

## Genética de Populações

Genética de populações é o estudo da *pool* gênica, ou seja, o conjunto de genes característicos de uma certa população. Por exemplo: na *pool* gênica da população negra, é alta a frequência dos genes para pele escura, cabelos grossos e crespos, lábios grossos, nariz largo, entre outros. Por outro lado, esses mesmos genes têm uma frequência muito baixa nas populações orientais (chineses, japoneses, coreanos, etc.), nas quais a *pool* gênica é caracterizada pela alta frequência dos genes para olhos puxados, malares (ossos da face) proeminentes, cabelos negros e lisos.

Conhecendo-se certos aspectos da distribuição dos genes entre os indivíduos de uma população, podemos, muitas vezes, calcular o percentual ou a frequência dos genes (frequência gênica), bem como a frequência dos diferentes genótipos (frequência genotípica) e fenótipos (frequência fenotípica) na população.

Conhecendo-se o número de indivíduos de uma população e seus respectivos genótipos, podemos calcular as frequências dos genes alelos envolvidos, bem como as dos genótipos constituídos por esses alelos. Veja o exemplo a seguir:

### Exemplo:

Considere uma pequena população constituída por 12 000 indivíduos dos quais 3 600 possuem o genótipo AA, 6 000 são Aa e 2 400 têm o genótipo aa.

### Resolução:

Podemos calcular a frequência desses genótipos nessa população por meio de uma simples regra de três.

- Frequência do genótipo AA:  
12 000 indivíduos \_\_\_\_\_ 100% da população  
3 600 indivíduos AA \_\_\_\_\_ x  
 $X = 3\ 600 : 12\ 000 \rightarrow x = 0,3$ .

**A frequência do genótipo AA = 0,3 (30%)**

- Frequência do genótipo aa:  
12 000 indivíduos \_\_\_\_\_ 100% da população  
2 400 indivíduos aa \_\_\_\_\_ x  
 $X = 2\ 400 : 12\ 000 \rightarrow x = 0,2$ .

**A frequência do genótipo aa = 0,2 (20%)**

- Frequência do genótipo Aa:  
Aa: 12 000 \_\_\_\_\_ 100% da população  
6 000 \_\_\_\_\_ x

$$X = 6\ 000 : 12\ 000 \rightarrow x = 0,5$$

**A frequência do genótipo Aa = 0,5 (50%)**

Com os dados fornecidos, também podemos calcular as frequências dos alelos A e a nessa população.

No genótipo de cada um dos 3 600 indivíduos AA, existem dois genes do tipo A. Então, nesses 3 600 genótipos AA, existem 7 200 genes A ( $3\ 600 \cdot 2$ ). Em cada genótipo dos 6 000 indivíduos Aa, existe um gene A e um gene a. Portanto, nesses 6 000 genótipos Aa, existem 6 000 genes A e 6 000 genes a. Observe também que, em cada genótipo dos 2 400 indivíduos aa, existem dois genes a, ou seja, nesses 2 400 indivíduos existem 4 800 genes do tipo a. Considerando todos esses genótipos, conclui-se que são 24 000 genes ao todo ( $7\ 200\ A + 6\ 000\ A + 6\ 000\ a + 4\ 800\ a$ ).

- Frequência do gene A:  
24 000 genes \_\_\_\_\_ 100% dos genes  
13 200 genes A \_\_\_\_\_ x  
 $X = 13\ 200 : 24\ 000 \rightarrow x = 0,55$ .

**A frequência do gene A = 0,55 (55%)**

- Frequência do gene a:  
24 000 genes \_\_\_\_\_ 100% dos genes  
10 800 genes a \_\_\_\_\_ x  
 $X = 10\ 800 : 24\ 000 \rightarrow x = 0,45$ .

**A frequência do gene a = 0,45 (45%)**

## PRINCÍPIO DE HARDY-WEINBERG

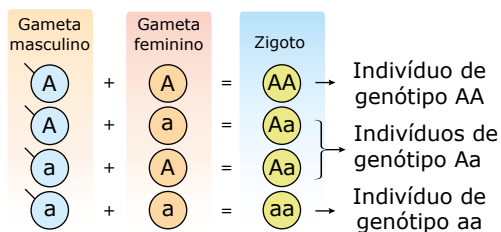


Em 1908, Godfrey Hardy (matemático inglês) e Wilhelm Weinberg (médico alemão), com base em estudos matemáticos relativamente simples, demonstraram o que ficou conhecido como Lei, Teorema ou Princípio de Hardy-Weinberg, que pode ser assim enunciado: em uma população em que não atuam fatores evolutivos (mutações, seleção natural, migrações etc.) e os cruzamentos são aleatórios, as frequências gênicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações.

Para exemplificar o Princípio de Hardy-Weinberg, vamos considerar um gene A, cuja frequência na população seja p, e um gene a (alelo do A), de frequência q. De acordo com o princípio anterior:

**Frequência de gene A + frequência de gene a = F(A) + F(a) = 1 (100%), ou seja, p + q = 1**

Nessa mesma população, os genótipos formados por esses dois genes (A e a) poderão ser AA, Aa e aa. Para surgir um indivíduo com o genótipo AA, é preciso que o gene A esteja presente nos dois gametas participantes da fecundação; para surgir indivíduo aa, os dois gametas que se unem na fecundação precisam ter o gene a; para surgir o genótipo Aa, é preciso que em um dos gametas exista o gene A e no outro, o gene a. Veja a ilustração a seguir:



Observe que, para surgir o genótipo Aa, existem duas possibilidades: o gameta masculino tem o gene A, e o feminino, o a, ou então, o gameta masculino tem o gene a, e o feminino, o A.

Como estamos considerando que a frequência do gene A = p, e a do gene a = q, podemos dizer que:

A frequência do genótipo AA =  $F_{(AA)}$  = frequência do gene A x frequência do gene A =  $F_{(A)} \cdot F_{(A)}$  = p.p, ou seja, a frequência do genótipo AA =  $p \cdot p = p^2$ .

A frequência do genótipo aa =  $F_{(aa)}$  = frequência do gene a x frequência do gene a =  $F_{(a)} \cdot F_{(a)}$ , ou seja, a frequência do genótipo aa =  $q \cdot q = q^2$ .

A frequência do genótipo Aa = 2 x frequência do gene A x frequência do gene a =  $2 \cdot F_{(A)} \cdot F_{(a)}$ , ou seja, a frequência do genótipo Aa = 2 pq.

Como nesse exemplo temos apenas três tipos diferentes de genótipos, a soma das frequências deles numa população será igual a 1 (100%). Assim, temos:

$$F_{(AA)} + F_{(Aa)} + F_{(aa)} = 1, \text{ ou seja, } p^2 + 2pq + q^2 = 1 \text{ ou } (p + q)^2 = 1$$

Para calcular, numa população, a frequência do genótipo AA, usamos o termo  $p^2$ ; se quisermos calcular a frequência do genótipo Aa, usamos o termo  $2pq$ , e, para calcularmos a frequência do genótipo aa, o termo usado será o  $q^2$ .

Veja os exemplos a seguir:

**Exemplo 1:**

Em uma população, a frequência de indivíduos Rh<sup>-</sup> é de 16%. Considerando que essa população esteja em equilíbrio, calcular

- A) a frequência do gene r (gene para Rh<sup>-</sup>).
- B) a frequência do gene R (gene para Rh<sup>+</sup>).
- C) a frequência de indivíduos com o genótipo RR.
- D) a frequência de indivíduos com o genótipo Rr.

**Resolução:**

**A)** Sabendo-se que os indivíduos Rh<sup>-</sup> têm genótipo rr, tem-se:

$$F_{(Rh^-)} = F_{(rr)} = q^2 = 0,16 \text{ (16\%)}$$

Logo,

$$F_{(r)} = \sqrt{F_{(rr)}} = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,16} = 0,4 \text{ (40\%)}$$

Assim, a frequência, nessa população, do gene r = 0,4.

**B)** Como a  $F_{(r)} = 0,4$ , e lembrando que  $p + q = 1$ , então, temos:

$$p + q = 1$$

$$p + 0,4 = 1$$

$$p = 1 - 0,4$$

$$p = 0,6.$$

Assim, a frequência do gene R = frequência de p, ou seja,  $F_{(R)} = 0,6$  (60%).

**C)** A frequência do genótipo RR =  $p^2$ . Assim, temos:

$$F_{(RR)} = p^2 = (0,6)^2 = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36 \text{ (36\%)}$$

**D)** A frequência de indivíduos com genótipo Rr =  $2pq$ . Assim, temos:

$$F_{(Rr)} = 2 \cdot 0,6 \cdot 0,4 = 0,48 \text{ (48\%)}$$

**Exemplo 2:**

Em uma população, verificou-se que a frequência de pessoas insensíveis ao PTC é de 9%. Sabendo-se que a sensibilidade ao sabor amargo dessa substância é condicionada por um gene autossômico dominante I, e a insensibilidade, pelo seu alelo recessivo i, qual a frequência esperada nessa população de indivíduos sensíveis ao PTC, porém, heterozigóticos?

**Resolução:**

Se os insensíveis ao PTC são homozigóticos recessivos (ii), eles representam o termo  $q^2$  no Binômio de Newton. Assim,

$$F_{(ii)} = q^2 = 9\% \text{ (0,09)}.$$

Se  $q^2 = 0,09$ , então  $q = \sqrt{0,09}$ , ou seja,  $q = 0,3$  (30%).

Como q = frequência do gene i, logo, a  $F_{(I)} = 0,3$ .

Se a frequência do gene  $i = q = 0,3$ , então o valor de  $p =$  frequência do gene  $I$  será igual a  $1 - 0,3 = 0,7$  (70%). Lembre-se de que  $p + q = 1$  e, portanto,  $p = 1 - q$ .

Considerando que na expressão  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ , os indivíduos heterozigóticos estão representados por  $2pq$ . Uma vez que conhecemos os valores de  $p$  e  $q$ , temos:

$$F_{(i)} = 2pq = 2 \cdot 0,7 \cdot 0,3 = 0,42 \text{ (42\%)}$$

#### Resposta:

A frequência esperada de indivíduos sensíveis heterozigóticos ( $Ii$ ) é de 42%.

## EQUILÍBRIO GENÉTICO

Segundo o Princípio de Hardy-Weinberg, se em uma população as frequências dos genes que constituem o *pool* gênico permanecem inalteradas de geração em geração, então essa população estará em equilíbrio genético, ou seja, nenhum fator com capacidade de alterar as frequências gênicas estará agindo nessa população. Essa situação, entretanto, dificilmente ocorre na natureza, uma vez que as populações naturais das diferentes espécies de seres vivos estão sujeitas à ação de diversos fatores com capacidade de alterar as frequências gênicas e, conseqüentemente, impedir o equilíbrio genético. Entre esses fatores que alteram o equilíbrio genético de uma população, podemos citar:

- A) Mutações** – As mutações fazem surgir novos genes no *pool* gênico da população, aumentando, assim, a variabilidade gênica das populações.
- B) Seleção natural** – A seleção natural diminui a variabilidade gênica das populações, uma vez que diminui a frequência de determinado genótipo em benefício de outro. Em outras palavras, ao agir em uma população, ela seleciona e preserva os indivíduos portadores de genes que determinam características mais vantajosas, em detrimento daqueles que possuem genótipos que condicionam características menos vantajosas.
- C) Fluxo gênico (migrações)** – A entrada (imigração) e saída (emigração) significativas de indivíduos na população promovem a alteração da frequência do *pool* gênico existente. Por exemplo: se em uma população formada por indivíduos AA, Aa e aa houver uma emigração de muitos indivíduos de genótipo aa, a frequência relativa do gene A, nessa população, se eleva.

**D) Endogamia (consanguinidade)** – Os cruzamentos consanguíneos tendem a gerar indivíduos predominantemente homozigóticos e, assim, tendem a aumentar a frequência de determinado genótipo na população.

**E) Oscilação genética (deriva genética, desvio genético)** – Compreende os processos em que, por acaso, certos genes e genótipos podem ter suas frequências alteradas numa população. Em grandes populações, a oscilação genética não produz modificações expressivas nas frequências gênicas e genotípicas. Entretanto, em pequenas populações, ela pode alterar consideravelmente essas frequências. Por exemplo: imagine que, em uma ilha deserta, cheguem 10 pessoas de dois sexos, sobreviventes de um naufrágio. Vamos admitir que, dessas 10 pessoas, uma seja heterozigota para o albinismo (Aa), ao passo que as nove restantes são pigmentadas homozigotas (AA). A taxa ou a frequência do gene A nessa população que se instalou na ilha é de aproximadamente 95%, enquanto a taxa do gene a é cerca de 5%. Admita que, por acaso, o indivíduo heterozigoto (Aa), ao nadar ao redor da ilha, morra afogado alguns dias após a chegada. Com isso, a frequência do gene A na população da ilha passou a ser de 100%, e a do gene a, 0%. Note que foi o acaso que fez o indivíduo heterozigoto se afogar, e com isso houve uma alteração nas frequências gênicas. Se, no entanto, a população da ilha tivesse 1 000 indivíduos, sendo 900 AA e 100 Aa, seria muito pouco provável que, por acaso, todos os heterozigotos sofressem um acidente e morressem afogados. Se nessa população maior o acidente envolvesse apenas um indivíduo heterozigoto, isso não traria alterações expressivas nas frequências dos genes A e a.

O Princípio de Hardy-Weinberg pode ser aplicado apenas às populações em equilíbrio, quando

- a população é formada por um número grande de indivíduos, de modo que possam ocorrer todos os tipos de cruzamento possíveis, de acordo com as leis das probabilidades. Nesse caso, os eventuais erros de amostragem no processo de levantamento das frequências gênicas e genotípicas não têm grande significância estatística.
- a população for panmítica, isto é, seus integrantes se cruzam livremente, ao acaso, sem preferências sexuais.
- a população não estiver sujeita a nenhum fator que promova alteração no *pool* gênico, como mutações, seleção natural, migrações etc.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (Unit-AL-2017)

Genótipos	Número de genes	Característica
AA	6 000	Normal
Aa	10 000	Normal
aa	4 000	Albino

Observando-se as informações hipotéticas da tabela e considerando-se que essas são de uma população em equilíbrio gênico e genotípico, a frequência do alelo A, nessa população, é de

- A) 0,35.
- B) 0,45.
- C) 0,55.
- D) 0,65.
- E) 0,75.

02. (UFPI) Imagine a seguinte situação: pesquisadores descobriram uma população de aves marinhas isolada numa ilha, estimada em 1 000 indivíduos, e perceberam que 360 eram homocigotos AA, 480 heterocigotos Aa e 160 homocigotos aa. Também concluíram que todos os tipos possíveis de cruzamento estavam ocorrendo, embora fatores evolutivos como mutação ou seleção não tenham sido registrados. Mediante essas informações, indique a alternativa correta.

- A) O total de alelos nessa população é igual a 20 000.
- B) A frequência de indivíduos AA é igual a 0,4 ou 40%.
- C) A população encontra-se em equilíbrio gênico, seguindo o princípio de Hardy-Weinberg.
- D) A frequência de indivíduos aa é também igual a 0,4 ou 40%.
- E) A frequência de indivíduos Aa é igual a 0,24 ou 24%.

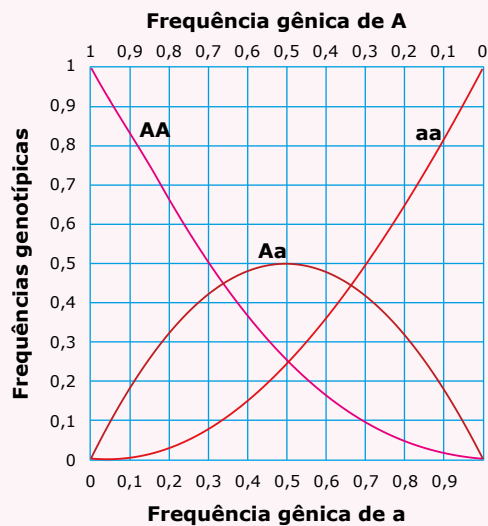
03. (PUC-SP) Uma população que está em equilíbrio de Hardy-Weinberg é constituída por 2 000 indivíduos. Sabe-se que 320 destes têm uma certa anomalia, determinada por um gene autossômico recessivo. Entre os indivíduos normais dessa população, qual é o número esperado de portadores desse gene recessivo?

- A) 960
- B) 480
- C) 420
- D) 320
- E) 240

04. (UNIRIO-RJ) Sabendo que a frequência de um gene recessivo a em uma população é de 0,1, as frequências genotípicas esperadas para essa população, se estiver em equilíbrio, serão:

	AA	Aa	aa
A)	0,9	0,09	0,01
B)	0,81	0,18	0,01
C)	0,81	0,09	0,1
D)	0,72	0,18	0,1
E)	0,25	0,50	0,25

05. (UFMG) O gráfico mostra as relações entre as frequências dos alelos A e a e as frequências genotípicas AA, Aa e aa numa população em equilíbrio.



Numa população em equilíbrio, em que os casamentos ocorrem ao acaso, e a frequência dos genes A e a é de 50%, para cada um, a probabilidade de se encontrarem indivíduos AA, Aa e aa é, respectivamente,

- A) 25%, 50% e 25%.
- B) 40%, 30% e 30%.
- C) 50%, 25% e 25%.
- D) 70%, 15% e 15%.
- E) 80%, 10% e 10%.

# EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UECE) Em 1908, G. H. Hardy, um matemático britânico e um médico alemão, W. Weinberg, independentemente desenvolveram um conceito matemático relativamente simples, hoje denominado de Princípio de Hardy-Weinberg, para descrever um tipo de equilíbrio genético (BURNS; BOTTINO, 1991).

O princípio citado é fundamento da genética de

- A) redução alélica.
- B) determinantes heterocigóticos.
- C) populações.
- D) determinantes homocigóticos.

02. (UNITAU-SP) No início do século 20, o inglês Godfrey Harold Hardy e o alemão Wilhelm Weinberg demonstraram que a variação da frequência de alelos e seus genótipos, em uma população, depende diretamente da ação de um fator evolutivo qualquer, sem o qual a dada população não experimentará a variabilidade genética, o que foi chamado de "Teorema ou Princípio de Hardy-Weinberg". Entretanto, esse modelo se aplica apenas àquelas populações em que o processo evolutivo esteja desativado, o que é uma situação hipotética, conhecida como "equilíbrio gênico". Sobre o Teorema ou Princípio de Hardy-Weinberg, assinale a alternativa que descreve uma situação que contribui para o estabelecimento do equilíbrio gênico em uma população.



12.  
00MD



(FPS-PE) A capacidade de enrolar a língua em forma de U, mostrada a seguir, é controlada por um gene com dois alelos. Pessoas com tal característica são homocigotas dominantes ou heterocigotas, enquanto as que não apresentam são homocigotas recessivas. Do ponto de vista evolutivo, considere uma população de 3 900 pessoas em equilíbrio de Hardy-Weinberg, sendo que 3 276 tinham a capacidade de enrolar a língua. Qual é a frequência do alelo dominante e do alelo recessivo, respectivamente?



- A) 1 e 0
- B) 0,7 e 0,3
- C) 0,6 e 0,4
- D) 0,5 e 0,5
- E) 0,8 e 0,2

13.  
NWN8



(UEM-PR) Considere que a composição genética de uma população pode ser conhecida calculando-se as frequências de seus alelos e as frequências de seus genótipos. Analise os dados de duas populações hipotéticas, fornecidos na tabela, e assinale o que for correto.

População 1		População 2	
Genótipos	N	Genótipos	N
AA	3 200	AA	2 400
Aa	5 000	Aa	4 000
aa	1 800	aa	3 600
Total	10 000	Total	10 000

*N = número de indivíduos; A = alelo dominante; a = alelo recessivo*

- 01. A frequência do alelo a da população 1 é de 36%.
- 02. A frequência do alelo A da população 1 é maior do que a frequência do alelo A da população 2.
- 04. A frequência dos genótipos AA, Aa e aa da população 1 é de 32%, 50% e 18%, respectivamente.
- 08. A frequência do genótipo heterocigoto da população 2 é de 60%.
- 16. Na população 2, a frequência do alelo recessivo é 12% maior do que a frequência do alelo dominante.

Soma ( )

## SEÇÃO ENEM

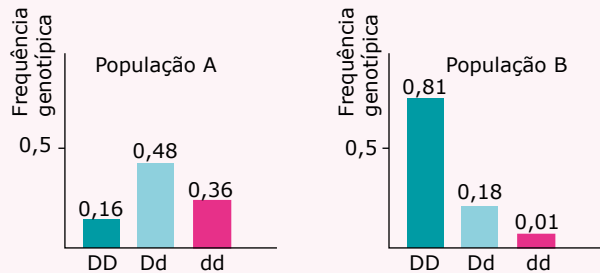
01. (Enem-2018) Corredores ecológicos visam mitigar os efeitos da fragmentação dos ecossistemas promovendo a ligação entre diferentes áreas, com o objetivo de proporcionar o deslocamento de animais, a dispersão de sementes e o aumento da cobertura vegetal. São instituídos com base em informações como estudos sobre o deslocamento de espécies, sua área de vida (área necessária para o suprimento de suas necessidades vitais e reprodutivas) e a distribuição de suas populações.

Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 20 nov. 2017 (Adaptação).

Nessa estratégia, a recuperação da biodiversidade efetiva porque

- A) propicia o fluxo gênico.
- B) intensifica o manejo de espécies.
- C) amplia o processo de ocupação humana.
- D) aumenta o número de indivíduos nas populações.
- E) favorece a formação de ilhas de proteção integral.

02. Considere os gráficos a seguir, em que se representa a análise da frequência genotípica de duas populações, A e B, que estão em equilíbrio de Hardy-Weinberg.



Com base nas informações fornecidas pelos gráficos e em seus conhecimentos sobre o assunto, é correto dizer que

- A) na população A a frequência do gene D é de 60%.
- B) na população B a frequência do gene D é de 90%.
- C) na população A a frequência do gene d é de 40%.
- D) na população B a frequência do gene d é de 1%.
- E) as frequências dos genes D e d são iguais nas duas populações.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

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

- 01. C
- 02. C
- 03. A
- 04. B
- 05. A

#### Propostos

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

- 01. C
- 02. A
- 03. D
- 04. E
- 05. D
- 06. C
- 07. A
- 08. C
- 09. D
- 10. D
- 11. D
- 12. C
- 13. Soma = 22

#### Seção Enem

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

- 01. A
- 02. B



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