas características que determinam obedecem à 2ª Lei de Mendel.

Veja a seguir um exemplo de aplicação da 2ª Lei de Mendel no di-hibridismo com segregação independente.

Em ervilhas, o gene V condiciona a formação de sementes amarelas, enquanto o seu alelo v determina a formação de sementes de cor verde; o gene R é responsável pelo aspecto liso das sementes, enquanto o seu alelo r condiciona a formação de sementes de aspecto rugoso. Considerando-se que, entre os genes V e v e entre os genes R e r, existe uma dominância absoluta e que esses dois pares de genes se segregam independentemente, pergunta-se: quais os fenótipos e respectivas proporções esperadas para os descendentes do cruzamento de duas ervilhas, ambas de sementes amarelas e lisas, duplamente heterozigotas?

Resolução:

As ervilhas cruzadas, sendo de sementes amarelas e lisas, duplamente heterozigotas, têm os seguintes genótipos: VvRr e VvRr, formando, cada uma, os seguintes tipos de gametas: VR, Vr, vR e vr.

Fazendo-se as combinações possíveis entre os gametas formados pelas duas ervilhas, encontra-se o seguinte:

| Gametas | VR (1/4) | Vr (1/4) | vR (1/4) | vr (1/4) |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| VR (1/4) | VVRR (1/16) | VVRr (1/16) | VvRR (1/16) | VvRr (1/16) |
| Vr (1/4) | VVRr (1/16) | VVrr (1/16) | VvRr (1/16) | Vvrr (1/16) |
| vR (1/4) | VvRR (1/16) | VvRr (1/16) | vvRR (1/16) | vvRr (1/16) |
| vr (1/4) | VvRr (1/16) | Vvrr (1/16) | vvRr (1/16) | vvrr (1/16) |

O genograma mostra que existem 16 combinações possíveis entre os gametas das duas ervilhas. A análise dos diferentes genótipos obtidos permite o estabelecimento da seguinte relação entre os descendentes desse cruzamento:

- Sementes amarelas e lisas = VVRR (1/16) + VVRr (2/16) + VvRR (2/16) + VvRr (4/16) = 9/16
(1/16 + 2/16 + 2/16 + 4/16 = 9/16)
- Sementes amarelas e rugosas = VVrr (1/16) + Vvrr (2/16) = 3/16
(1/16 + 2/16 = 3/16)
- Sementes verdes e lisas = vvRR (1/16) + vvRr (2/16) = 3/16
(1/16 + 2/16 = 3/16)
- Sementes verdes e rugosas = vvrr (1/16) = 1/16

Resposta:

Serão obtidos 9/16 de sementes amarelas e lisas, 3/16 de sementes amarelas e rugosas, 3/16 de sementes verdes e lisas e 1/16 de sementes verdes e rugosas. Pode-se também dizer que a proporção fenotípica esperada entre os descendentes é de 9 : 3 : 3 : 1. Esse mesmo resultado também pode ser obtido analisando-se separadamente as duas características em questão (cor das sementes e aspecto das sementes) e, no fim, juntando as probabilidades encontradas separadamente, multiplicando-se uma pela outra, conforme mostra o esquema a seguir:

| VvRr x VvRr | |
|--|--|
| Considerando apenas a característica cor das sementes, o cruzamento é: | Considerando apenas a característica textura da semente, o cruzamento é: |
| | |
| 3/4 sementes amarelas 1/4 sementes verdes | 3/4 sementes lisas 1/4 sementes rugosas |
| Juntando-se as probabilidades obtidas separadamente das duas características, temos: Sementes amarelas (3/4) e lisas (3/4) = (3/4) x (3/4) = 9/16 Sementes amarelas (3/4) e rugosas (1/4) = 3/16 Sementes verdes (1/4) e lisas (3/4) = 3/16 Sementes verdes (1/4) e rugosas (1/4) = 1/16 | |

OBSERVAÇÃO

Analisar as duas características separadamente, como se fossem casos isolados de monoibridismo e, no fim, juntá-las é um recurso que só pode ser usado quando se estiver diante de um caso de segregação independente.

Tri-hibridismo com segregação independente

A análise simultânea de características determinadas por três pares de genes alelos, localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, consiste num caso de tri-hibridismo com segregação independente. A transmissão desses genes também obedece à 2ª Lei de Mendel. Veja o exemplo a seguir:

Um homem de genótipo AaCcMm casa-se com uma mulher cujo genótipo é AAccMm. Considere os seguintes dados: o gene A determina a pigmentação da pele, enquanto o seu alelo recessivo a é responsável pela apigmentação (albinismo); o gene C determina a formação de olhos escuros, enquanto o seu alelo recessivo c condiciona olhos claros; o gene M faz com que o indivíduo tenha uma visão normal, enquanto o seu alelo m condiciona a miopia. Considerando também que esses três pares de genes se segregam independentemente, vamos responder qual é a probabilidade de o casal vir a ter uma criança pigmentada, de olhos claros e míope.

Resolução:

Como se trata de um caso de segregação independente, podemos analisar separadamente as três características em questão e juntá-las ao fim conforme mostra o esquema:

| AaCcMm x AAccMm | | |
|---|--|--|
| Considerando apenas a característica pigmentação ou não da pele, temos o seguinte cruzamento: | Considerando apenas a característica olhos escuros ou claros, temos o seguinte cruzamento: | Considerando apenas a característica visão normal ou não, temos o seguinte cruzamento: |
| | | |
| Pigmentado → 4/4 = 1 Apigmentado → 0 (zero) | Olhos escuros → 1/2 Olhos claros → 1/2 | Visão normal → 3/4 Míope → 1/4 |
| Juntando-se os resultados obtidos separadamente, a probabilidade de o casal ter uma criança pigmentada (1), de olhos claros (1/2) e míope (1/4) será: $1 \cdot 1/2 \cdot 1/4 = 1/8$. | | |

Para os casos de segregação independente envolvendo a participação de mais de três pares de genes alelos, isto é, casos de poli-hibridismo, procede-se de maneira semelhante ao que foi feito para o di e o tri-hibridismo.

A partir do conhecimento do genótipo, pode-se calcular rapidamente o número de tipos de gametas que o indivíduo produz por meio da seguinte fórmula: 2^n , em que n representa o número de caracteres portadores de genótipos heterozigotos. Veja os exemplos:

| | |
|----------------------------|--|
| Indivíduos Aa | Há apenas um genótipo heterozigoto: Aa. Portanto, $n = 1$. Logo, o número de tipos de gametas será: $2^1 = 2$. O indivíduo, então, formará 2 tipos de gametas: A e a. |
| Indivíduos AaBb | Existem dois genótipos heterozigotos: Aa e Bb. Portanto, $n = 2$. Logo, o número de tipos de gametas será: $2^2 = 4$. AB, Ab, aB e ab. |
| Indivíduos AaBBCcDd | Existem três genótipos heterozigotos: Aa, Cc e Dd. Portanto, $n = 3$. Logo, o número de gametas será: $2^3 = 8$. Assim, o indivíduo formará 8 tipos de gametas: ABCD, ABCd, ABcD, aBCD, aBCd, aBcD, aBcd. |

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (Insper-SP-2018) Gregor Mendel demonstrou, por meio de cruzamentos em ervilhas, a segregação independente de características genéticas, como as observadas na cor e na textura das sementes produzidas por essa planta.

Considerando como dominantes os fenótipos amarelo e liso; e como recessivos os fenótipos verde e rugoso, pode-se afirmar que o cruzamento, entre plantas produtoras de ervilhas, responsável por gerar apenas indivíduos duplo-heterozigotos em F_1 para os fenótipos citados, é:

- A) $VVRR \times VvRr$ D) $VvRr \times VvRr$
 B) $VvRr \times vvrr$ E) $vvRr \times Vvrr$
 C) $VVrr \times vvRR$

02. (Mackenzie-SP) Em cobaias, a pelagem preta é condicionada por um alelo dominante sobre o alelo que condiciona pelagem marrom; o alelo que condiciona pelo curto é dominante sobre o que condiciona pelo longo. Uma fêmea de pelo marrom curto, que já tinha tido filhotes de pelo longo, foi cruzada com um macho diíbrido. Entre os filhotes produzidos, a proporção esperada de indivíduos com pelagem preta e curta é de:

- A) 7/8 D) 1/4
 B) 1/2 E) 3/8
 C) 1/8

03. (UFPA) Do cruzamento de um di-híbrido ($AaBb$) com um duplamente homocigoto ($aabb$) resultaram 160 descendentes. A proporção esperada de descendentes com o genótipo igual ao do pai diíbrido é de



- A) 6,25%. C) 25%. E) 56,25%.
 B) 18,75%. D) 50%.

04. (FUVEST-SP) O cruzamento entre duas linhagens de ervilhas, uma com sementes amarelas e lisas ($VvRr$) e outra com sementes amarelas e rugosas ($Vvrr$), originou 800 indivíduos. Quantos indivíduos devem ser esperados para cada um dos fenótipos indicados na tabela?



| | Amarelas lisas | Amarelas rugosas | Verdes lisas | Verdes rugosas |
|----|----------------|------------------|--------------|----------------|
| A) | 80 | 320 | 320 | 80 |
| B) | 100 | 100 | 300 | 300 |
| C) | 200 | 200 | 200 | 200 |
| D) | 300 | 300 | 100 | 100 |
| E) | 450 | 150 | 150 | 50 |

05. (UFU-MG) Em experimentos envolvendo três características independentes (tri-hibridismo), se for realizado um cruzamento entre indivíduos $AaBbCc$, a frequência de descendentes $AABbcc$ será igual a:

- A) 8/64 C) 3/64 E) 1/32
 B) 1/16 D) 1/4

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (PUC-Campinas-SP) Um homem tem surdez congênita devido a um alelo recessivo em homocigose no gene A. Ele se casou com uma mulher com surdez congênita de herança autossômica recessiva devido a um alelo recessivo no gene B. O filho do casal nasceu com audição normal. O genótipo dessa criança é

- A) $aaBB$. C) $AaBb$. E) $aabb$.
 B) $aaBb$. D) $Aabb$.

02. (UEA-AM) Em seus experimentos de hibridização envolvendo cruzamentos entre ervilhas, *Pisum sativum*, Gregor Mendel analisou diversas características hereditárias condicionadas por "fatores", os quais são atualmente denominados genes alelos.

O alelo B condiciona plantas altas, e o alelo b plantas baixas. O alelo T condiciona a posição axial da flor, e o alelo t a posição terminal. Tais alelos são autossômicos e segregam de maneira independente.

Um cruzamento entre indivíduos com os genótipos $bbTt$ e $Bbtt$ gera em F_1 plantas altas com flores axiais; plantas baixas com flores axiais; plantas altas com flores terminais; e plantas baixas com flores terminais, respectivamente, na proporção

- A) 9 : 3 : 3 : 1. D) 1 : 3 : 1 : 3.
 B) 1 : 1 : 1 : 1. E) 3 : 3 : 1 : 1.
 C) 3 : 1 : 3 : 1.

03. (UFRGS-RS) Indivíduos com os genótipos $AaBb$, $AaBB$, $AaBbCc$, $AaBBcc$, $AaBbcc$ podem formar, respectivamente, quantos tipos de gametas diferentes?



- A) 4 - 4 - 8 - 8 - 8 D) 4 - 2 - 8 - 2 - 4
 B) 4 - 2 - 8 - 4 - 4 E) 2 - 4 - 16 - 4 - 8
 C) 2 - 4 - 16 - 8 - 8

04. (UECE) Como dinâmica de aula durante a exposição do assunto genética mendeliana, a professora construiu o seguinte modelo para demonstrar a 2ª Lei de Mendel:

| | RV | Rv | rV | rv |
|----|------|------|------|------|
| RV | RRVV | RRVv | RrVV | RrVv |
| Rv | RRVv | RRvv | RrVv | Rrvv |
| rV | RrVV | RrVv | rrVV | rrVv |
| rv | RrVv | Rrvv | rrVv | rrvv |

Se o R é o gene dominante que expressa uma característica semente do tipo lisa; o r o gene recessivo que expressa uma característica semente do tipo rugosa; V o gene dominante que expressa a característica cor verde da semente e v o gene recessivo que expressa a característica cor amarela, então é correto afirmar que

- A) em um cruzamento do tipo RRVv × RRVV os descendentes serão todos sementes lisas e amarelas.
 B) no cruzamento R_V_ × RRVV pode-se determinar os genótipos possíveis.
 C) todas as sementes verdes do cruzamento RrVv × RrVv são lisas.
 D) a leitura da proporção para o cruzamento exemplificado no quadro acima é de 9 : 3 : 2 : 1.

05. IDOS



(PUC RS) Quantos tipos de gametas deverá formar um descendente do cruzamento AABCCDDEE × aabbccdee?

- A) 84 C) 46 E) 24
 B) 76 D) 32

06. AHUN



(PUC Rio-2017) Uma linhagem pura de uma variedade de ervilhas de sementes lisas (gene dominante) e flores brancas (gene recessivo) foi cruzada com outra linhagem pura de uma variedade de sementes rugosas (gene recessivo) e de flores roxas (gene dominante). Caso os híbridos sejam fecundados posteriormente, a proporção de indivíduos com sementes rugosas e flores brancas será a seguinte:

- A) 1/16 C) 3/16 E) 9/16
 B) 2/16 D) 6/16

07. WZHP



(UDESC) Em uma espécie de inseto, o tamanho e a formação das asas são determinados geneticamente. O gene que “determina o tamanho das asas” (longas, curtas ou intermediárias) possui dois alelos sem relação de dominância entre si. O gene que determina o desenvolvimento das asas também possui dois alelos; o dominante determina o aparecimento das asas, o recessivo a ausência destas. Vários casais de insetos, duplo heterozigoto, são cruzados e obtém-se um total de 2 048 descendentes.

Assinale a alternativa que indica, deste total, o número esperado de insetos com asas intermediárias.

- A) 128 insetos D) 512 insetos
 B) 384 insetos E) 1 024 insetos
 C) 768 insetos

08.

(UEG-GO) Nos experimentos de Mendel, ervilhas homocigotas lisas e amarelas (RRVV) passaram por cruzamento com ervilhas verdes e rugosas (rrvv), cuja primeira geração filial (F1) foi 100% composta de ervilhas lisas e amarelas (RrVv).

| F ₂ | | Gametas femininos | | | |
|--------------------|----|-------------------|------|------|------|
| | | RV | Rv | rV | rv |
| Gametas masculinos | RV | RRVV | RRVv | RrVV | RrVv |
| | Rv | RRVv | RRvv | RrVv | Rrvv |
| | rV | RrVV | RrVv | rrVV | rrVv |
| | rv | RrVv | Rrvv | rrVv | rrvv |

Sobre o cruzamento F1 × F1, representado no quadro de Punnett anteriormente, conclui-se o seguinte:

- A) A proporção fenotípica foi 9 : 3 : 3 : 1, na qual o número 9 representa a ocorrência de dois fenótipos dominantes na mesma semente e está indicada no quadro.
 B) A aplicação da regra da soma para análise das frequências gaméticas masculina e feminina demonstra matematicamente que se trata da 1ª Lei de Mendel.
 C) A prevalência do cruzamento de diíbridos em que os pares de alelos nos cromossomos não homólogos permanecem ligados está indicado no quadro.
 D) A ausência de recombinação meiótica, seguida de segregação dos cromossomos homólogos na metáfase II, justifica os resultados de Mendel.

09.

(UFRGS-RS-2018) A mosca *Drosophila melanogaster* é um organismo modelo para estudos genéticos e apresenta alguns fenótipos mutantes facilmente detectáveis em laboratório. Duas mutações recessivas, observáveis nessa mosca, são a das asas vestigiais (v) e a do corpo escuro (e).

Após o cruzamento de uma fêmea com asas vestigiais com um macho de corpo escuro, foi obtido o seguinte:

F1 – todos os machos e fêmeas com fenótipo selvagem.
 F2 – 9/16 selvagem; 3/16 asas vestigiais; 3/16 corpo escuro; 1/16 asas vestigiais e corpo escuro.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações a seguir, referentes aos resultados obtidos para o cruzamento descrito.

- () As proporções fenotípicas obtidas em F2 indicam ausência de dominância, pois houve alteração nas proporções esperadas.
 () Os resultados obtidos em F2 indicam um di-hibridismo envolvendo dois genes autossômicos com segregação independente.
 () As proporções obtidas em F2 estão de acordo com a Segunda Lei de Mendel ou Princípio da Segregação Independente dos Caracteres.
 () Os pares de alelos desses genes estão localizados em cromossomos homólogos.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- A) V – V – F – F. D) F – F – V – V.
 B) V – F – V – F. E) F – V – V – F.
 C) V – F – F – V.

10. (UFRGS-RS) No milho, grãos de coloração púrpura são dominantes em relação a amarelos, e grãos cheios são dominantes em relação a murchos. Do cruzamento entre duas plantas, foi obtida uma prole com as seguintes proporções: 25% de grãos púrpura e cheios; 25% de grãos amarelos e cheios; 25% de grãos púrpura e murchos; 25% de grãos amarelos e murchos.

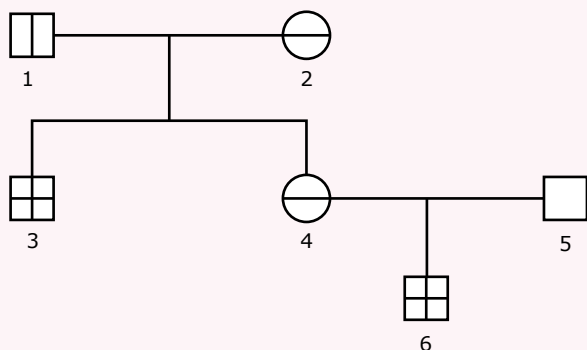
Sabendo que uma das plantas parentais era totalmente homocigota, assinale a alternativa correta.

- A) Os dois genes citados não estão segregando de forma independente.
- B) A planta homocigota era dominante para as duas características.
- C) Uma das plantas parentais era heterocigota para as duas características.
- D) A prole seria mantida na proporção 1 : 1 : 1 : 1, se as duas plantas parentais fossem duplo heterocigotas.
- E) Os resultados obtidos são fruto de recombinação genética.

11. (UNIVAG) Um organismo heterocigoto para dois pares de alelos, com segregação independente, foi fecundado por um organismo homocigoto recessivo para os mesmos pares. Sabendo que tal cruzamento gerou 1 600 descendentes, o número de indivíduos, duplo heterocigotos e duplo recessivos, respectivamente, é

- A) 800 e 800.
- B) 400 e 400.
- C) 1 600 e 0.
- D) 900 e 100.
- E) 1 500 e 100.

12. (Fatec-SP) Sabendo-se que a miopia e o uso da mão esquerda são condicionados por genes autossômicos recessivos, considere a genealogia a seguir:



| | | |
|--|--|-------------------------|
| | | Canhoto de visão normal |
| | | Destro e míope |
| | | Destro de visão normal |
| | | Canhoto e míope |

Indique a alternativa correta.

- A) O indivíduo 2 deve ser heterocigoto para os alelos dessas duas características.

- B) O indivíduo 3 deve ter herdado os alelos dessas duas características apenas de sua mãe.
- C) A probabilidade de o casal 1 x 2 ter uma criança destra e de visão normal é de 1/4.
- D) Todos os descendentes de pai míope e canhoto possuem essas características.
- E) A probabilidade de o casal 4 x 5 ter uma criança míope e canhota é de 3/8.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem) A mosca *Drosophila*, conhecida como mosca-das-frutas, é bastante estudada no meio acadêmico pelos geneticistas. Dois caracteres estão entre os mais estudados: tamanho da asa e cor do corpo, cada um condicionado por gene autossômico. Em se tratando do tamanho da asa, a característica asa vestigial é recessiva e a característica asa longa, dominante. Em relação à cor do indivíduo, a coloração cinza é recessiva e a cor preta, dominante.

Em um experimento, foi realizado um cruzamento entre indivíduos heterocigotos para os dois caracteres, do qual foram geradas 288 moscas. Dessas, qual é a quantidade esperada de moscas que apresentam o mesmo fenótipo dos indivíduos parentais?

- A) 288
- B) 162
- C) 108
- D) 72
- E) 54

SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

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

Propostos

Acertei _____ Errei _____

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

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %