

**Universidade Estadual do Rio Grande do Sul**  
**Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental**  
**Biologia Aplicada**  
**Aula 7**

Professor Antônio Ruas

- 1. Créditos: 60**
  - 2. Carga horária semanal: 4**
  - 3. Semestre: 1º**
  - 4. Assuntos: Os mecanismos da evolução.**
- Assunto: Exercícios**

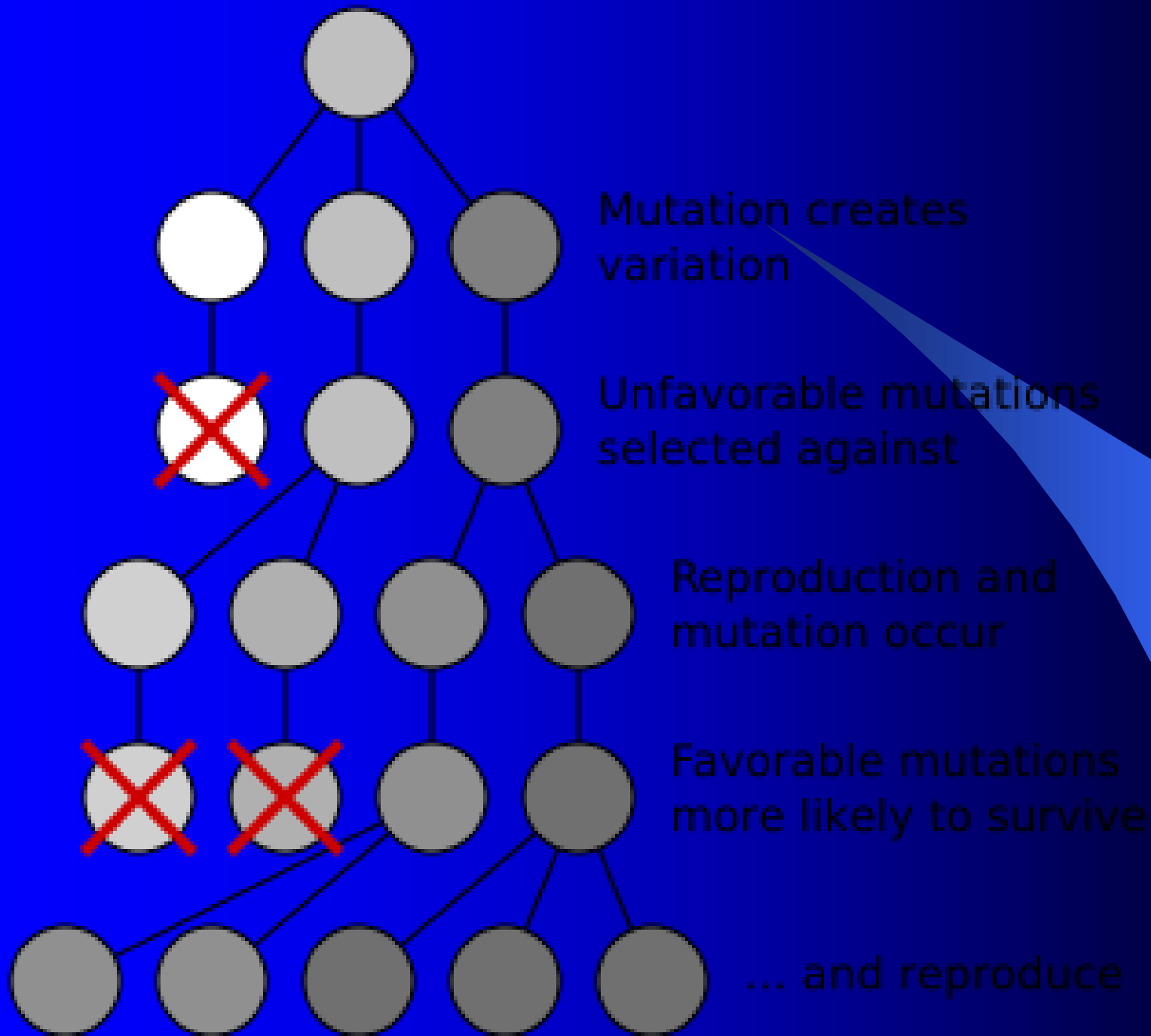
- **1. O legado de Darwin.**

- **Charles Darwin** é a principal referência histórica da teoria da evolução. A teoria, de fato é uma lei, em função da sua comprovação. Ela declara que as populações presentes e extintas não são imutáveis, apresentam grande variabilidade genética sobre a qual os mecanismos evolutivos operam.
- O principal argumento de Darwin para o desenvolvimento evolutivo de espécies ou populações, foi a seleção natural operando sobre populações com características variáveis.
- É de Darwin a concepção que a vantagem adaptativa leva a uma fixação e predominância da progênie.
- Por outro lado, é importante salientar que Darwin não conhecia os mecanismos genéticos da evolução, acreditando que a hereditariedade era uma mistura das características das gerações parentais.

- **1. O legado de Darwin: a teoria moderna.**
- A reunião das idéias de Darwin e a genética, que se iniciou com Mendel, é chamada de síntese evolutiva moderna ou teoria sintética da evolução.
- Atualmente, concebe-se que a evolução baseia-se em vários mecanismos que contribuem para a diversidade genotípica e outros para a modificação fenotípica populacional.
- Os principais mecanismos que contribuem para a diversidade genotípica são:
  - Mutações;
  - Recombinação por reprodução sexual;
  - Fluxo gênico, troca genética entre conjuntos populacionais separados;
  - Hibridizações;
  - Transferência genética nos procarióticos.

- **1.1 Modificações e estabilização de fenótipos e genótipos.**
- O mecanismo que **modifica** os fenótipos populacionais é a **seleção natural**.
- O mecanismo que modifica a frequência dos genótipos numa população é a **deriva genética**.
- Os mecanismos genotípicos e fenotípicos descritos acima trabalham juntos e contribuem para a evolução, embora de forma independente.

- **1.1 Modificações e estabilização dos fenótipos e genótipos.**
- **A. Seleção natural.**
- A **seleção natural** é um processo que mantém e estabiliza fenótipos positivos ou úteis, que aumentam a chance de sobrevivência e reprodução.
- Ao mesmo tempo reduz as chances da manutenção de fenótipos negativos ou deletérios.
- Ao longo de gerações, o fenómeno da **adaptação** ocorre, através da combinação do elenco de fenótipos positivos.
- Estas combinações são melhor adaptadas ao ambiente.
- Como a seleção opera será visto ao final.



- **1.2 Modificações e estabilização de genótipos.**
- **B. A deriva genética.**
- A deriva genética é um processo considerado independente que produz mudanças aleatórias, por chance, na frequência de genótipos nas populações.
- A frequência gênica em qualquer amostra populacional é considerada uma fração do estoque gênico total da população.
- Considera-se que é o acaso ou a chance que determina a passagem dos genótipos a qualquer geração seguinte. Depende, portanto, da chance da passagem de alelos à geração seguinte e dos vários fatores que podem influir na reprodução dos indivíduos detentores de determinados alelos.

- **1.2 Modificações e estabilização dos genótipos.**
- **B. A deriva genética.**
- O resultado pode ser neutro, positivo ou negativo para determinados genótipos. Ou seja, podem desaparecer, aumentar a frequência ou continuar existindo na população na mesma frequência.
- Um resultado positivo possível é a **fixação** do genótipo, quando a deriva genética fixa determinados genótipos numa população, enquanto outros desaparecem. Mudanças como esta são mais prováveis em populações pequenas. Podem ocorrer em grandes populações ao longo de muitas gerações.
- A deriva genética é importante para a evolução mas não a determina. Isto porque os fatores importantes na deriva genética são considerados casuais.

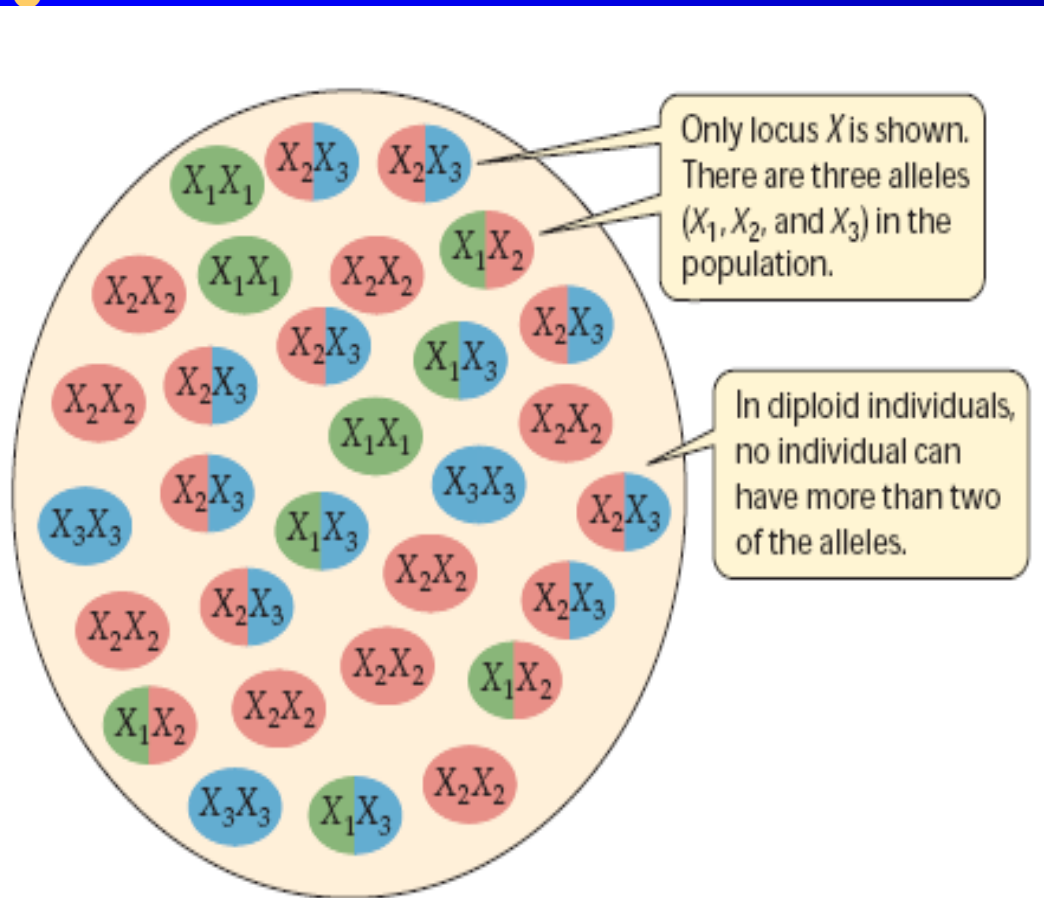


- **1.2 Modificações e estabilização dos genótipos.**
- **B. A deriva genética.**
- Para entendermos melhor a deriva genética e os mecanismos que a alteram, estudaremos a variação genética populacional e como os alelos se mantêm numa população em equilíbrio teórico, através do que ficou conhecido como o equilíbrio de Hardy-Weinberg.
- Alguns mecanismos fundamentais que influenciam muito na deriva genética e alteram o equilíbrio serão estudados, como a população em **gargalo de garrafa** e o **efeito do fundador**.

-

## • 2. Variação genética populacional.

- A soma dos alelos numa população é o pool genético.



**23.3 A Gene Pool** A gene pool is the sum of all the alleles found in a population. Each of the colored circles represents an individual. The allele proportions in this gene pool for locus X are 0.20 for  $X_1$ , 0.50 for  $X_2$ , and 0.30 for  $X_3$ .

European agriculturalists chose as parents for subsequent generations individual wild mustard plants that varied from the population's average by producing unusually large leaves, stems, buds, or flowers.

*Brassica oleracea*  
(a common wild mustard)



Selection for terminal buds

Selection for lateral buds

Selection for stem

Selection for leaves

Selection for stems and flowers

Selection for flower clusters



Cabbage

Brussels sprouts

Kohlrabi

Kale

Broccoli

Cauliflower

- **2.1. Medindo a variação genética populacional.**
- Uma população local que mantém cruzamento interno aleatório é dita em situação mendeliana.
- A medida da variação genética é dada pela contagem de cada alelo nos indivíduos, resultando na frequência dos alelos desta população.
- Usa-se amostrar a população. A soma das frequências alélicas num locus é = 1. Cada alelo terá a sua frequência entre 0 e 1.

$$p = \frac{\text{number of copies of the allele in the population}}{\text{sum of alleles in the population}}$$

- **2.1. Medindo a variação genética populacional.**

- Por exemplo, se **A** e **a** são os dois alelos em questão, as combinações possíveis serão: **AA**, **Aa**, and **aa**.
- As frequências relativas numa população de **N** indivíduos serão calculadas a partir de:
- $N_{AA}$ ;  $N_{Aa}$ ;  $N_{aa}$ , ou seja, o número de indivíduos homocigotos dominantes, heterocigotos e homocigotos recessivos.
- $N_{AA} + N_{Aa} + N_{aa} = N$ , o n° total de indivíduos na população e o número total de cópias dos dois alelos é  $= 2N$ , porque cada indivíduo é diplóide, tem dois alelos.

-

- **2.1. Medindo a variação genética populacional.**

- O n° total de alelos A na população é =  $2N_{AA} + N_{Aa}$ .

- O n° total de alelos a na população é =  $2N_{aa} + N_{Aa}$ .

- Caso **p** represente a frequência de **A** e **q** a de **a**, temos:

$$p = \frac{2N_{AA} + N_{Aa}}{2N}$$

$$q = \frac{2N_{aa} + N_{Aa}}{2N}$$

- Observar:  $p + q = 1$ ;  $q = 1 - p$ .

- **2.1. Medindo a variação genética populacional.**
- Por exemplo, procede-se o cálculo das frequências alélicas em duas populações de 200 indivíduos diplóides, a primeira, com 90 AA; 40 Aa e 70 aa; a segunda com 45 AA, 130 Aa e 25 aa.
- No exemplo a **frequência alélica** é a mesma.
- A outra questão importante é a **frequência dos genótipos, ou genotípica**, ou seja, das combinações dos alelos.
- Neste caso ela é diferente, como visto facilmente acima. Na população 1, predominam indivíduos homocigotos, mas na população 2 predominam indivíduos heterocigotos.
-

In any population:

$$\text{Frequency of allele } A = p = \frac{2N_{AA} + N_{Aa}}{2N}$$

$$\text{Frequency of allele } a = q = \frac{2N_{aa} + N_{Aa}}{2N}$$

where  $N$  is the total number of individuals in the population.

For population 1 (mostly homozygotes):

$$N_{AA} = 90, N_{Aa} = 40, \text{ and } N_{aa} = 70$$

so

$$p = \frac{180 + 40}{400} = 0.55$$

$$q = \frac{140 + 40}{400} = 0.45$$

For population 2 (mostly heterozygotes):

$$N_{AA} = 45, N_{Aa} = 130, \text{ and } N_{aa} = 25$$

so

$$p = \frac{90 + 130}{400} = 0.55$$

$$q = \frac{50 + 130}{400} = 0.45$$



- **2.1. Medindo a variação genética populacional.**
- 
- Observar que a frequência genotípica é calculada pela proporção entre o número que tem o genótipo pelo n° total de indivíduos na população.
-

- **2.1 Medindo a variação genética populacional.**
- Na população 1 as frequências genotípicas são: 0.45 AA, 0.20 Aa, 0.35 aa. Confirme esse cálculo.
- As duas frequências, alélica e genotípica descrevem a estrutura genética de uma população.
- Pode-se esperar variações nesta estrutura?
- Vamos ver que em equilíbrio, a estrutura genética de uma população se mantém.
- É o que ficou conhecido como o equilíbrio de Hardy-Weinberg.
-

### ● 3. O equilíbrio de Hardy-Weinberg.

- Sob determinadas condições de equilíbrio, entendido pela falta de pressão seletiva, numa dada população, a estrutura genética mantém-se.
- Isto foi descoberto pelos cientistas que descobriram o estado de equilíbrio H-W.
- Uma população em equilíbrio é chamada de **panmítica**. As condições para que uma população mantenha o equilíbrio H-W são:
  - **Reprodução sexual com cruzamento ao acaso;**
  - **População larga, muitos indivíduos;**
  - **Ausência de migração/imigração, sem fluxo gênico entre populações;**
  - **Ausência de mutações;**
  - **Ausência de pressão seletiva sobre os alelos.**

### ● 3. O equilíbrio de Hardy-Weinberg.

- Nestas condições, espera-se após uma geração de cruzamentos ao acaso, as frequências genotípicas sejam descritas como (no exemplo AA Aa aa):

- $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ , onde:

- $p^2$  = frequência do homocigoto dominante;
- $q^2$  = frequência do homocigoto recessivo;
- $2pq$  = frequência do heterocigoto.



### ● 3. O equilíbrio de Hardy-Weinberg.

- Por exemplo, na população 1 do primeiro exemplo.
- A frequência dos alelos são:
  - $A = 0,55$ ,
  - $a = 0,45$  ou  $1 - 0,55$ .
- A probabilidade de uma combinação no zigoto AA é  $= p^2 = 0,55^2 = 0,3025$ .
- Ou seja, 30,25% da progênie será AA.
- Da mesma forma,  $q^2 = 0,45^2 = 0,2025$ .
- Para o heterozigoto, será  $2 pq = 2 \times (A \times a) = 2 \times 0,2475 = 0,495$

### ● 3. O equilíbrio de Hardy-Weinberg.

- O equilíbrio Hardy–Weinberg é importante porque desvios neste equilíbrio podem indicar processos evolutivos.
- Nesta situação, haverá uma diferença entre as frequências observadas e aquelas esperadas pelo equilíbrio H-W.
- Também é muito usado para o cálculo de frequências alélicas e genotípicas em populações panmíticas, aquelas que atendem as exigências para o equilíbrio H-W.
-

### Generation I



Genotypes

$AA$

$Aa$

$aa$

Frequency of genotypes in population

0.45

0.20

0.35

Frequency of alleles in population

$0.45 + 0.10$

$p = 0.55$

$(A)$

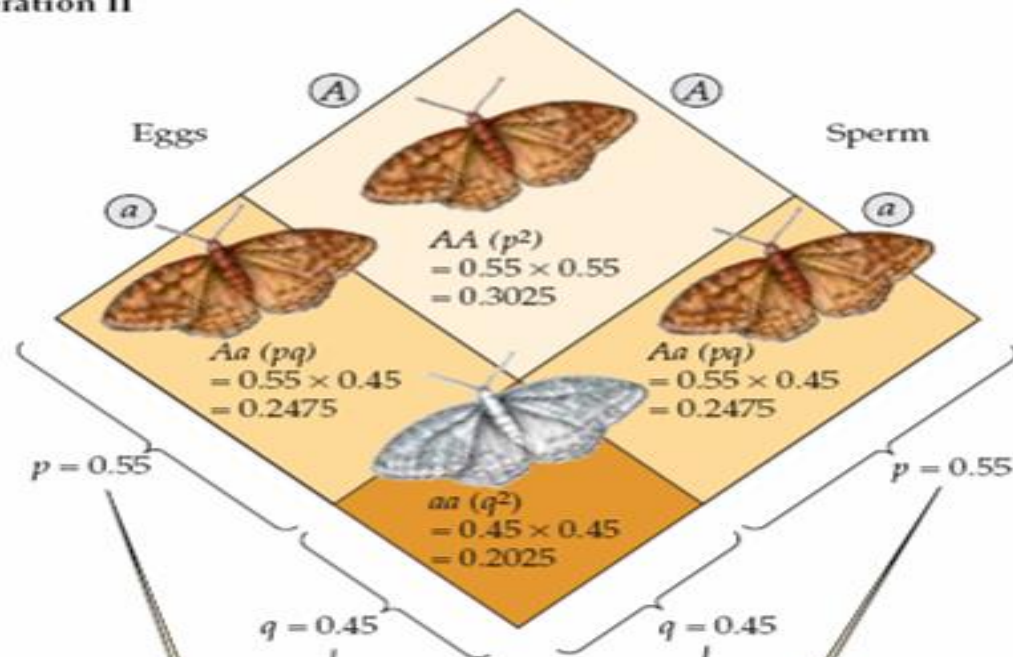
$0.10 + 0.35$

$q = 0.45$

$(a)$

Gametes

### Generation II



Adding the four genotype frequencies gives the Hardy-Weinberg equation:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

- **3.1. O equilíbrio de Hardy-Weinberg: exercícios.**

- Exemplos: exercícios de estimativas:

- 1) Alelos múltiplos ou polialelia.

- Nesta situação assumir o equilíbrio como descrito pela fórmula:

- $p^2+2pq+2pr+q^2+2qr+r^2 = 1$ , onde:

- $p^2$  = frequência do homocigoto dominante;

- $q^2$  = frequência de um dos homocigotos recessivos;

- $r^2$  = frequência do outro homocigoto recessivo.

- $2pq$  = frequência de um dos heterocigotos com o dominante;

- $2pr$  = frequência do outro heterocigoto com o dominante;

- $2qr$  = frequência da associação dos recessivos.



- **3.1. O equilíbrio de Hardy-Weinberg: exercícios.**
- Exemplos: exercícios de estimativas:
- Certa população apresenta as seguintes frequências para uma série de alelos múltiplos:  $A = 20\%$ ;  $a^1 = 10\%$ ;  $a^2 = 70\%$ . Sabendo-se que a população é panmítica, a frequência de indivíduos com o genótipo  $a^1a^2$  é qual?:
- 2. Apenas dois alelos, um dominante e outro recessivo.
- 2.1 Numa outra população o alelo **B** ocorre em 70% com relação ao alelo **b**.
- Qual a frequência do genótipo heterozigoto nesta população em equilíbrio?

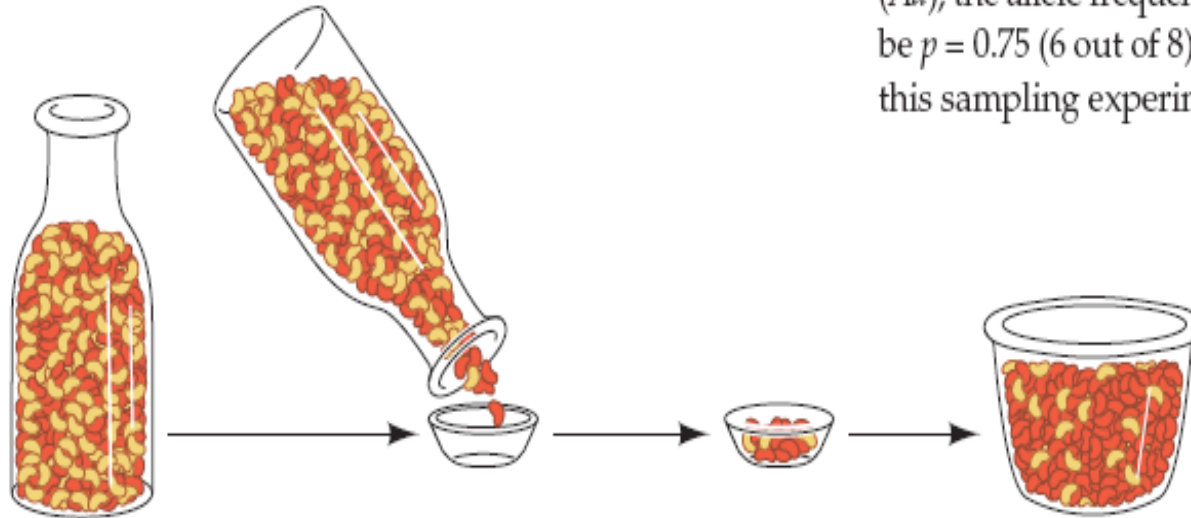
- **3.1. O equilíbrio de Hardy-Weinberg.**

- 2.2 Em população teórica panmítica, avalia-se as frequências genotípicas relacionadas ao grupo sanguíneo MN.
- O grupo MN indica uma herança co-dominante do grupo sanguíneo, formado pelos alelos  $L^M$  e  $L^N$ .
- Em 10 000 indivíduos, 900 são do grupo N. Quantos MN deverão ser encontrados?

- 4. Fatores de alteração do equilíbrio de Hardy-Weinberg em função da deriva genética: o gargalo de garrafa.
- O primeiro fator a considerar é uma profunda redução na população em situações conhecidas como gargalo de garrafa populacional.
- Nesta situação a deriva genética causa grandes modificações na estrutura genética.
-

- 4. Fatores de alteração do equilíbrio de Hardy-Weinberg em função da deriva genética: o gargalo de garrafa.
- Por exemplo, partindo-se de numa amostra de *Drosophila*, um dado cruzamento  $Aa \times Aa$ :
- Resulta em F1 com frequências alélicas  $p = q = 0.5$ ;
- Frequências genotípicas 0.25 AA, 0.50 Aa, e 0.25 aa.
- Em 4 indivíduos, ou seja, 8 cópias dos genes, da F2, a frequência alélica pode ser muito diferente. Caso forem 2 AA e 2 Aa, indicaria  $p = 0.75$  (6 de 8) e  $q = 0.25$  (2 de 8).
- Replicando-se este experimento 1000 vezes, ocorreria a perda de um dos alelos em 8 amostras.
-

(*iii*), the allele frequencies in this "surviving population" will be  $p = 0.75$  (6 out of 8) and  $q = 0.25$  (2 out of 8). If we replicate this sampling experiment 1,000 times, one of the two alleles



**1** The original population has approximately equal frequencies of red and yellow alleles.

**2** A chance environmental event greatly reduces the population size.

**3** The surviving population has different allele frequencies from the original population...

**4** ...which generates a new population with more red than yellow alleles.

**23.8 A Population Bottleneck**  
Population bottlenecks occur when only a few individuals survive a random event, resulting in a shift in allele frequencies within the population.

- **5. Fatores de alteração do equilíbrio de Hardy-Weinberg em função da deriva genética: o efeito do fundador.**
- O efeito do fundador ocorre quando poucos pioneiros colonizam uma nova região e levam uma diversidade genética muito menor do que a original.
- É equivalente ao efeito do gargalo de garrafa.
- Vários mecanismos de cruzamento não aleatório ainda contribuem para alterações na estrutura genética de uma dada população. São citadas as preferências de cruzamento em determinados fenótipos e a auto-fecundação, ambas em plantas.

- **6. A seleção natural: modificações nos fenótipos predominantes e estabilização.**
- **C. Microevolução e macroevolução.**
- A evolução ou melhor, o resultado evolutivo é geralmente dividido em micro e macroevolução.
- **Macroevolução** é o desenvolvimento que ocorre acima do nível populacional, como a especiação (formação de nova espécie) ou a extinção (desaparecimento de uma espécie).
- **Microevolução** é o desenvolvimento observado a nível genético, que acarreta pequenas transformações evolutivas ou adaptações dentro da população.
- O período de tempo necessário é o principal fator que diferencia macro e microevolução.

## •6. Resultados da seleção natural.

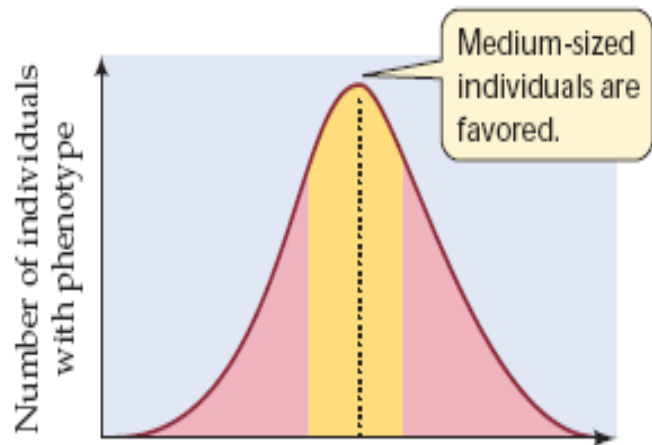
- A **adaptação** é o resultado geral esperado da seleção natural.
- 
- Para compreender melhor este resultado, divide-se a seleção natural em:
  - **Estabilizadora;**
  - **Direcional;**
  - **Disruptiva.**
- A seleção **estabilizadora** tende a preservar os fenótipos intermediários, heterozigotos. É muito mais observada na seleção de fenótipos de características quantitativas como a altura ou peso dos indivíduos.
-



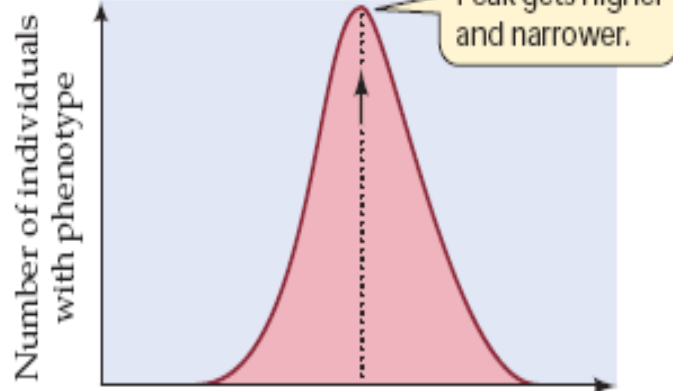
## •6. Resultados da seleção natural.

- A seleção **direcional** favorece aqueles indivíduos que situam-se numa das tendências com relação à média dos indivíduos, acima ou abaixo, melhor adaptados a situações específicas.
- A seleção **disruptiva** favorece indivíduos em ambas as tendências com relação à média.
- Debater exemplos.

(a) **Stabilizing selection** reduces variation but does not change the mean.

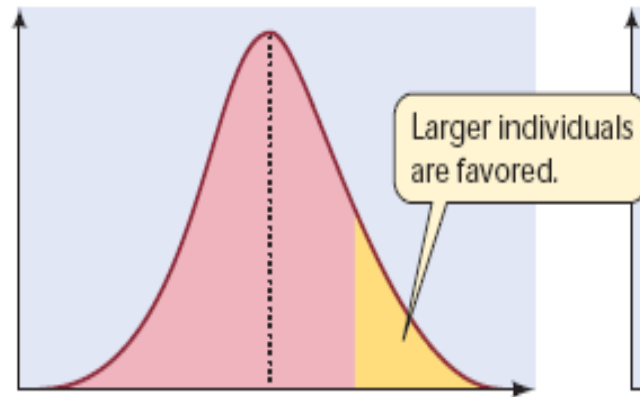


Selection

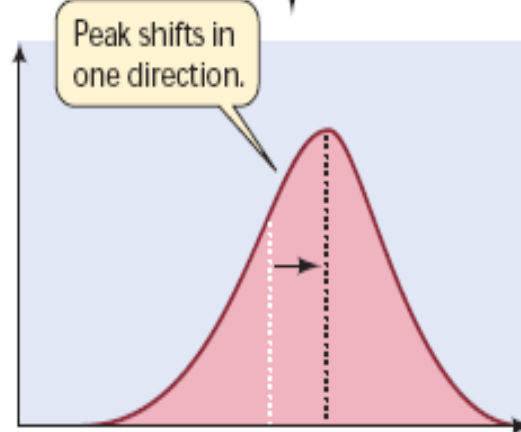


Body size

(b) **Directional selection** changes the mean value of the character (in this case, toward larger size).

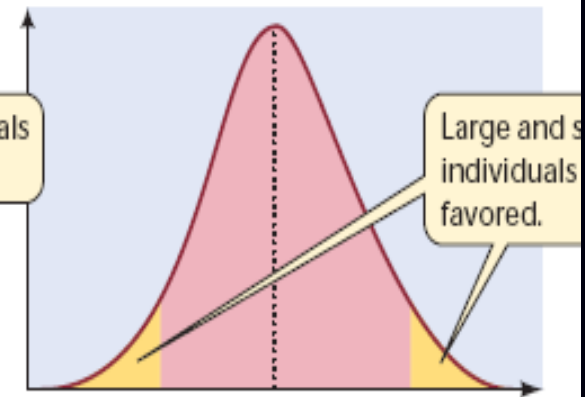


Selection

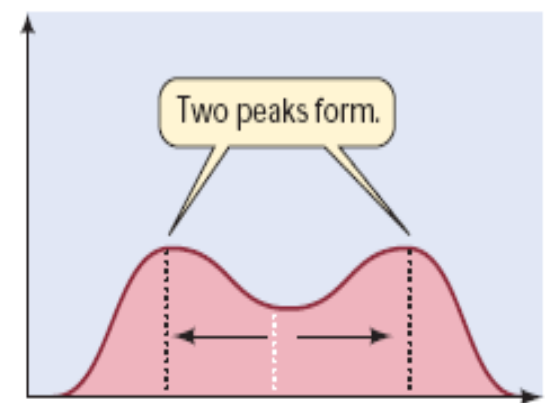


Body size

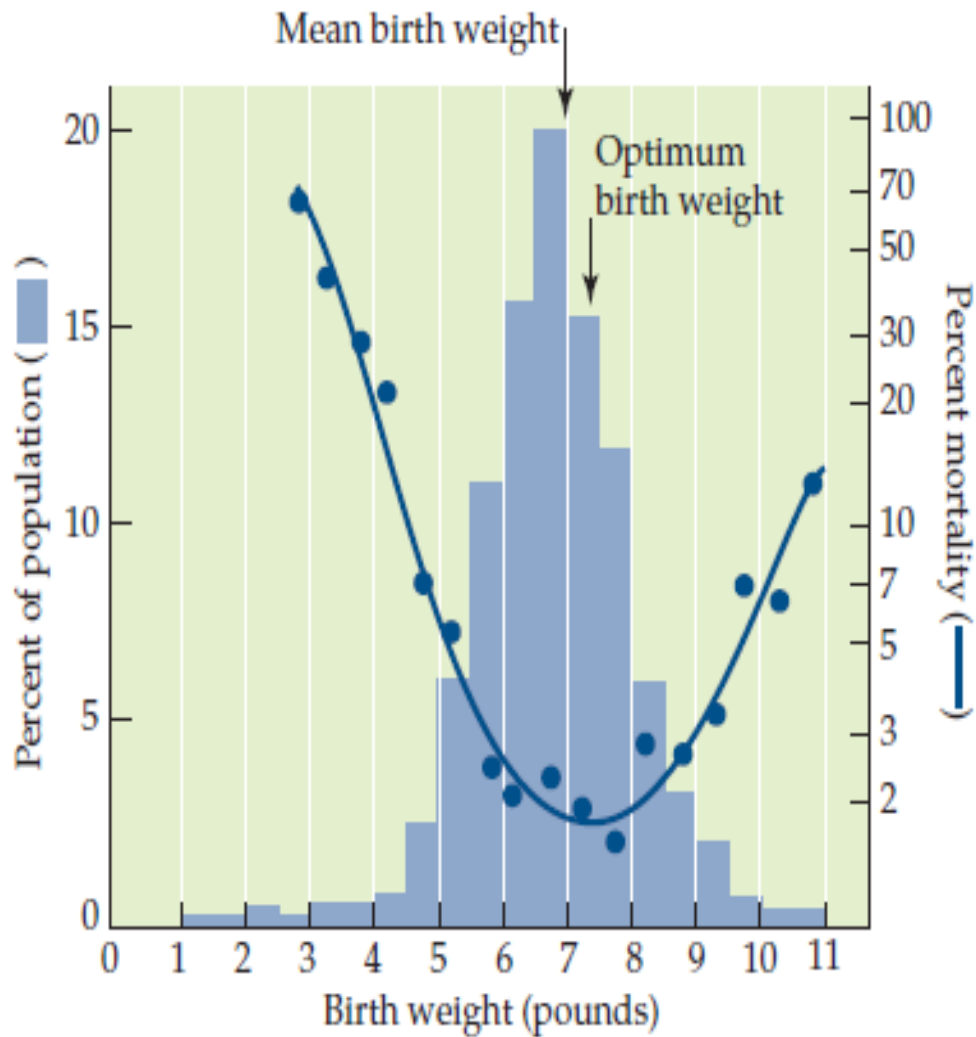
(c) **Disruptive selection** favors both extremes and produces two peaks in the distribution of a character.



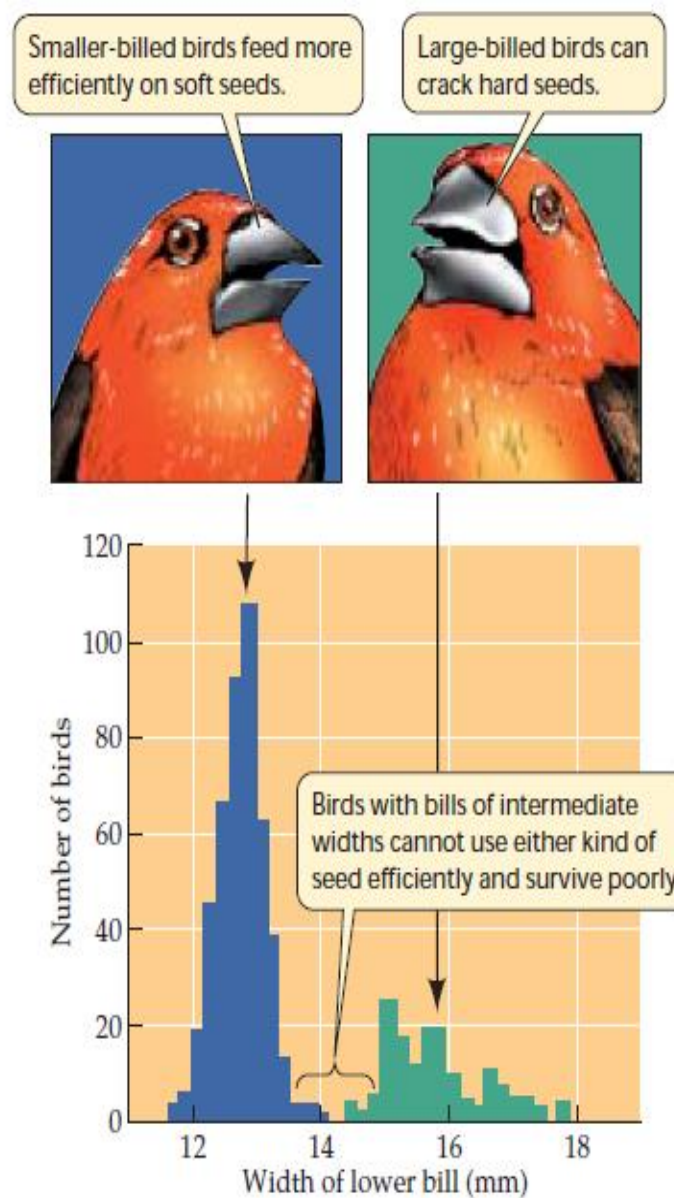
Selection



Body size



**23.13 Human Birth Weight Is Influenced by Stabilizing Selection**  
 Babies that weigh more or less than average are more likely to die soon after birth than babies with weights close to the population mean.



**23.15 Disruptive Selection Results in a Bimodal Distribution**  
 The bimodal distribution of bill sizes in the black-bellied seedcracker of West Africa is a result of disruptive selection, which favors individuals with larger and smaller bill sizes over individuals with intermediate-sized bills.

## • 9. Seleção sexual.

• A última forma de seleção é a sexual, observada inicialmente por Darwin. Na seleção sexual, fenótipos atrativos são selecionados.

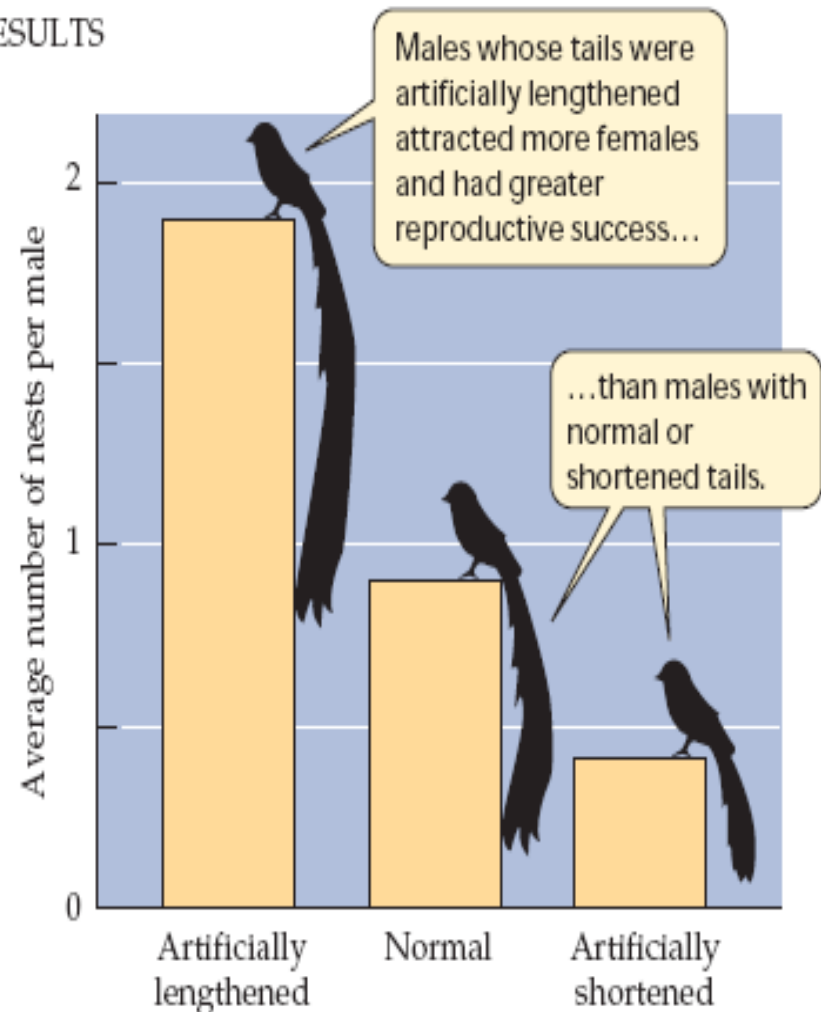
• Debater este aspecto.

### EXPERIMENT

**Hypothesis:** Sexual selection favors the evolution of long tails in African long-tailed widowbirds.

**METHOD** Capture males and artificially lengthen or shorten their tails by cutting feathers or gluing on feathers.

**RESULTS**



**Conclusion:** Sexual selection in widowbirds favors long tails.