

# GENÉTICA DE POPULAÇÕES

Conceito geral de populações

Frequências alélicas e genotípicas

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Estrutura genética de populações

Fatores que afetam o equilíbrio de H-W:  
mutação, seleção, migração, deriva

# Estrutura genética de populações

a1a1    a2a2    a2a3    a2a2

a2a3    a1a2    a2a3    a3a3

a2a2    a1a1    a1a3    a3a3

Ex: pop. de Ipê Roxos  
do campus da ESALQ

Freqüências genotípicas:

$$f(a1a1) = 2/12 = 0,17$$

$$f(a1a2) = 1/12 = 0,08$$

$$f(a2a2) = 3/12 = 0,25$$

$$f(a1a3) = 1/12 = 0,08$$

$$f(a3a3) = 2/12 = 0,17$$

$$f(a2a3) = 3/12 = 0,25$$

$$0,17 + 0,25 + 0,17 + 0,08 + 0,08 + 0,25 = 1$$





# Estrutura genética de populações

a1a1	a2a2	a2a3	a2a2
a2a3	a1a2	a2a3	a3a3
a2a2	a1a1	a1a3	a3a3

Ex: pop. de Ipê Roxos  
do campus da ESALQ

Freqüências alélicas:

$$f(a1) = 6/2 \times 12 = 6/24 = 0,25$$

$$f(a2) = 10/24 = 0,42$$

$$f(a3) = 8/24 = 0,33$$

$$0,25 + 0,42 + 0,33 = 1$$



# Estrutura genética de populações

a1a1   a2a2   a2a3   a2a2  
a2a3   a1a2   a2a3   a3a3  
a2a2   a1a1   a1a3   a3a3

Ex: pop. de Ipê Roxos  
do campus da ESALQ

Outros parâmetros populacionais:

Número de alelos/loco  $\Rightarrow A = 3$

Heterozigosidade observada  $\Rightarrow$

$$H_o = \frac{n^{\circ} \text{ het}}{n_{TI}} = \frac{5}{12} = 0,42$$

## Equilíbrio de Hardy-Weinberg

*"Se os cruzamentos forem ao acaso (sem autofecundações ou cruzamentos controlados), se todos os indivíduos forem férteis e viáveis, e se não houverem fatores como a **seleção**, **mutação**, **migração**, **erosão genética (deriva genética)**, tanto as frequências alélicas como genotípicas se mantêm constantes de geração a geração, e a população encontra-se em equilíbrio".*

# Fatores que modificam as frequências gênicas

Mutação

Seleção

Migração

Deriva

# Mutação

As mutações podem ser de 2 tipos:

Mutação gênica ou mutação de ponto:

Alterações muito pequenas num número reduzido de nucleotídeos da molécula de DNA.

Mutação cromossômica ou aberração cromossômica:

Mutações que alteram de maneira visível ao microscópio, o número ou a estrutura dos cromossomos.

**Mutações cromossômicas** -> ocorrem ao nível do cromossomo

→ **Mutações numéricas**

(aberrações numéricas) -> variações no número de cromossomos

→ **Mutações estruturais**

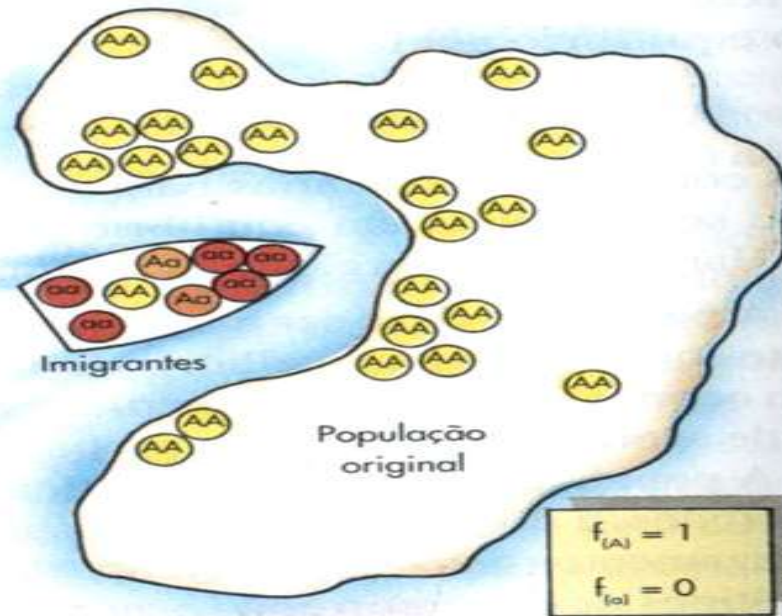
(aberrações estruturais) -> variações na estrutura dos cromossomos

(mais detalhes serão dados na aula de mutação)

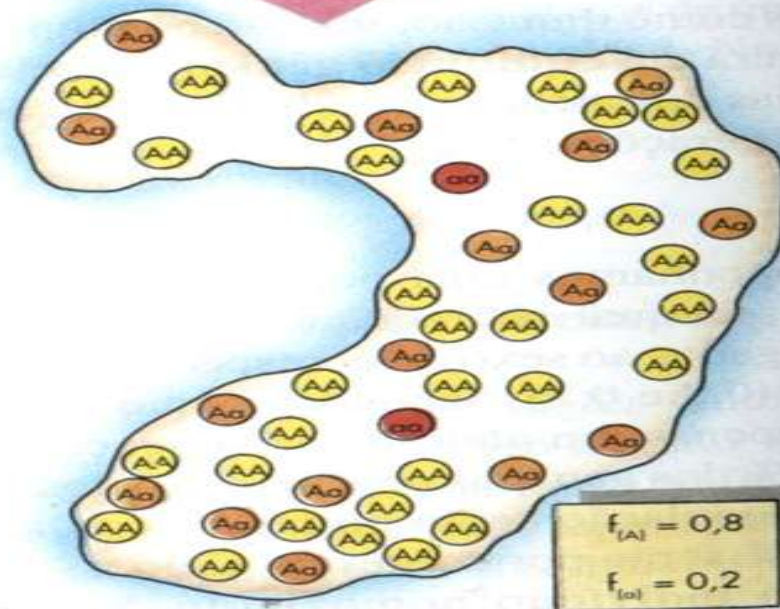


**Migração** ->  
chegada de  
novos alelos  
na população

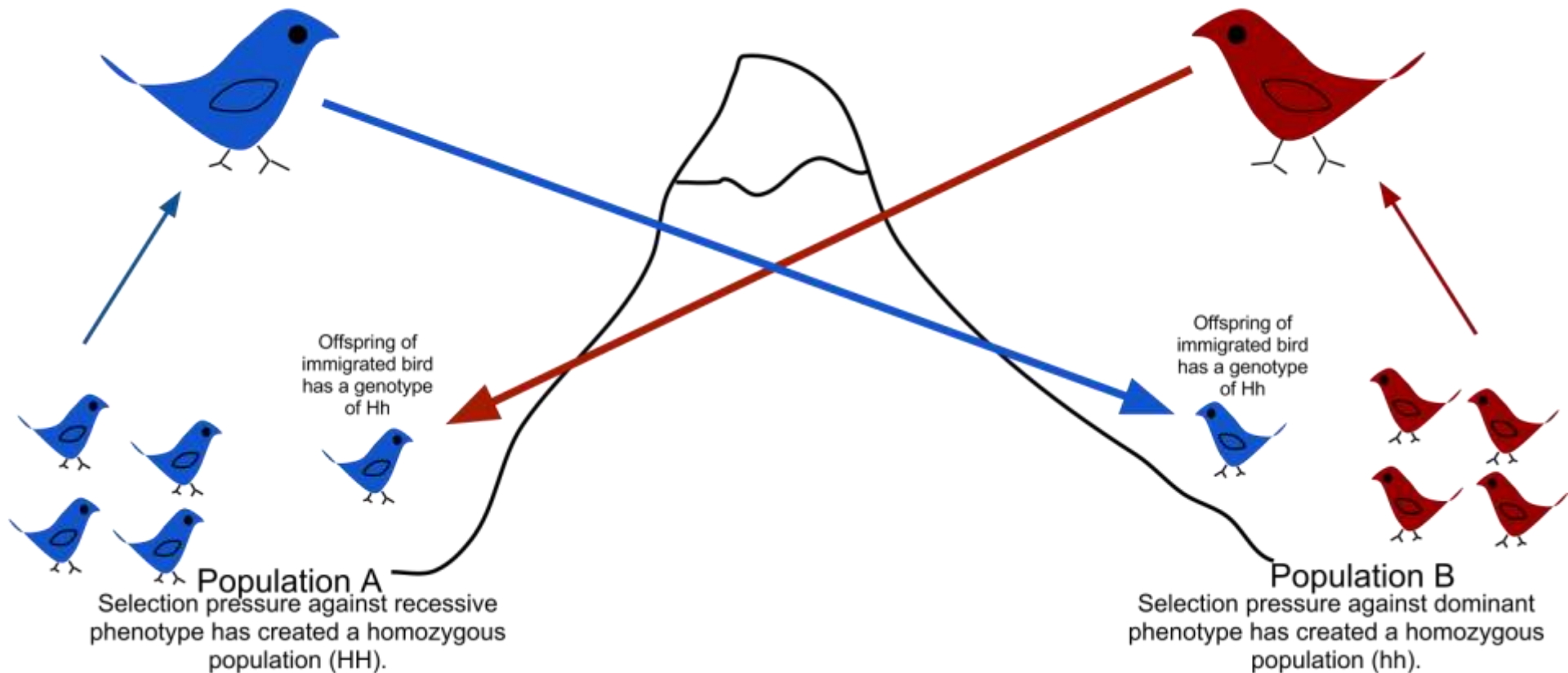
Alteração  
do Equilíbrio  
de H-W



Algumas gerações  
mais tarde



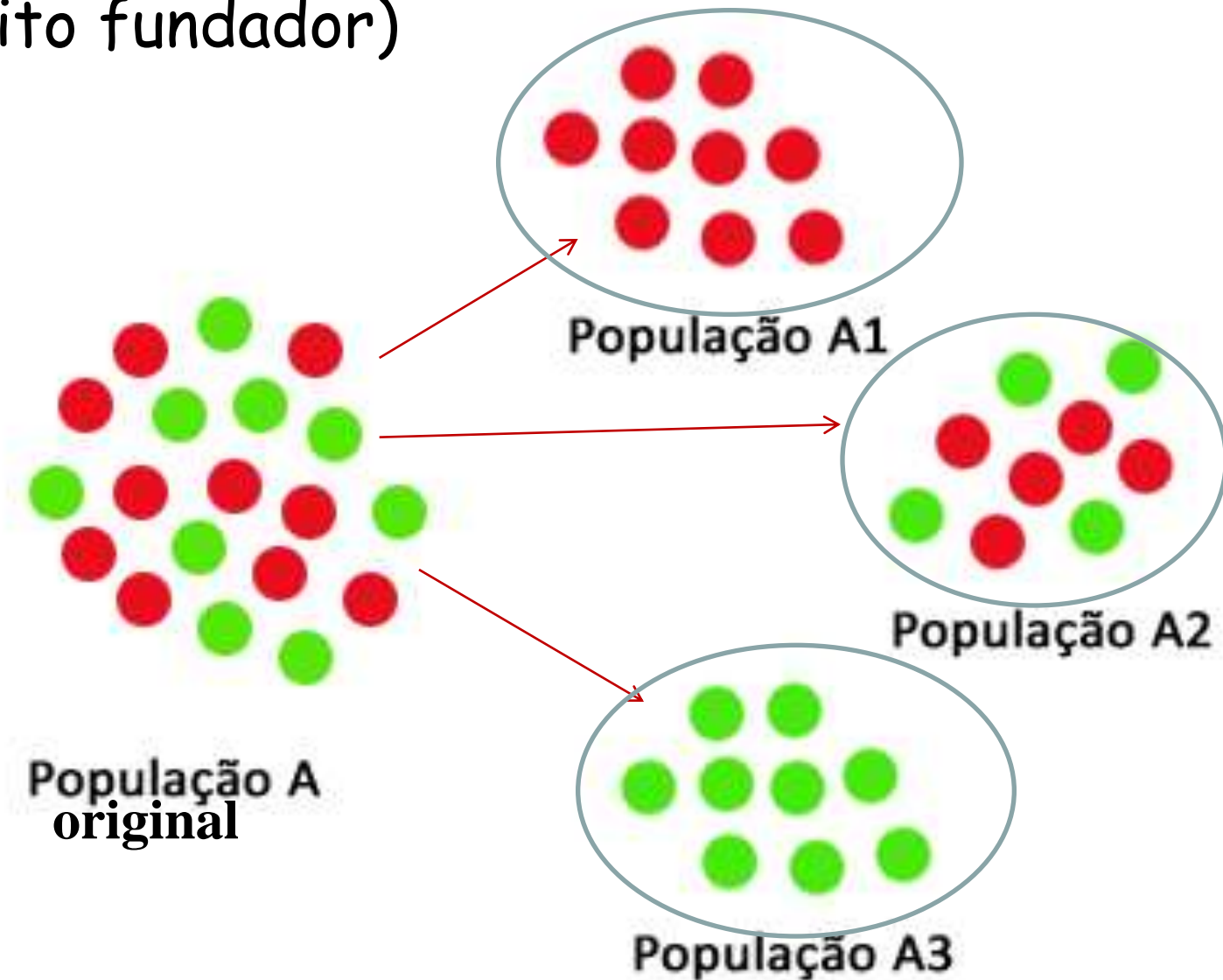
# Migração



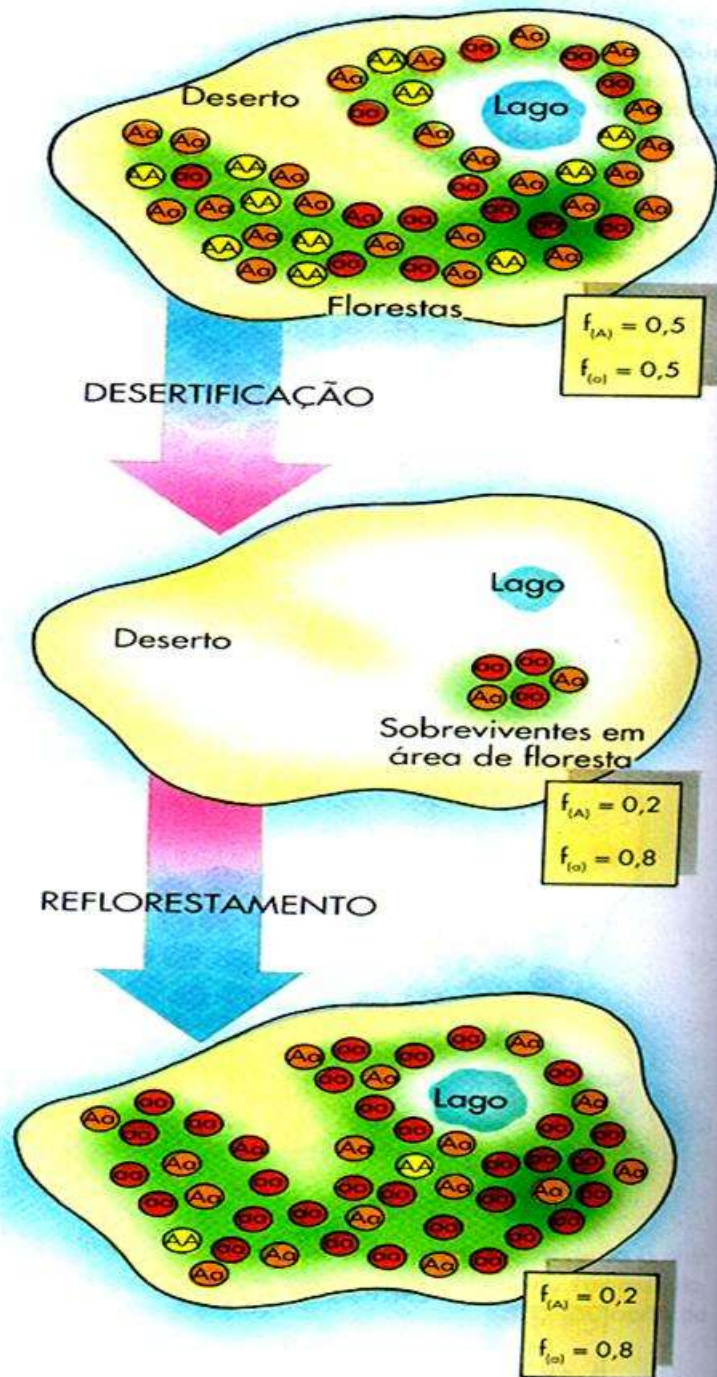
# Deriva genética (efeito fundador)



# Deriva genética (efeito fundador)







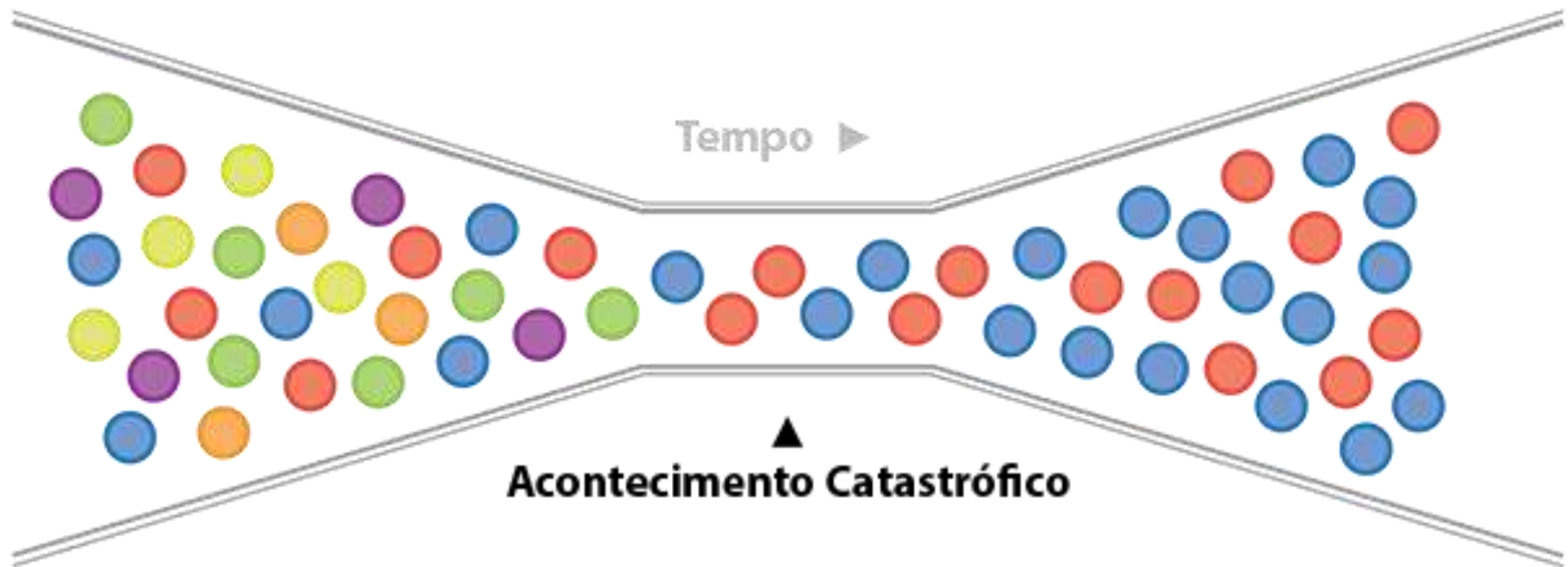
# Deriva genética

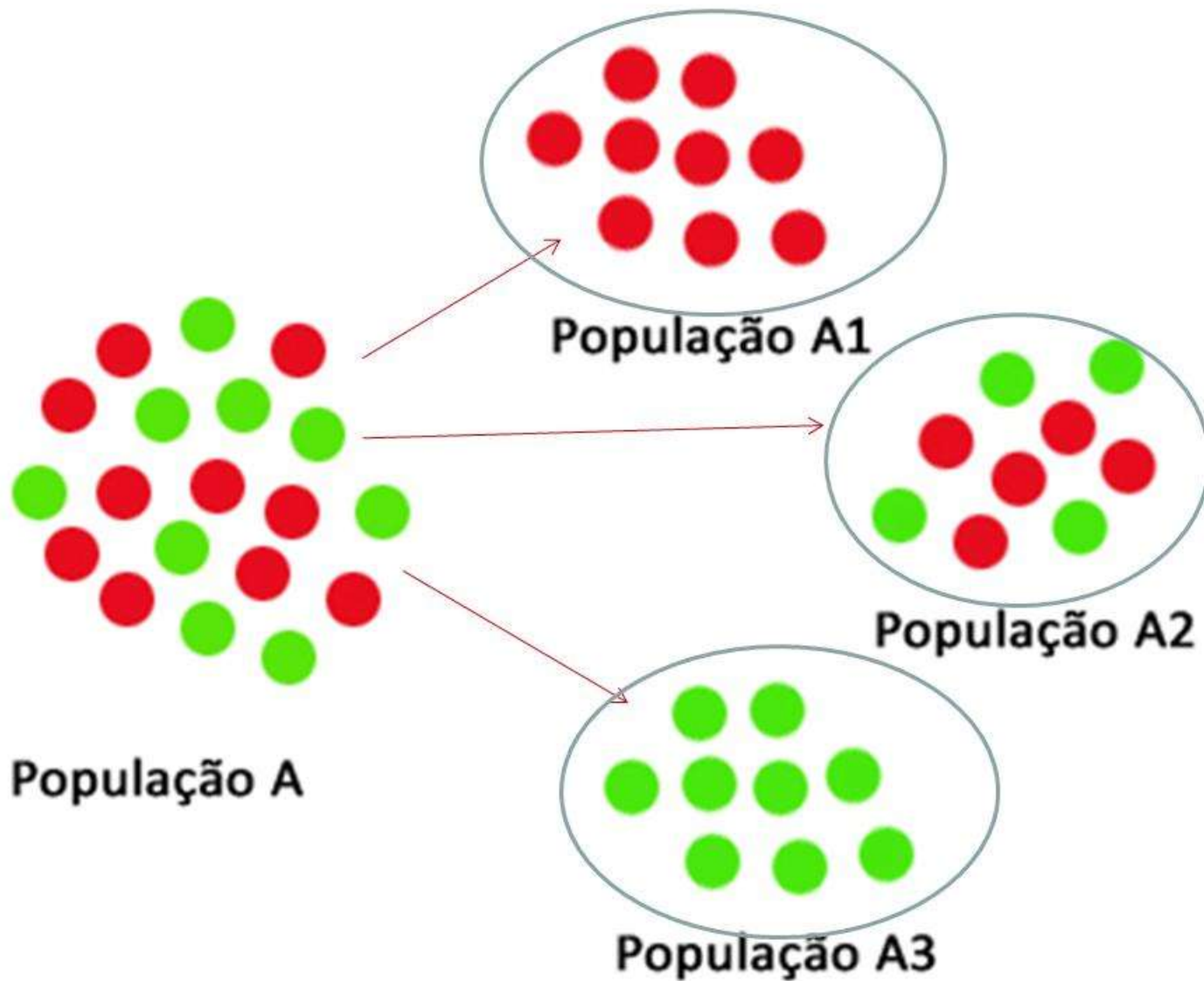
(efeito gargalo de garrafa)

OU

(afunilamento)

Deriva genética -> Gargalo de garrafa ou Afunilamento





# Seleção

## Seleção:

- eliminação de determinados genótipos da população
- Alterações nas frequências gênicas
- Alteração do equilíbrio de H-W

**Seleção Natural:** competição pela sobrevivência

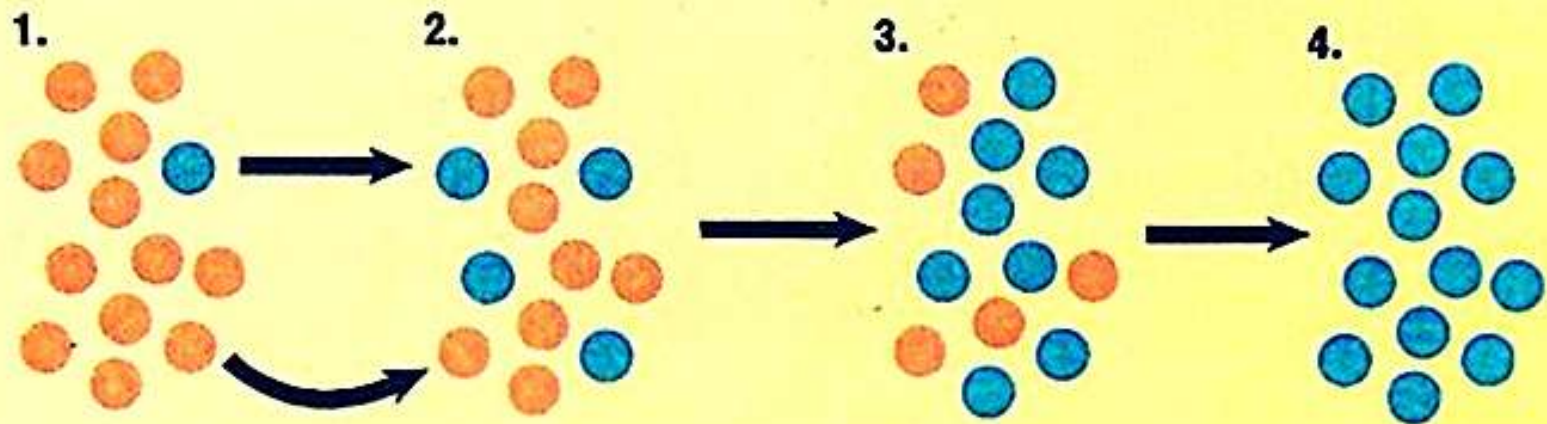
Ex.: Resistência de pragas a inseticidas

DDT → agente seletivo

- aumento da frequência dos genes de resistência às pragas
- menor eficiência do inseticida



## Diagrama da seleção natural com mutação



**Em 1 surge um ser mutante; este, por sua vez, mostra-se mais apto a sobreviver no ambiente. Em 2 seus descendentes começam a herdar suas características. Em 3 o tipo mutante já predomina sobre os outros e, finalmente, em 4 os seres considerados normais já desapareceram, dando lugar aos descendentes modificados pela mutação de seu ancestral.**

**Seleção Artificial:** Melhoramento genético de populações



Ex.: Seleção eliminando os homozigotos recessivos

População original de **repolhos**, antes dos cruzamentos eliminam-se todas as plantas susceptíveis (**ss**) (Seleção)

→ Após essa seleção como será a nova população?

Plantas (**ss**) não entrarão mais nos cruzamentos

[ As sementes a serem colhidas serão produzidas apenas pelas plantas (**SS**) e (**Ss**).

Assim:

Genótipos	População original		Plantas que participam dos cruzamentos, após a seleção	
	N	Freq.	N	Freq.
SS	n1	D	n1	$D1 = \frac{n1}{M}$
Ss	n2	H	n2	$H1 = \frac{n2}{M}$
ss	n3	R	0	$R1 = \frac{0}{M} = 0$
Total	N	1.0	$M=n1+n2$	1.0

A frequência dos gametas com S e s nas plantas que participarão dos cruzamentos será:

$$\text{Frequência (S)} = D1 + \left(\frac{1}{2}\right)H1 = \frac{n_1 + \left(\frac{1}{2}\right)n_2}{M} = p'$$

$$\text{Frequência (s)} = R1 + \left(\frac{1}{2}\right)H1 = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)n_2}{M} = q'$$

Ex: Em repolho, a resistência ao fungo Fusarium é dada por um gene dominante **R**. Uma variedade em equilíbrio de Hardy-Weinberg contem 75% de plantas resistentes. Qual será a porcentagem de plantas resistentes após **duas gerações de seleção contra os tipos susceptíveis?**

$R_*$  = Resistente;  $rr$  = susceptível

Genótipos:  $\frac{RR}{75\%}$  ;  $\frac{Rr}{25\%}$  ;  $\frac{rr}{25\%}$   
 (Frequência na pop. Original)

Genótipos	População Original		Plantas que participam dos cruzamentos, após a seleção	
	N.	Freq.	N.	Freq.
RR	25	$D = 0,25$	25	$D1 = 0,33$
Rr	50	$H = 0,50$	50	$H1 = 0,66$
rr	25	<del><math>R = 0,25</math></del>	0	$R1 = 0$
Total	100	1.0	75	1.0

$$f(R) \rightarrow p' = D + \frac{1}{2} H$$

$$p' = 0,33 + \frac{1}{2} 0,66 = 0,66$$

$$p+q = 1 \rightarrow q' = 1 - 0,66 = 0,34$$

Genótipos	N.	2º Geração	Plantas que participam dos cruzamentos, após a seleção na segunda geração	
		Freq.	N.	Freq.
RR	43	$D1 = (p')^2 = 0,435$	43	$D2 = 43/88 = 0,49$
Rr	45	$H1 = 2 \cdot p' \cdot q' = 0,45$	45	$H2 = 45/88 = 0,51$
rr	12	<del><math>R1 = (q')^2 = 0,115</math></del>	0	$R2 = 0$
Total	100	1.0	88	1.0

$$p'' = D2 + \frac{1}{2} H2 = 0,49 + \frac{1}{2} 0,51 = 0,74$$

$$q'' = 1 - p'' = 1 - 0,74 = 0,26$$

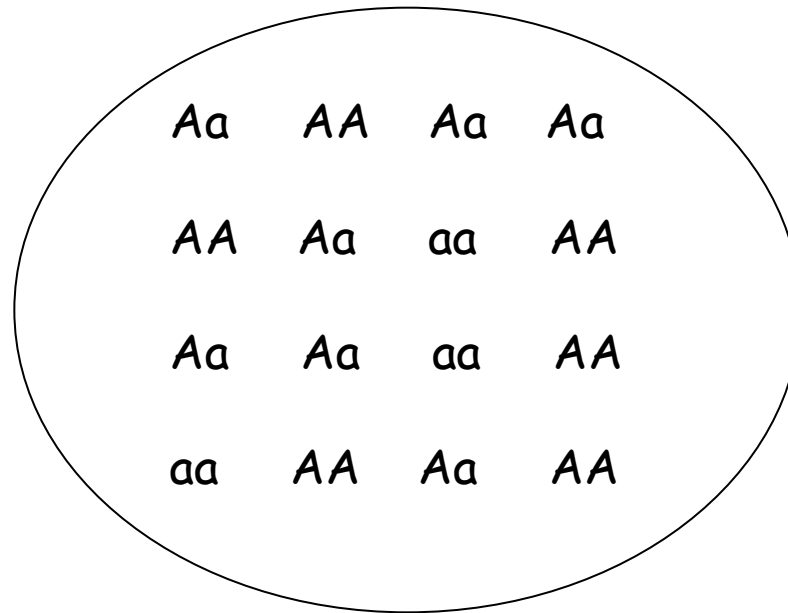
Genótipos	Após a seleção		
	N.	Frequência	
RR	55	$P2 = (p'')^2$	= 0,55
Rr	39	$Q2 = 2 \cdot p'' \cdot q''$	= 0,39
rr	6	$R2 = (q'')^2$	= 0,06
Total	100		1,00

$$\begin{aligned} \text{Plantas resistentes} &= RR = 55 \\ &Rr = \frac{39}{94} \end{aligned}$$

No total de 100 plantas ... temos 94% de plantas resistentes

Tínhamos 75% pls resistentes  $\rightarrow$  94% após duas gerações seleção

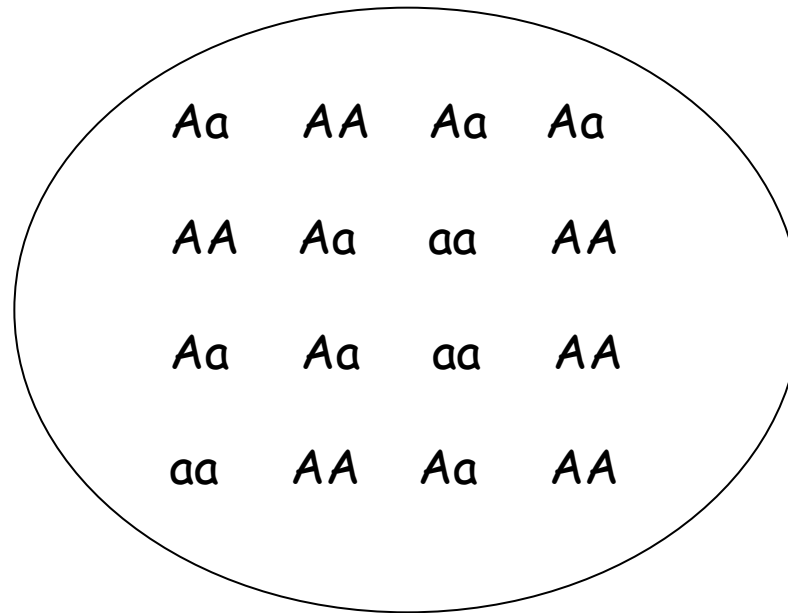
Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'



Genótipo	Nº de indivíduos	Frequência genotípica
AA		
Aa		
aa		
Total	16	1,0

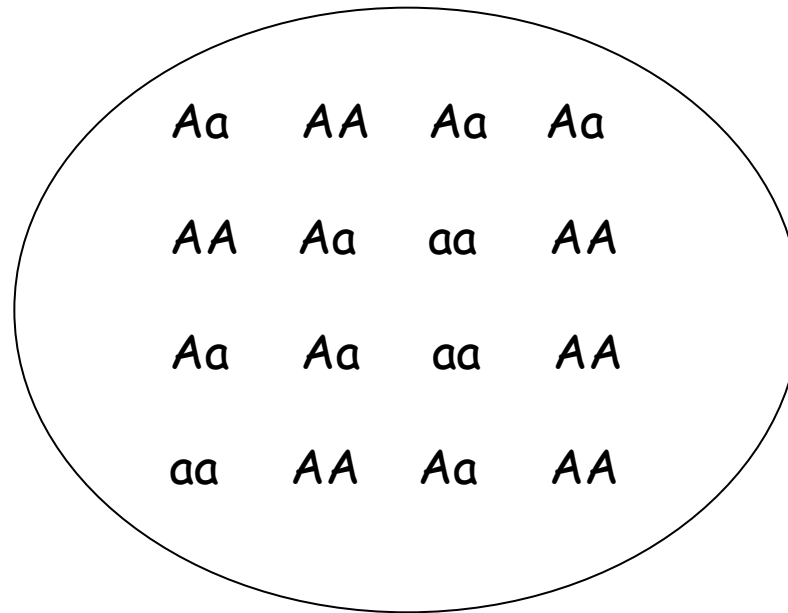


Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'



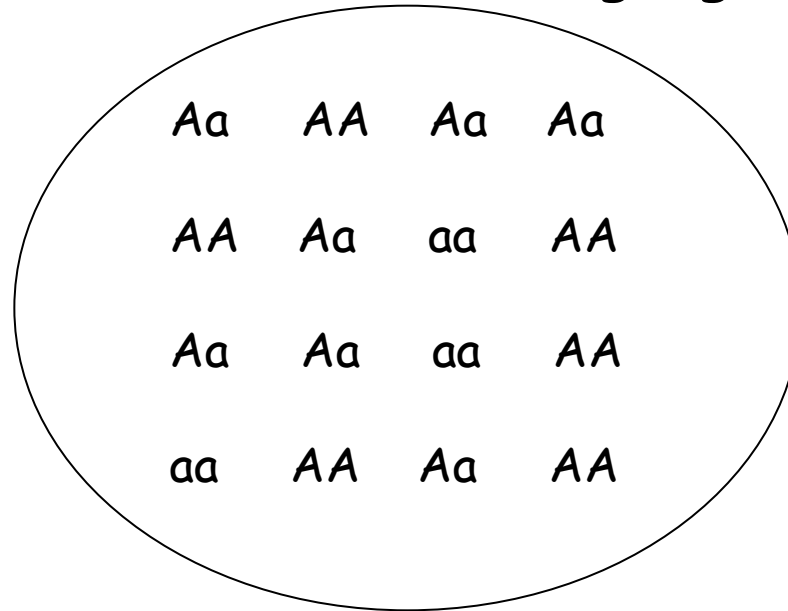
Genótipo	Nº de indivíduos	Frequência genotípica
AA	6	
Aa	7	
aa	3	
Total	16	1,0

Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'



Genótipo	Nº de indivíduos	Frequência genotípica
AA	6	$D = 6/16 = 0,375$
Aa	7	$H = 7/16 = 0,437$
aa	3	$R = 3/16 = 0,187$
Total	16	1,0

Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'



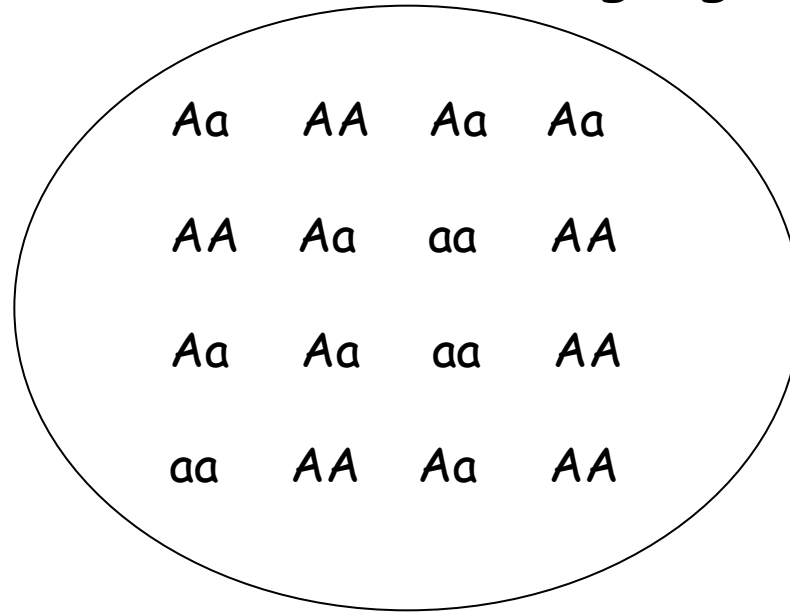
freqüência de A

$$f(A) = p = \frac{(2 \times 6) + 7}{2 \times 16} = \frac{19}{32} = 0,594$$

freqüência de a

$$f(a) = q = \frac{(2 \times 3) + 7}{2 \times 16} = \frac{13}{32} = 0,406$$

Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'

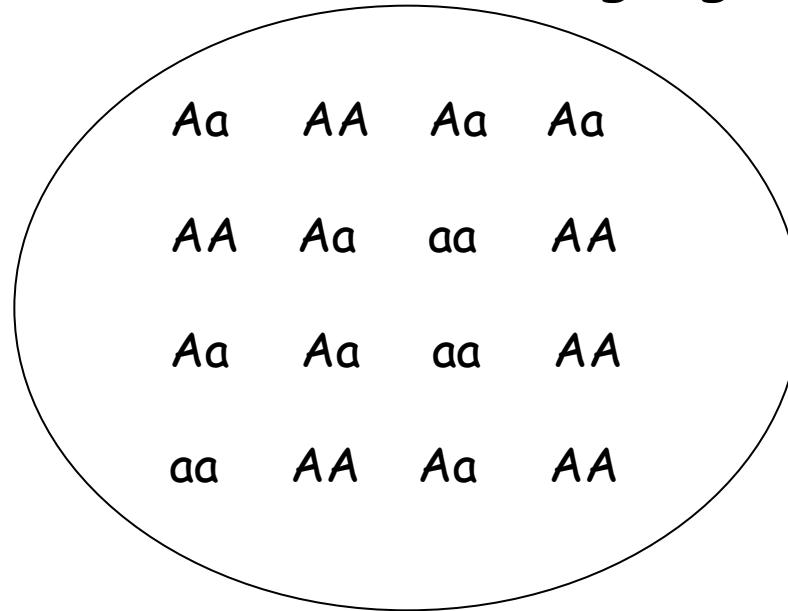


Outros parâmetros populacionais:

Qual o número de alelos/loco ?

$$A = 2$$

Ex: pop. com 16 indivíduos, segregando p/ o loco 'A'

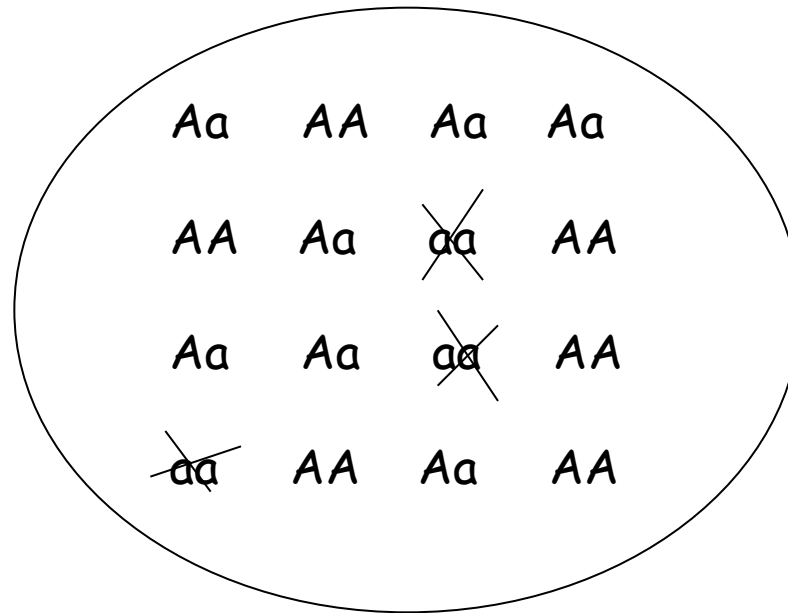


Qual a heterozigosidade observada ( $H_o$ ) ?

$$H_o = \frac{n^{\circ} \text{ het}}{n_{TI}} = \frac{7}{16} = 0,4375$$

# Exercícios para casa:

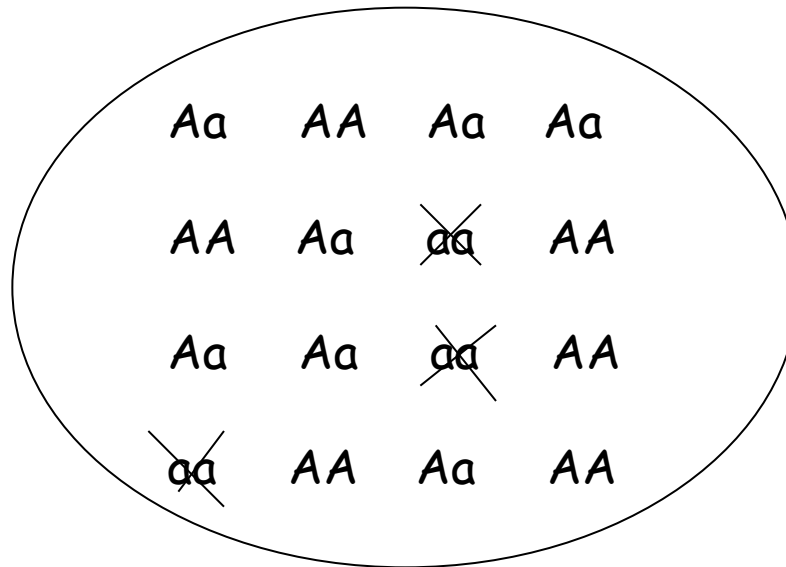
*SELEÇÃO* -> seleção visando eliminar o alelo recessivo "a"



Genótipo	Nº indivíduos antes	Nº indivíduos após a seleção	Frequência genotípica
AA	6		
Aa	7		
aa	3		
Total	16	13	1,0

## Exercícios para casa:

Seleção: contra o genótipo "aa" (suscetível)



frequência de  $A' = p' =$

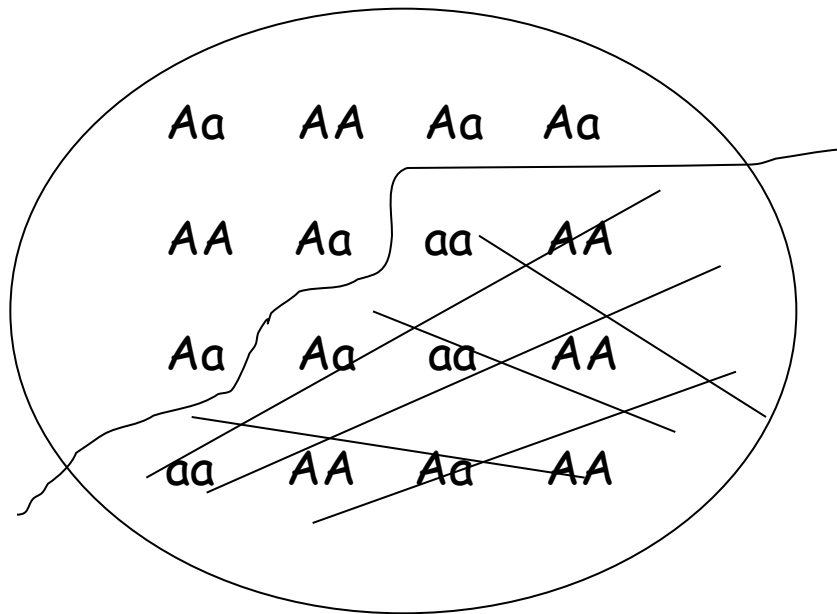
frequência de  $a' = q' =$

Qual a eficiência da seleção?  $\rightarrow \Delta p = p' - p =$

Significa o quanto a seleção modificou a frequência gênica.

# Exercícios para casa:

Deriva genética: ocorrência de fogo em parte da área

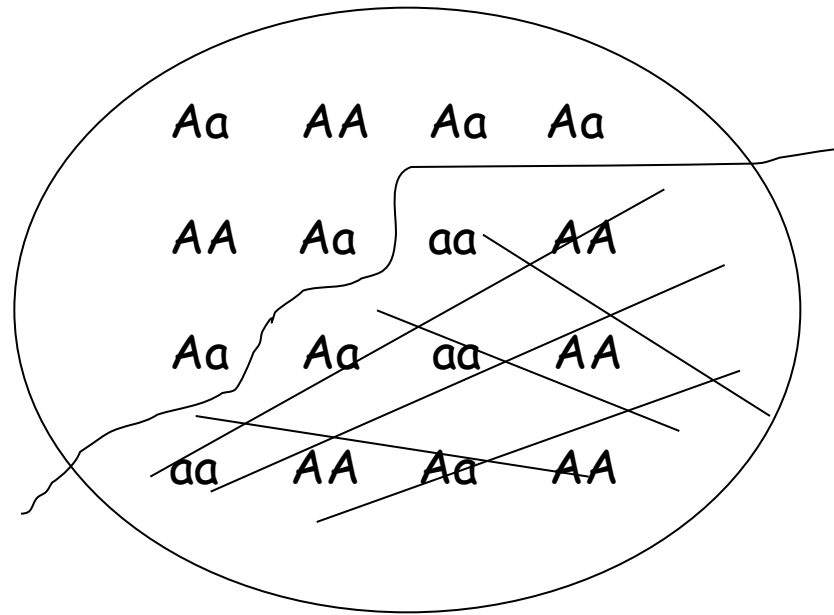


Genótipo	Nº indivíduos antes	Nº indivíduos após a deriva genética	Frequência genotípica
AA	6		
Aa	7		
aa	3		
Total	16	7	1,0



# Exercícios para casa:

Deriva genética: ocorrência de fogo em parte da área

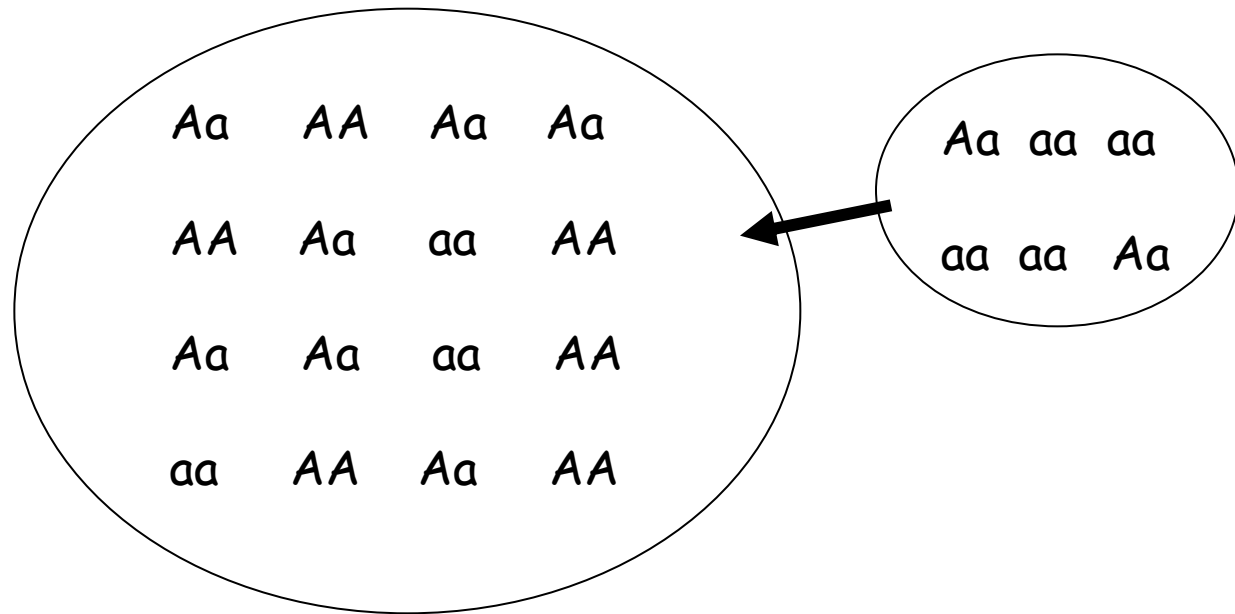


Frequência de  $A'$   
 $f(A') = p' =$

Frequência de  $a'$   
 $f(a') = q' =$

# Exercícios para casa:

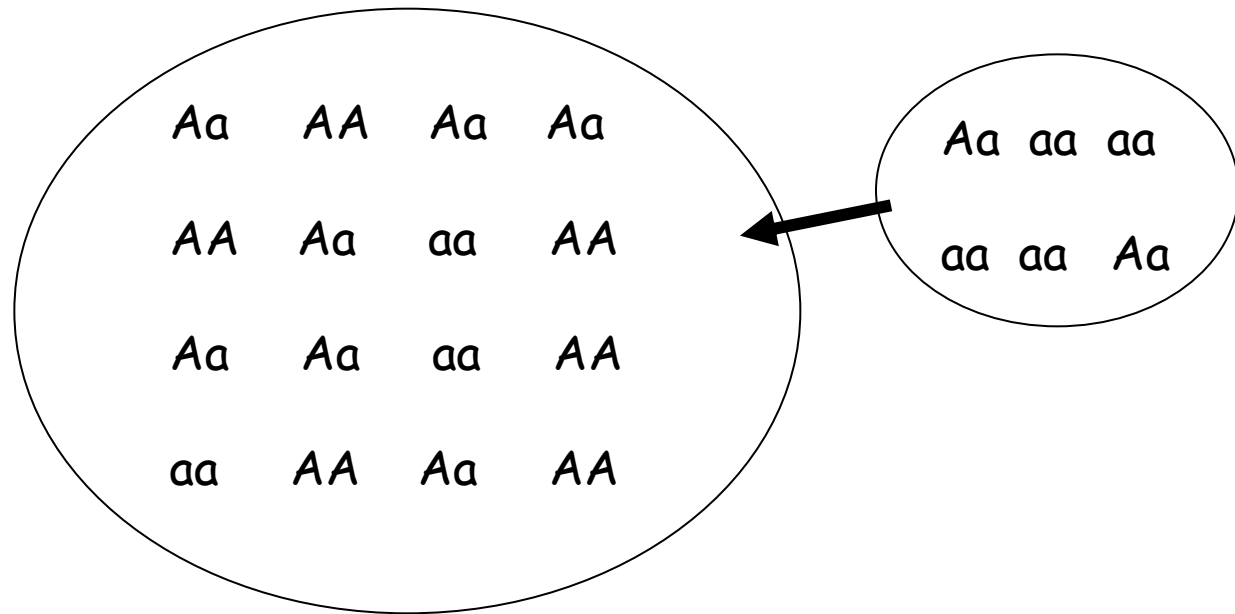
Migração: entrando mais 6 indivíduos na população



Genótipo	Nº indivíduos antes	Nº indivíduos após a migração	Frequência genotípica
AA	6		
Aa	7		
aa	3		
Total	16	22	1,0

# Exercícios para casa:

Migração: entrando mais 6 indivíduos na população



frequência de  $A' = p' =$

frequência de  $a' = q' =$

# Exercícios para casa:

## Alterações nas frequências gênicas ou alélicas

Alelos	População original	Após a seleção	Após a deriva genética	Após a migração
A	0,594			
a	0,406			
Total	1	1	1	1

## *Estudo para casa*



- 1) O que é endogamia?
- 2) Quais as consequências da endogamia?
- 3) Quais são os sistemas reprodutivos das plantas?
- 4) Como se pode calcular o coeficiente de endogamia? E a taxa de cruzamento?



# Endogamia

- \* Ocorre com populações com mobilidade dos indivíduos (ou gametas) restrita
- > os indivíduos tendem a se cruzar com os mais próximos
- > é quando os cruzamentos entre os membros da população não ocorre ao acaso
- > o resultado é: **endogamia**. Em animais, chama-se **consanguinidade**.

# Endogamia

- \* Esses cruzamentos, muitas vezes entre indivíduos aparentados (irmãs, primos, etc), elevam a proporção de homozigotos e reduzem a quantidade de heterozigotos da população.
- \* Plantas panmíticas (alógamas) e animais -> muitos locos em heterozigose.
- \* Plantas autógamas -> autofecundação natural já levou a uma situação de alta homozigose.

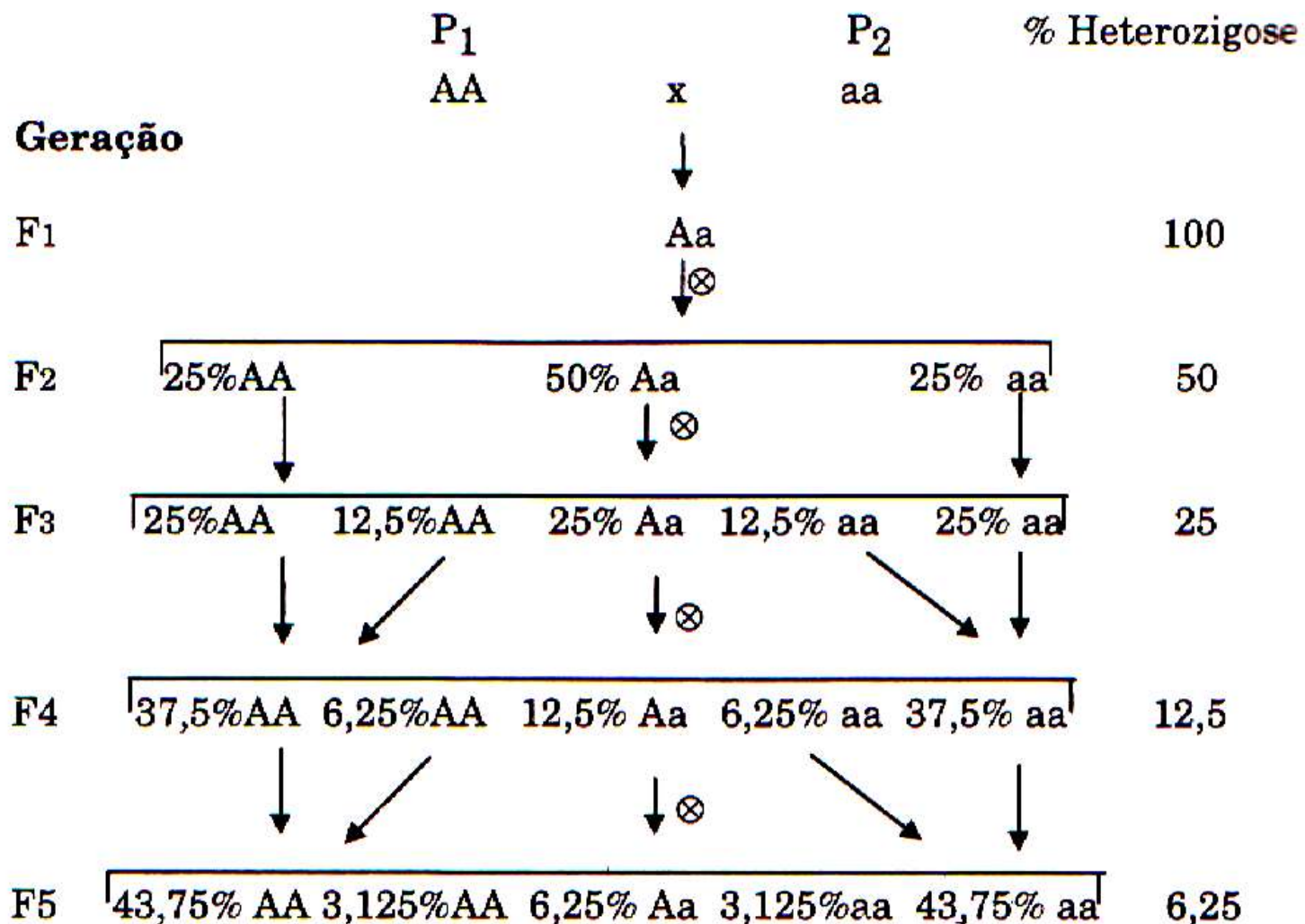


Figura 14.2 - Proporção de indivíduos homozigóticos e heterozigóticos em uma população submetida a sucessivas gerações de autofecundação.



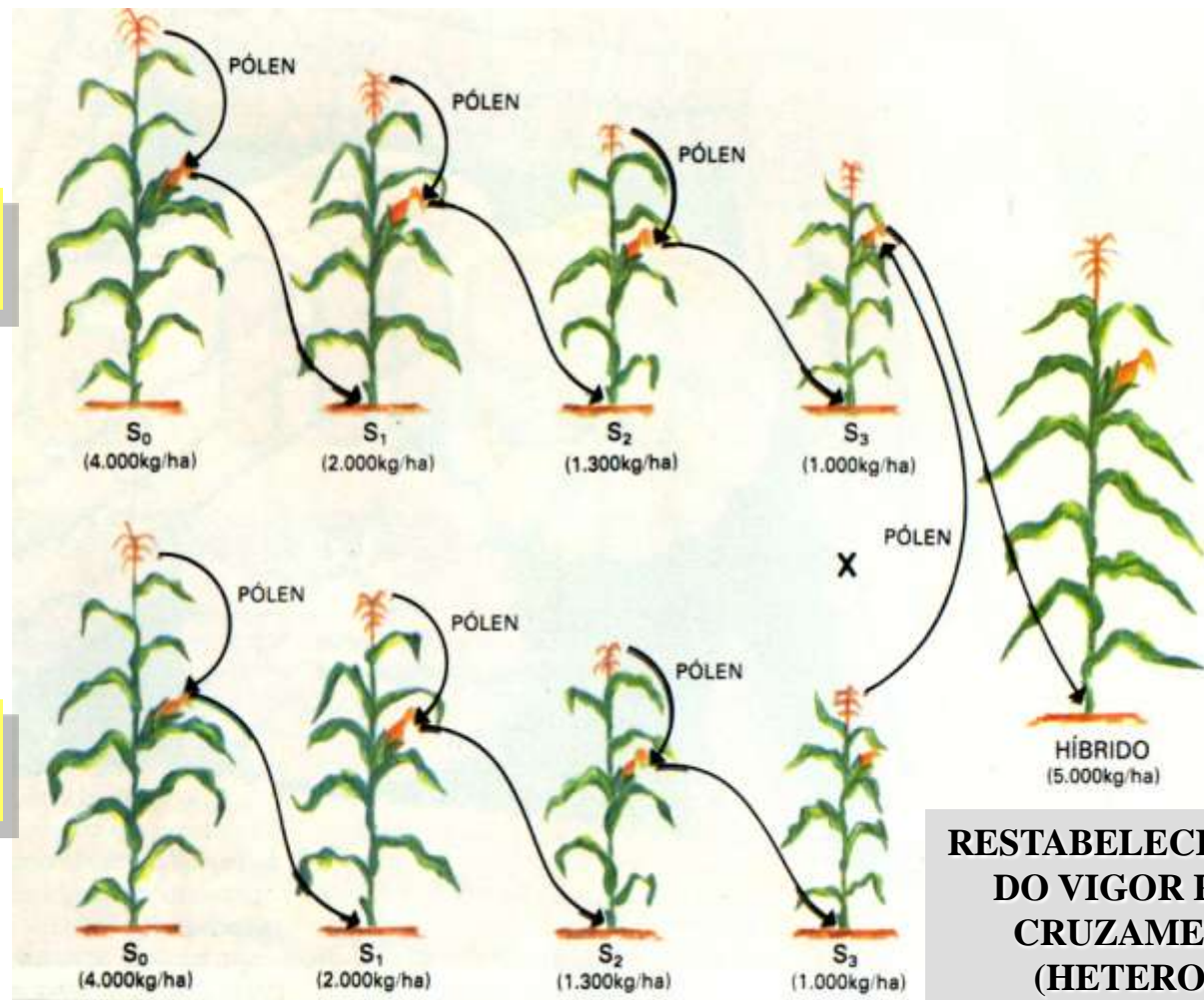
# Endogamia

- \* Muito usado no melhoramento, para obtenção de linhagens altamente homozigóticas -> linhas puras, raças puras, etc.
- \* Em seguida, há o cruzamento dessas linhagens para a obtenção de híbridos altamente heterozigóticos.

# OBTENÇÃO DE LINHAGENS E SÍNTESE DE HÍBRIDOS SIMPLES

POPULAÇÃO DE  
PLANTAS A

POPULAÇÃO DE  
PLANTAS B



RESTABELECIMENTO  
DO VIGOR PELO  
CRUZAMENTO  
(HETEROSE)

DEPRESSÃO DO VIGOR DEVIDO À ENDOGAMIA

# Sistemas Reprodutivos em Plantas:

## Sistema sexual:

Plantas alógamas (cruzamento)

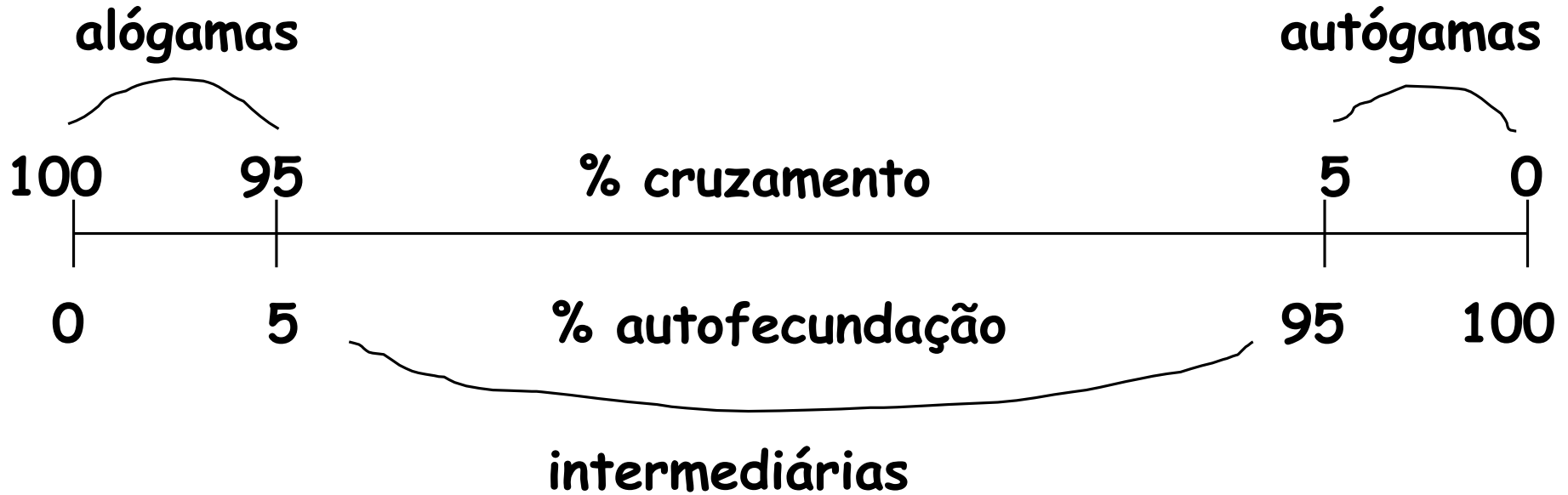
Plantas autógamas (autofecundação)

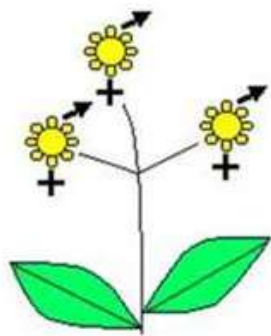
Plantas de sistema misto (intermediário)

## Reprodução Assexuada:

Plantas de propagação vegetativa (clonal)

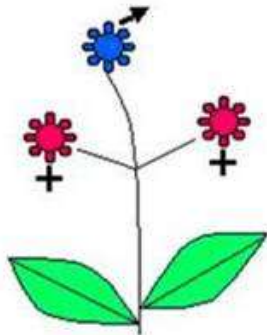
# Sistemas reprodutivos em plantas:





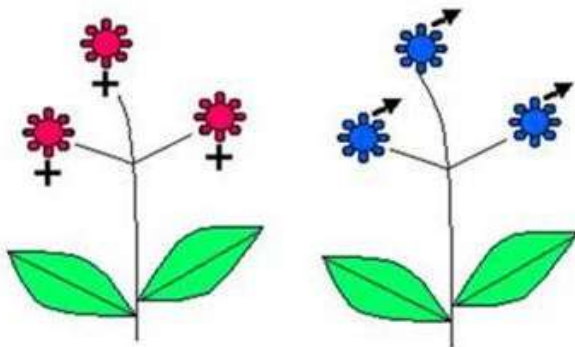
Hermafrodita

Planta hermafrodita  
Flores hermafroditas  
-> favorece a autogamia



Monóica

Planta monóica  
Flores femininas e masculinas  
separadas na mesma planta  
-> Favorece a alogamia mas  
permite a autofecundação

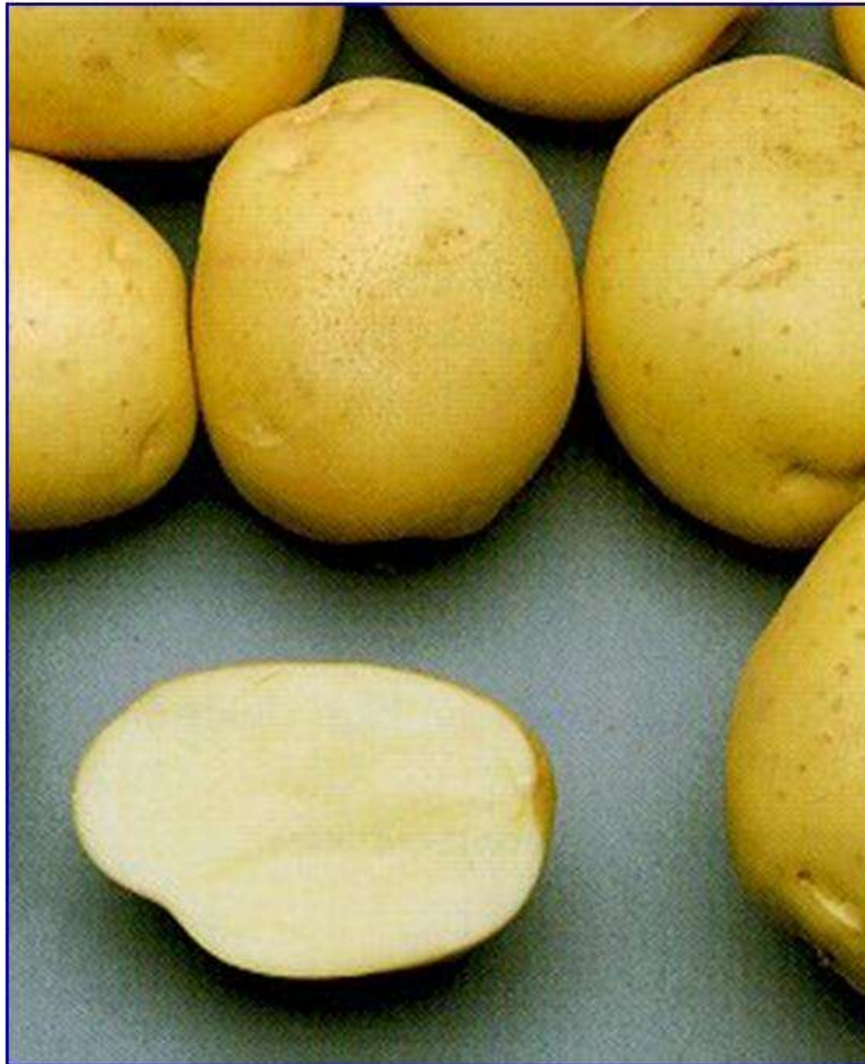


Dióica

Plantas dióicas  
Flores femininas e masculinas  
em plantas separadas  
-> Favorece a alogamia e não  
permite a autofecundação



Batata -> planta com flores hermafroditas





# Exemplos de espécies autógamas:



arroz

soja



trigo

amendoim



feijão



beringela





# Exemplos de espécies alógamas - monóicas:



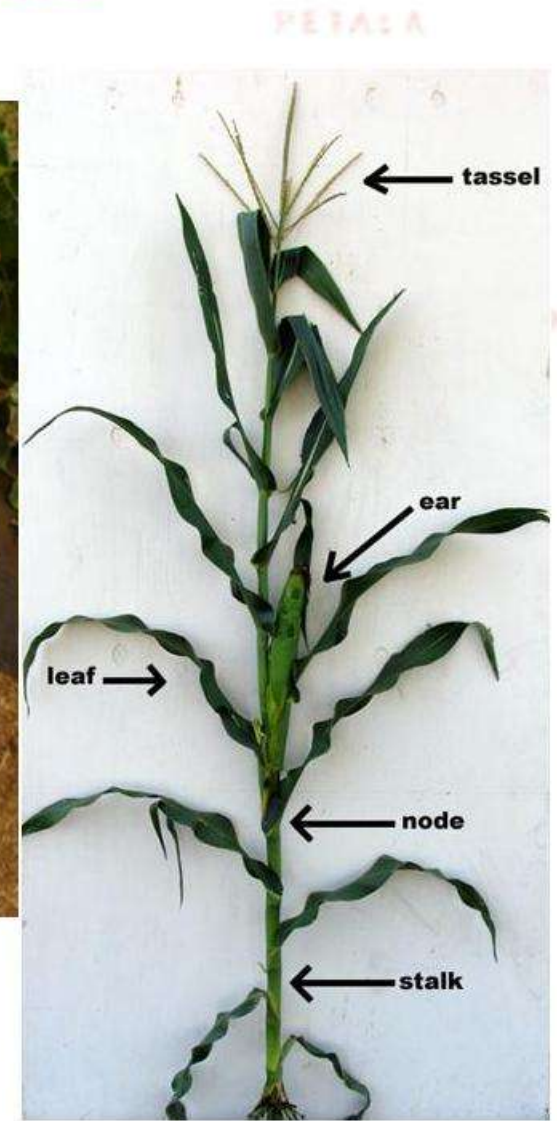
melancia



melão



manga



milho



## Exemplos de espécies alógamas - dióicas:



mamão



aspargo



espinafre



## Referências para estudo:

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. 2004. **Genética na Agropecuária**. Lavras: Editora UFLA, 3ª Ed. 472p. [R165g4 e.1 95052].

### Cap. 13 - Genética de Populações

SNUSTAD, D.P.; SIMMONS, M.J. 2010. **Fundamentos de Genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 4ª Ed. [575.1 S674f4].

### Cap. 26 - Genética de Populações