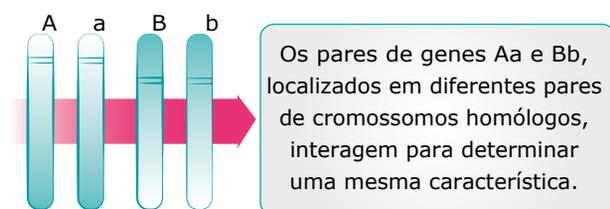


Genética: Interação Gênica

A interação gênica entre genes não alelos consiste no fenômeno em que dois ou mais pares de genes agem conjuntamente para determinar uma única característica. Trata-se, portanto, de um fenômeno inverso ao da pleiotropia.



Existem diferentes tipos de interação entre genes não alelos. Um bom exemplo disso é o tipo de crista em galináceos domésticos. Para essa característica, os galináceos podem apresentar quatro tipos diferentes de cristas: crista ervilha, crista rosa, crista simples e crista noz conforme mostra a ilustração a seguir:



Arquivo Bernoulli

O tipo de crista depende da interação dos pares de genes – R / r e E / e – conforme descrito a seguir.

- **Crista ervilha:** O galináceo precisa ter, no seu genótipo, a presença de pelo menos um gene E e a ausência do gene R.
- **Crista rosa:** O galináceo precisa ter, no seu genótipo, a presença de pelo menos um gene R e a ausência do gene E.
- **Crista noz:** O galináceo precisa ter, no seu genótipo, a presença de pelo menos um gene R e pelo menos um gene E.
- **Crista simples:** o genótipo do galináceo não pode ter nenhum gene R e nenhum gene E.

Assim, conclui-se que os possíveis genótipos e respectivos fenótipos para a característica do tipo de crista em galináceos domésticos são:

| Genótipos | Fenótipos |
|-----------|-----------------------|
| | <p>Crista ervilha</p> |
| | <p>Crista rosa</p> |
| | <p>Crista noz</p> |
| | <p>Crista simples</p> |

Arquivo Bernoulli

Veja o exemplo a seguir.

- Um macho de crista rosa duplamente homocigoto é cruzado com uma fêmea de crista noz duplamente heterocigota. Quais são os possíveis fenótipos dos descendentes desse cruzamento e respectivas proporções?

Resolução:

Sendo o macho de crista rosa duplamente homocigoto, seu genótipo é RRee. Sendo a fêmea de crista noz duplamente heterocigota, seu genótipo é RrEe. Então, o cruzamento em questão é RRee x RrEe.

Ao se separar os possíveis gametas formados pelo macho e pela fêmea, encontra-se o seguinte:

| Gametas masculinos | Gametas femininos |
|--------------------|-------------------|
| Re (100%) | RE (25%) |
| | Re (25%) |
| | rE (25%) |
| | re (25%) |

Com os gametas anteriores, pode-se construir o seguinte genograma:

| ♀ \ ♂ | RE (25%) | Re (25%) | rE (25%) | re (25%) |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Re (100%) | RREe (25%) Crista noz | RRee (25%) Crista rosa | RrEe (25%) Crista noz | Rree (25%) Crista rosa |

Resposta: 50% dos descendentes têm (porcentagem) crista do tipo noz, e 50%, do tipo rosa.

HERANÇA QUANTITATIVA

Também chamada de herança poligênica, poligenia ou, ainda, herança multifatorial, é uma modalidade de interação entre genes não alelos, em que o fenótipo depende da quantidade de certos tipos de genes presentes no genótipo.

Nesse tipo de herança, existem dois ou mais pares de genes alelos. Em cada par, um dos alelos é dito efetivo e o outro, não efetivo. O fenótipo é determinado por uma interação entre esses genes.

Um bom exemplo desse tipo de herança acontece com a determinação genética da coloração ou intensidade de pigmentação da pele na espécie humana. Essa característica depende da quantidade de melanina produzida, e essa quantidade é determinada por diferentes pares de genes que se segregam independentemente. Para exemplificar esse tipo de interação nessa característica, vamos considerar apenas dois pares de genes A / a e B / b.

Para esses dois pares de genes, podem-se ter os seguintes genótipos e respectivos fenótipos:

| Genótipos | Fenótipos |
|----------------------|---------------|
| AABB | Negro |
| AABb AaBB | Moreno escuro |
| AAbb aaBB AaBb | Moreno médio |
| Aabb aaBb | Moreno claro |
| aabb | Branco |

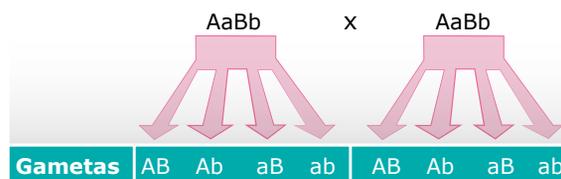
Observe, na tabela, que a quantidade de genes representados por letras maiúsculas (dominantes) ou por letras minúsculas (recessivos) presentes no genótipo é fator determinante do fenótipo: se os quatro genes dos dois pares de alelos forem dominantes, o indivíduo produzirá muita melanina e, conseqüentemente, terá a pele muito escura (negra); se três dos quatro genes forem dominantes, o indivíduo será moreno escuro; caso no genótipo existam dois genes e dois recessivos, o indivíduo será moreno médio; se, dos quatro genes, apenas um for dominante, o indivíduo será moreno claro e, se os quatro genes dos dois pares de alelos forem recessivos, o indivíduo produzirá menos melanina e, portanto, será branco. Conclui-se então que, nessa característica, quanto maior o número de genes dominantes presentes no genótipo do indivíduo, mais escura será a coloração de sua pele.

Veja o exemplo a seguir.

- Um casal de morenos médios teve um filho branco. Quais são os genótipos dos indivíduos que formam esse casal e como poderão ser seus próximos filhos quanto à coloração da pele?

Resolução:

Os morenos médios possuem no genótipo dois genes representados por letras maiúsculas e dois genes representados por letras minúsculas. Como o casal teve um filho branco (aabb), conclui-se que ambos possuem no genótipo os genes a e b. Assim, ambos têm genótipo AaBb.



Construindo um genograma com os gametas da figura anterior, obtêm-se as seguintes combinações:

| ♀ \ ♂ | AB | Ab | aB | ab |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| AB | Negros AABB | Morenos escuros AABb | Morenos escuros AaBB | Morenos médios AaBb |
| Ab | Morenos escuros AABb | Morenos médios AAbb | Morenos médios AaBb | Morenos claros Aabb |
| aB | Morenos escuros AaBB | Morenos médios AaBb | Morenos médios aaBB | Morenos claros aaBb |
| ab | Morenos médios AaBb | Morenos claros Aabb | Morenos claros aaBb | Branco aabb |

A análise das combinações obtidas no genograma anterior permite concluir que os próximos filhos do casal poderão ser negros, morenos escuros, morenos médios, morenos claros ou brancos com as seguintes probabilidades de nascimentos:

- Negros (AABB): 1/16
- Morenos escuros (AABb e AaBB): 4/16 = 2/8
- Morenos médios (AaBb, AAbb e aaBB): 6/16 = 3/8
- Morenos claros (Aabb e aaBb): 4/16 = 2/8
- Brancos (aabb): 1/16

Em uma característica de herança quantitativa, o número de fenótipos é igual ao número de poligenes + 1. Assim, no caso da coloração da pele humana, visto anteriormente, existem 4 poligenes (A / a e B / b) e, portanto, 5 fenótipos distintos (negro, moreno escuro, moreno médio, moreno claro e branco). Se, por exemplo, em uma característica de herança quantitativa, participarem 6 poligenes (Aa, Bb, Cc), teremos 7 fenótipos diferentes, e assim por diante.

Inversamente, se soubermos o número de fenótipos distintos existentes num caso de herança quantitativa, o número de poligenes envolvidos será igual ao número de fenótipos - 1.

$$\begin{aligned} \text{N. de poligenes} &= \text{N. de fenótipos} - 1 \\ \text{N. de fenótipos} &= \text{N. de poligenes} + 1 \end{aligned}$$

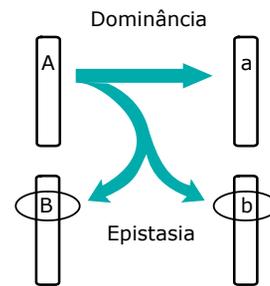
O número de pares de poligenes envolvidos na característica também pode ser calculado a partir do número de classes fenotípicas (número de fenótipos) por meio da seguinte relação:

$$\text{N. de pares de poligenes} = \frac{\text{N. de classes fenotípicas} - 1}{2}$$

Aplicando-se a relação anterior no caso da herança sobre a cor da pele na espécie humana, o número de pares de poligenes será: $\frac{5 - 1}{2} = 2$.

EPISTASIA

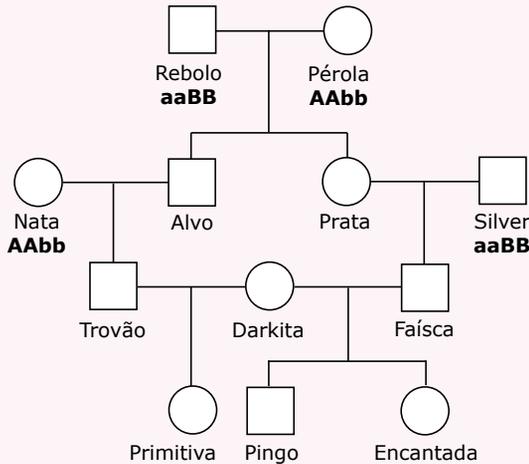
Nessa modalidade de interação gênica, um gene inibe ou oculta o efeito de outro gene que não seja seu alelo. O gene que inibe é chamado de epistático e o inibido é denominado hipostático. Os genes epistático e hipostático não são genes alelos.



Epistasia – Quando um gene inibe a manifestação do seu alelo, o inibidor é chamado de gene dominante, e o inibido, de gene recessivo. Quando um gene inibe a manifestação de outro que não seja seu alelo, o inibidor é denominado gene epistático, e o inibido, hipostático. No esquema anterior, os genes A / a são alelos, sendo o gene A dominante e o gene a recessivo. Os genes B / b também são alelos, sendo que B é o gene dominante e b, o gene recessivo. Admitindo-se que o gene A tenha a capacidade de inibir a ação dos genes B / b, então, o gene A é epistático em relação aos genes B / b. Os genes B / b, por sua vez, são hipostáticos em relação ao gene A.

A epistasia pode ser dominante ou recessiva.

- **Epistasia dominante:** O alelo dominante de um par inibe o efeito de genes alelos de um outro par, ou seja, o gene epistático é dominante no seu par de alelos. Por exemplo: em determinada raça de cães, a cor dos pelos depende da ação de dois pares de genes M / m e C / c, que se segregam independentemente. O gene M determina a formação de pelagem preta, já o seu alelo m condiciona uma pelagem marrom; o gene C inibe os genes M / m, isso é, inibe a manifestação da cor, e o seu alelo c permite a manifestação da cor. Quando o gene C está presente no genótipo, o animal apresenta uma pelagem branca. Nesse exemplo, então, o gene C é epistático, e os genes M / m são hipostáticos.



Qual dos seguintes cruzamentos poderá apresentar, na descendência, o cavalo mais veloz?

- A) Trovão x Darkita.
- B) Prata x Silver.
- C) Alvo x Nata.
- D) Prata x Alvo.
- E) Faisca x Darkita.

04. (FCC-SP) Supondo que na aboboreira existam três pares de genes que influem no peso do fruto, uma planta aabbcc origina frutos com aproximadamente 1 500 g e uma planta AABBCC, frutos de aproximadamente 3 000 g. Se essas duas plantas forem cruzadas, o peso aproximado dos frutos produzidos pelas plantas F1 será de

- A) 3 000 g.
- B) 2 500 g.
- C) 2 250 g.
- D) 2 000 g.
- E) 1 500 g.

05. (CESCEM-SP) Na cebola, a cor do bulbo é resultado da ação de dois pares de genes que interagem. O gene C, dominante, determina bulbo colorido, e seu recessivo c determina bulbo incolor (branco). O gene B, dominante, determina bulbo vermelho, e seu recessivo b, bulbo amarelo. Cruzando-se indivíduos heterozigotos para os dois genes, obtém-se descendentes na seguinte proporção:

- A) 12 vermelhos : 3 brancos : 4 amarelos.
- B) 12 brancos : 3 vermelhos : 4 amarelos.
- C) 9 brancos : 3 amarelos : 4 vermelhos.
- D) 9 vermelhos : 3 brancos : 4 amarelos.
- E) 9 vermelhos : 3 amarelos : 4 brancos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (PUC Minas) A cor da pelagem de cães labradores é determinada pela interação de dois pares de genes autossômicos com segregação independente. A figura mostra três cães da raça labrador com cor de pelagem diferente (marrom, dourada e preta), embora sejam gêmeos filhos do mesmo pai. A tabela apresenta a correlação entre genótipos e fenótipos para esse caráter.



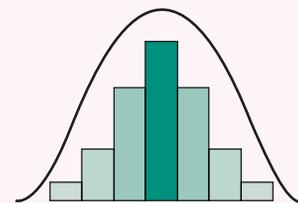
Determinação da coloração da pelagem de cães labradores

| Fenótipos | Preta | Marron | Dourada |
|-----------|----------------------------------|----------------|-------------------------|
| Genótipos | BB EE BB Ee Bb EE Bb Ee | bb EE bb Ee | BB ee Bb ee bb ee |

Analisando-se as informações, é incorreto afirmar:

- A) Se a mãe for dourada, o pai pode ser marrom ou preto.
- B) O pai e a mãe dos três cães representados podem ser pretos.
- C) Nenhum dos filhotes pode ser homocigoto recessivo para os dois pares de alelos.
- D) Nenhum dos pais pode ser homocigoto dominante para qualquer dos pares de alelos.

02. (UEFS-BA)



O gráfico mostra a curva de distribuição quantitativa da variação fenotípica para uma determinada característica.

O número de alelos envolvidos na herança desse caráter é

- A) 5.
- B) 6.
- C) 7.
- D) 9.
- E) 14.

03. (UNITAU-SP) A epistasia é um fenômeno de interação genética em que um par de alelos controla a expressão de genes de um outro par. Considere que a determinação da cor da pelagem do camundongo comum é representada por um dado par de alelos A, em que a cor marrom é dominante e a cor preta é recessiva. Considere também que a determinação da cor da pelagem nesses animais representa um caso de epistasia recessiva, dada pelo gene não alelo C.

Com base nessas informações, assinale a alternativa correta.

- A) ccAA é o genótipo que produz fenótipo albino.
- B) ccAA é o genótipo que produz fenótipo preto.
- C) CcAA é o genótipo que produz o fenótipo albino.
- D) ccA_ é o genótipo que produz fenótipo marrom.
- E) CcAa é o genótipo que produz fenótipo albino.

04. (UECE) Na interação gênica, os casos de epistasia recessiva acontecem em camundongos que possuem pelagem aguti, preta ou albina. No cruzamento do duplo-heterozigoto aguti AaPp x AaPp, sabendo-se que o alelo P condiciona a cor aguti, o alelo p condiciona a cor preta e o alelo A permite a manifestação da cor enquanto a a inibe, pode-se afirmar corretamente que a proporção mendeliana fenotípica clássica de 9 : 3 : 3 : 1 é alterada para

- A) 12 : 3 : 1.
- B) 15 : 1.
- C) 13 : 3.
- D) 9 : 3 : 4.

05. (Unesp) Um dos casos de herança quantitativa é a cor da pele humana, em que os fenótipos são obtidos com a combinação de, no mínimo, dois pares de genes não alelos. Supondo que um casal de mulatos médios com genótipo PpNn (P e N determinam grande produção de melanina) tenha filhos, a probabilidade desses serem brancos é de

- A) 1/16.
- B) 4/16.
- C) 5/16.
- D) 6/16.
- E) 8/16.

06. (Uniuibe-MG) Um exemplo de herança quantitativa na nossa espécie é a cor da pele, característica estudada por Davenport, que mostrou que essa característica é determinada por dois pares de genes, os quais não apresentam dominância entre si, porém seus efeitos são aditivos.

O quadro a seguir mostra os fenótipos e os genótipos para a cor da pele.

| Fenótipos | Genótipos |
|---------------|----------------------|
| Negro | SSTT |
| Moreno escuro | SSTt ou SsTT |
| Moreno médio | SsTt ou SStt ou ssTT |
| Moreno claro | Ss tt ou ssTt |
| Branco | ss tt |

Um casal formado por uma mulher mulato-média (SsTt) e um homem branco (ss tt) poderá ter filhos que apresentem os seguintes fenótipos:

- A) Mulato médio, mulato claro e branco.
- B) Mulato claro e branco.
- C) Mulato médio, mulato escuro e mulato claro.
- D) Mulato escuro, mulato médio e branco.
- E) Mulato médio e branco.

07. (PUC-SP) Em galinhas, os genótipos R_ee, rrE_, R_E_ e rree determinam, respectivamente, os seguintes tipos de cristas: rosa, ervilha, noz e simples. Em 80 descendentes provenientes do cruzamento Rree x rrEe, o resultado esperado é o seguinte:

- A) 20 noz, 20 rosa, 20 ervilha, 20 simples.
- B) 30 noz, 30 rosa, 10 ervilha, 10 simples.
- C) 45 noz, 15 rosa, 15 ervilha, 5 simples.
- D) 45 noz, 30 rosa, 5 ervilha.
- E) 60 noz, 20 simples.

08. (USP) Quando plantas de abóbora com frutos discoides (AABB) são cruzadas com plantas de frutos alongados (aabb), toda a geração F1 tem frutos discoides. Na F2, 9/16 dos frutos são discoides, 6/16 são esféricos e 1/16 são alongados. Entre as plantas com frutos esféricos da F2, há

- A) apenas um único genótipo.
- B) sempre um único alelo recessivo.
- C) nove genótipos diferentes.
- D) quatro classes genotípicas.
- E) somente os genótipos AaBb ou aaBb.

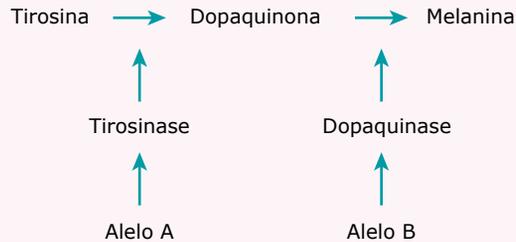
09. (Unesp) Epistasia é o fenômeno em que um gene (chamado epistático) inibe a ação de outro que não é seu alelo (chamado hipostático). Em ratos, o alelo dominante B determina a cor de pelo acinzentada, enquanto o genótipo homozigoto bb define cor preta. Em outro cromossomo, um segundo locus afeta uma etapa inicial na formação dos pigmentos dos pelos. O alelo dominante A nesse locus possibilita o desenvolvimento normal da cor (como definido pelos genótipos B_ ou bb), mas o genótipo aa bloqueia toda a produção de pigmentos e o rato torna-se albino. Considerando os descendentes do cruzamento de dois ratos, ambos com genótipo AaBb, os filhotes de cor preta poderão apresentar genótipos

- A) Aabb e AAbb.
- B) Aabb e aabb.
- C) AAbb e aabb.
- D) AABB e Aabb.
- E) aaBB, AaBB e aabb.

10. (UDESC) A altura de uma determinada planta é determinada por dois genes de efeito aditivo, A e B e seus respectivos alelos a e b. Os alelos A e B acrescentam 0,30 cm às plantas e os alelos a e b 0,15 cm. Ao se cruzarem plantas AABB com plantas AaBb, pode-se esperar a frequência entre os descendentes de

- A) 25% com 2,40 m; 50% com 2,10 m e 25% com 1,90 m.
 B) 75% com 2,10 m e 25% com 1,40 m.
 C) 50% com 1,20 m e 50% com 0,60 m.
 D) 25% com 1,20 m e 75% com 0,60 m.
 E) 25% com 1,20 m; 50% com 1,05 m e 25% com 0,90 m.

11. (UFMA) O esquema a seguir demonstra a via metabólica da produção do pigmento melanina:



Com base no demonstrado, pode-se dizer:

- I. Toda a prole de casal albino (tirosinase negativo) X albino (tirosinase positivo) será sempre albina.
 II. O esquema anterior demonstra um caso de interação gênica.
 III. A única forma de um indivíduo ser albino é ele sendo duplo recessivo (aabb).

Indique a opção correta.

- A) Somente I é verdadeira. C) Somente I e II são verdadeiras. E) Somente II e III são verdadeiras.
 B) Somente II é verdadeira. D) Somente I e III são verdadeiras.

12.
9ZR0



(UFRGS-RS) O quadro apresenta a distribuição dos 4 diferentes alelos do gene A cujas combinações genóticas são responsáveis pelos padrões de coloração da pelagem de algumas raças caninas.

| Raça | Padrão de coloração | Genótipo |
|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| Doberman | <i>tan</i> | a ^t a ^t |
| Collie | dourada | a ^y a ^y |
| Collie | dourada | a ^y a ^t |
| Pastor de Shetland | preta | aa |
| Pastor de Shetland | <i>tan</i> | a ^t a |
| Pastor de Shetland | dourada | a ^y a |
| Eurasier | preta | aa |
| Eurasier | prateada | a ^w a ^w |
| Eurasier | prateada | a ^w a ^t |
| Eurasier | dourada | a ^y a ^w |
| Eurasier | prateada | a ^w a |

DREGER, D. L.; SCHMUTZ, S. M. A SINE insertion causes the Black – and – tan and Saddle Tan Phenotypes in domestic dogs. *Journal of Heredity*, v. 102, supplement 1, September/October 2011, S.11-S.18 (Adaptação).

Assinale a alternativa correta, considerando que o gene K é epistático em relação ao gene A de tal forma que, na presença de K, todos os cães têm a cor do pelo preta; e que o genótipo kk permite a expressão dos diferentes alelos do gene A.

- A) O cruzamento entre cães KK a^ya^w X Kk a^ya^w somente resulta cães com cor do pelo preta.
 B) Os cães apresentados no quadro são homocigotos dominantes para o gene K.
 C) O cruzamento entre cães kk prateados pode acarretar cães dourados.
 D) A cor de pelo preta somente pode ser obtida em cães homocigotos para os dois genes citados.
 E) O cruzamento entre di-híbridos Kka^ya resulta em 9/16 animais pretos.

13. (FUVEST-SP-2018) Nos cães labradores, a cor da pelagem preta, chocolate ou dourada depende da interação entre dois genes, um localizado no cromossomo 11 (alelos B e b) e o outro, no cromossomo 5 (alelos E e e). O alelo dominante B é responsável pela síntese do pigmento preto e o alelo recessivo b, pela produção do pigmento chocolate. O alelo dominante E determina a deposição do pigmento preto ou chocolate nos pelos; e o alelo e impede a deposição de pigmento no pelo. Dentre 36 cães resultantes de cruzamentos de cães heterozigóticos nos dois loci com cães duplo homozigóticos recessivos, quantos com pelagem preta, chocolate e dourada, respectivamente, são esperados?

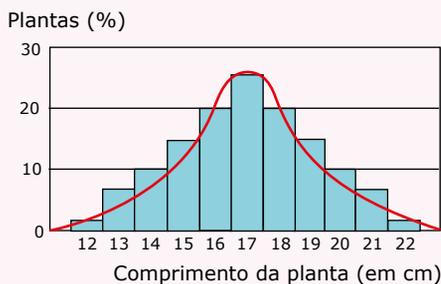
- A) 0, 0 e 36.
- B) 9, 9 e 18.
- C) 18, 9 e 9.
- D) 18, 0 e 18.
- E) 18, 18 e 0.

SEÇÃO ENEM

01. Em um caso de herança quantitativa (poligênica), o número de genes envolvidos (número de poligenes) e o número de fenótipos possíveis obedecem à seguinte relação:

$$N. \text{ de poligenes} = N. \text{ de fenótipos} - 1$$

O gráfico a seguir refere-se a uma característica poligênica de uma planta, onde estão representados os diferentes tipos de fenótipos para a característica comprimento da planta.



É correto dizer que a característica em questão envolve a participação de

- A) 10 poligenes.
- B) 11 poligenes.
- C) 12 poligenes.
- D) 22 poligenes.
- E) 24 poligenes.

02. A cor da íris do olho humano varia do azul-claro ao castanho-escuro ("preto"), passando pelo cinza, verde, avelã e por algumas tonalidades de castanho. Essas diferentes cores são produzidas pela presença de diferentes quantidades do pigmento melanina, o mesmo que dá cor à pele e aos pelos.

Vamos considerar que a cor dos olhos na espécie humana seja resultado de uma interação entre quatro pares de poligenes. A tabela a seguir mostra o número de alelos efetivos no genótipo e os respectivos fenótipos.

| Número de alelos efetivos no genótipo | Cor dos olhos |
|---------------------------------------|-----------------|
| 0 | Azul-claro |
| 1 | Azul-médio |
| 2 | Azul-escuro |
| 3 | Cinza |
| 4 | Verde |
| 5 | Avelã |
| 6 | Castanho-claro |
| 7 | Castanho-médio |
| 8 | Castanho-escuro |

BURNS, George W.; BOTTINO, Paul J. *Genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991. p. 288.

Um casal, em que o homem tem olhos castanho-escuros e a mulher, olhos azul-claros, teve uma filha. Considerado as informações fornecidas pela tabela e não considerando ocorrência de mutações, conclui-se que a filha desse casal tem

- A) olhos azuis.
- B) olhos cinza.
- C) olhos verdes.
- D) olhos avelã.
- E) olhos castanhos.

SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

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

Propostos

Acertei _____ Errei _____

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

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. C



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %