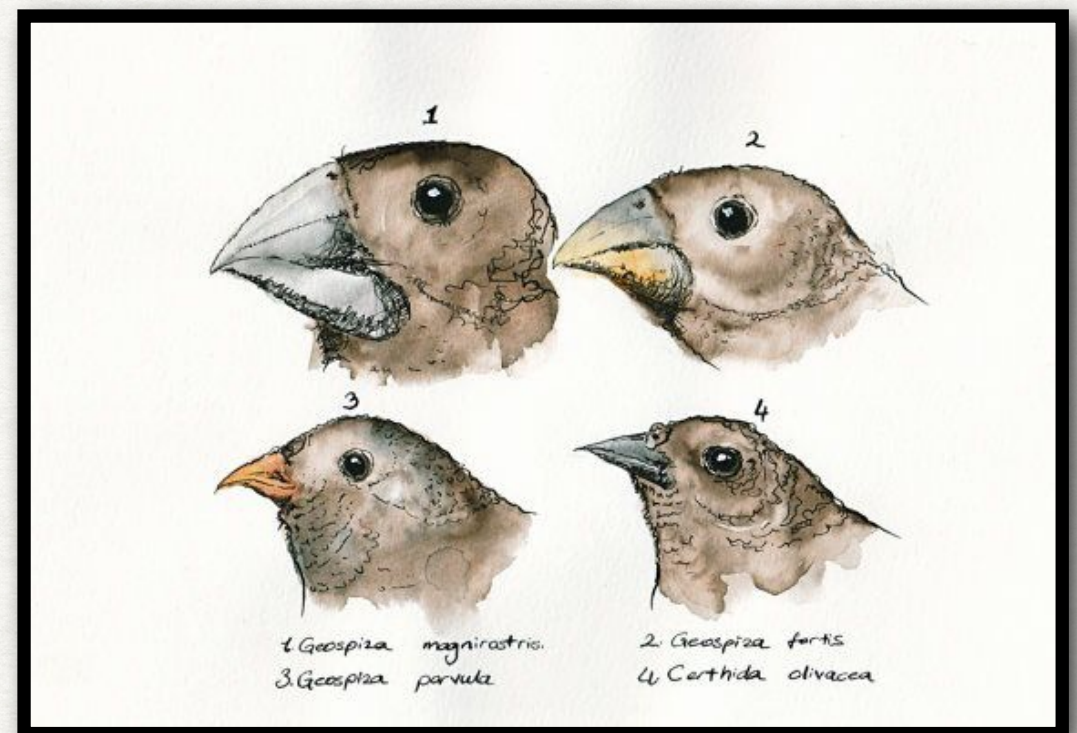


Evolução morfológica, modularidade e evo-devo

Ana Paula Aprígio Assis
paulaassis@ib.usp.br



Herança Mendeliana

Textura das sementes



Lisa

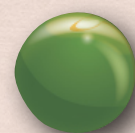


Enrugada

Cor das sementes



Amarela



Verde

Cor das pétalas

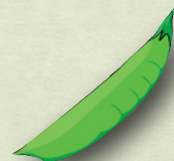


Roxa

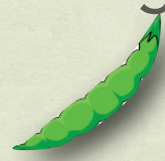


Branca

Textura das vagens



Inflada

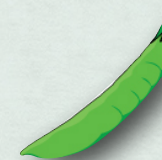


Não Inflada

Cor das vagens

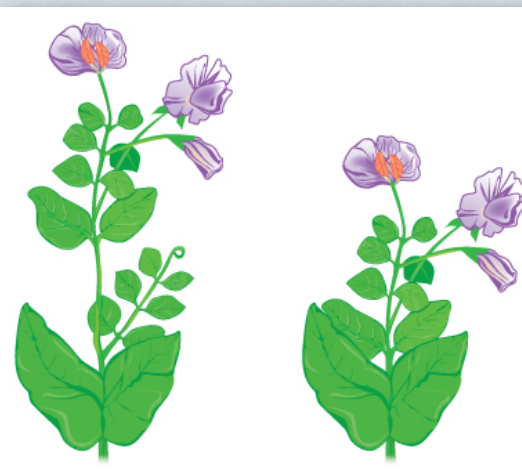


Amarela



Verde

Comprimento do caule

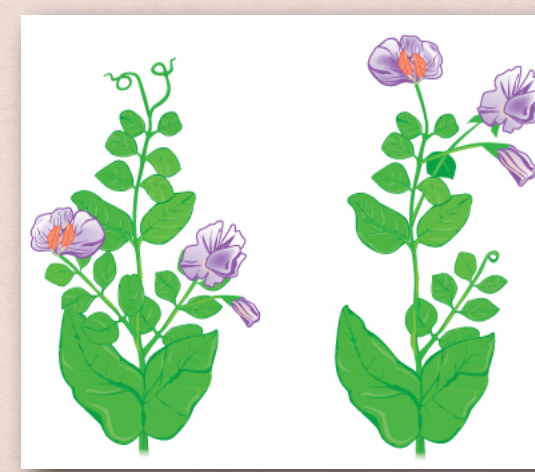


Grande



Pequeno

Posição das flores



Proximal



Distal

Caracteres complexos



Caracteres complexos



Genética quantitativa

Estudo da herança de características
complexas

Loci quantitativos

Herança???

Loci quantitativos

Herança???

Herança mendeliana consegue explicar caracteres complexos?

Herança quantitativa

P



Linhagens com
grãos brancos



Linhagens com
grãos vermelhos
escuros

Herança quantitativa

P



Linhagens com
grãos brancos



Linhagens com
grãos vermelhos
escuros

F1



100% indivíduos
com grãos
vermelhos
intermediários

Herança quantitativa

P



Linhagens com
grãos brancos



Linhagens com
grãos vermelhos
escuros

F1



100% indivíduos
com grãos
vermelhos
intermediários

F2



1



2



3



4



5



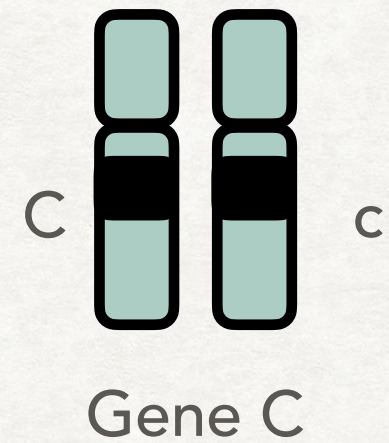
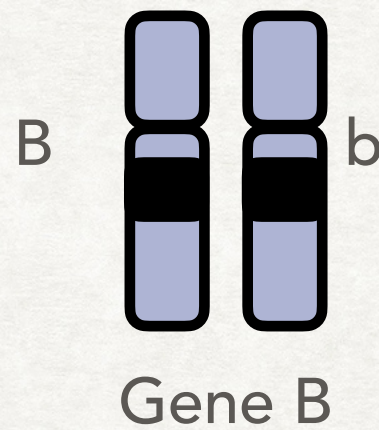
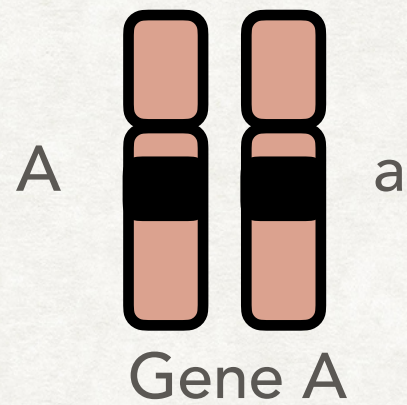
6



7

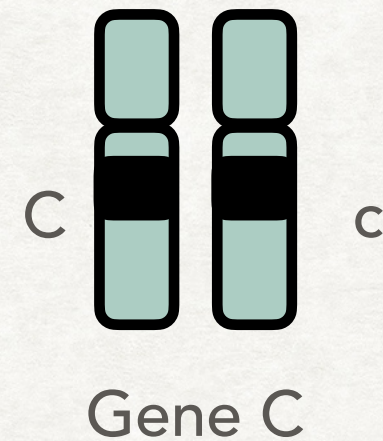
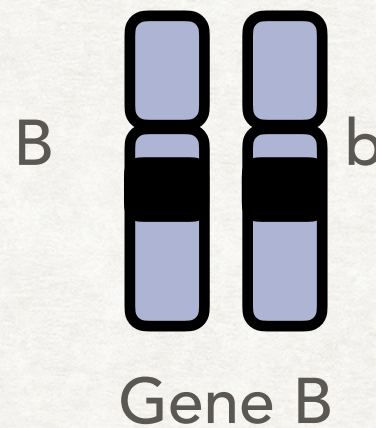
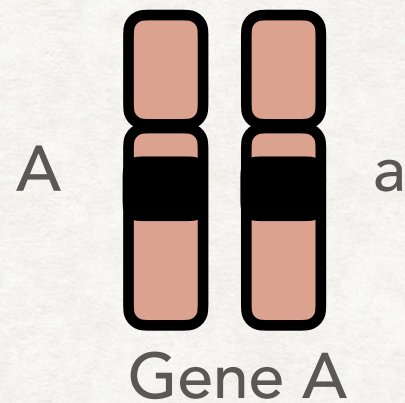
Herança quantitativa

Três genes
influenciando a
característica



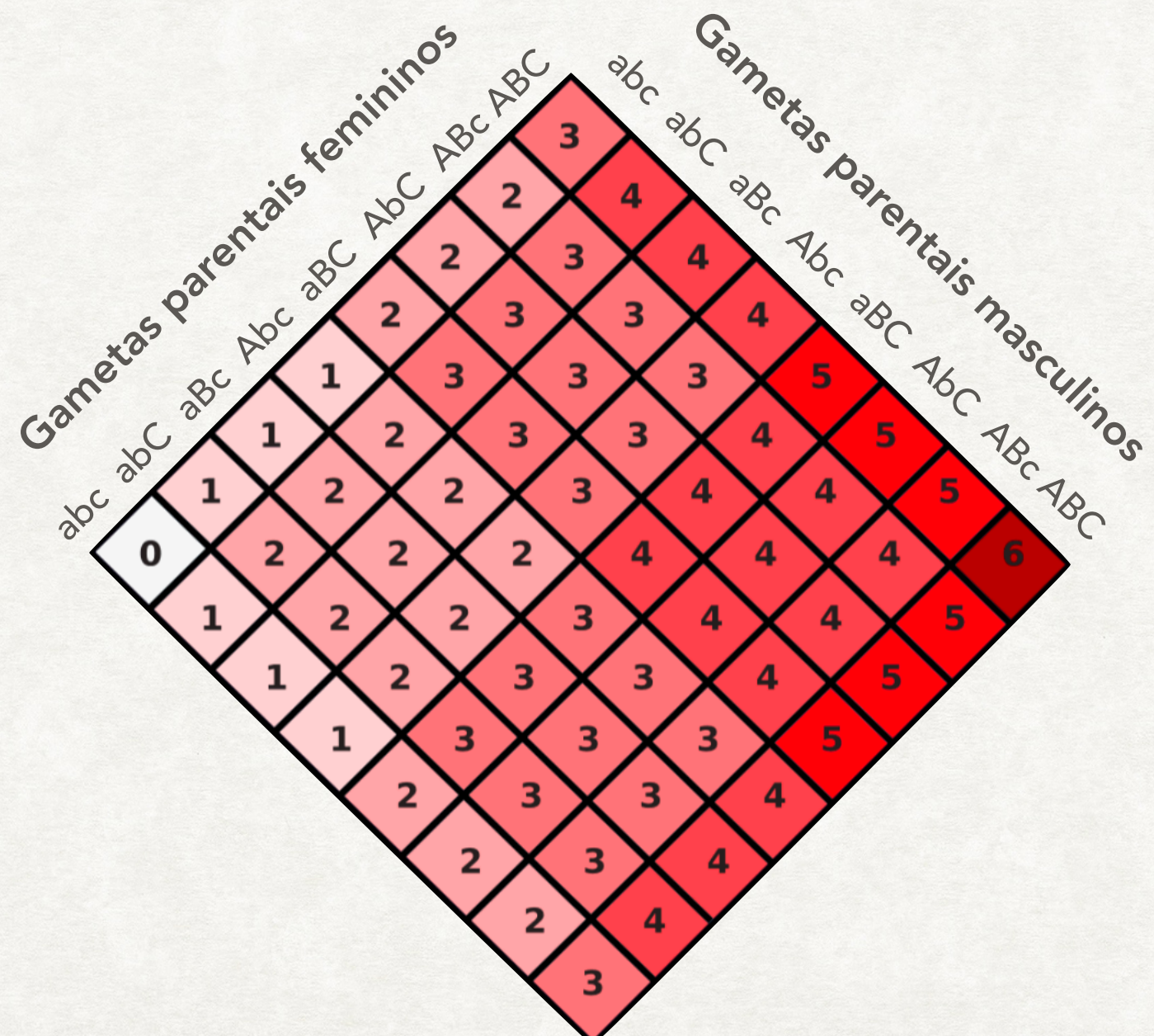
Herança quantitativa

Três genes
influenciando a
característica

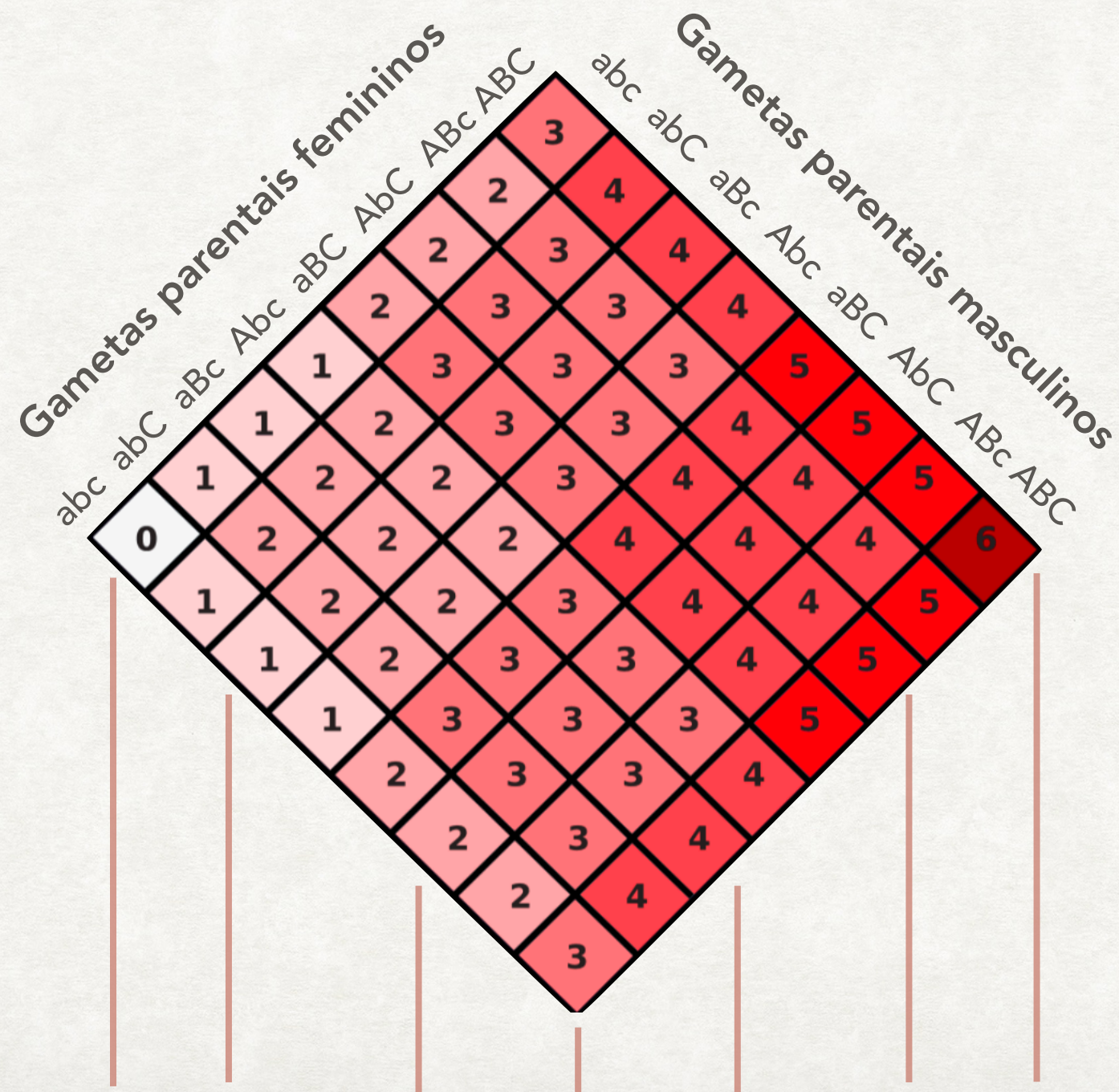


Herança
aditiva

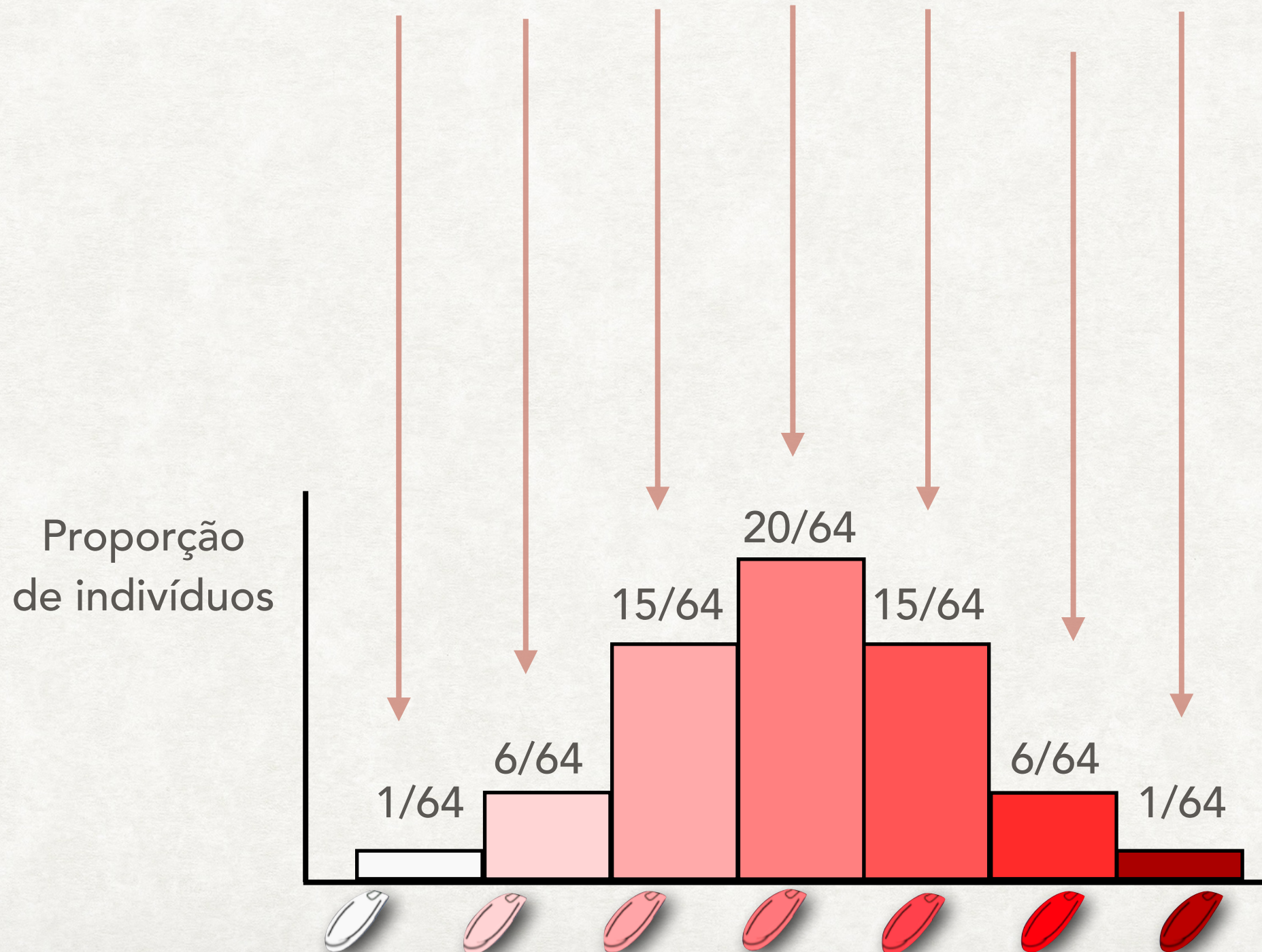
Herança quantitativa



Herança quantitativa



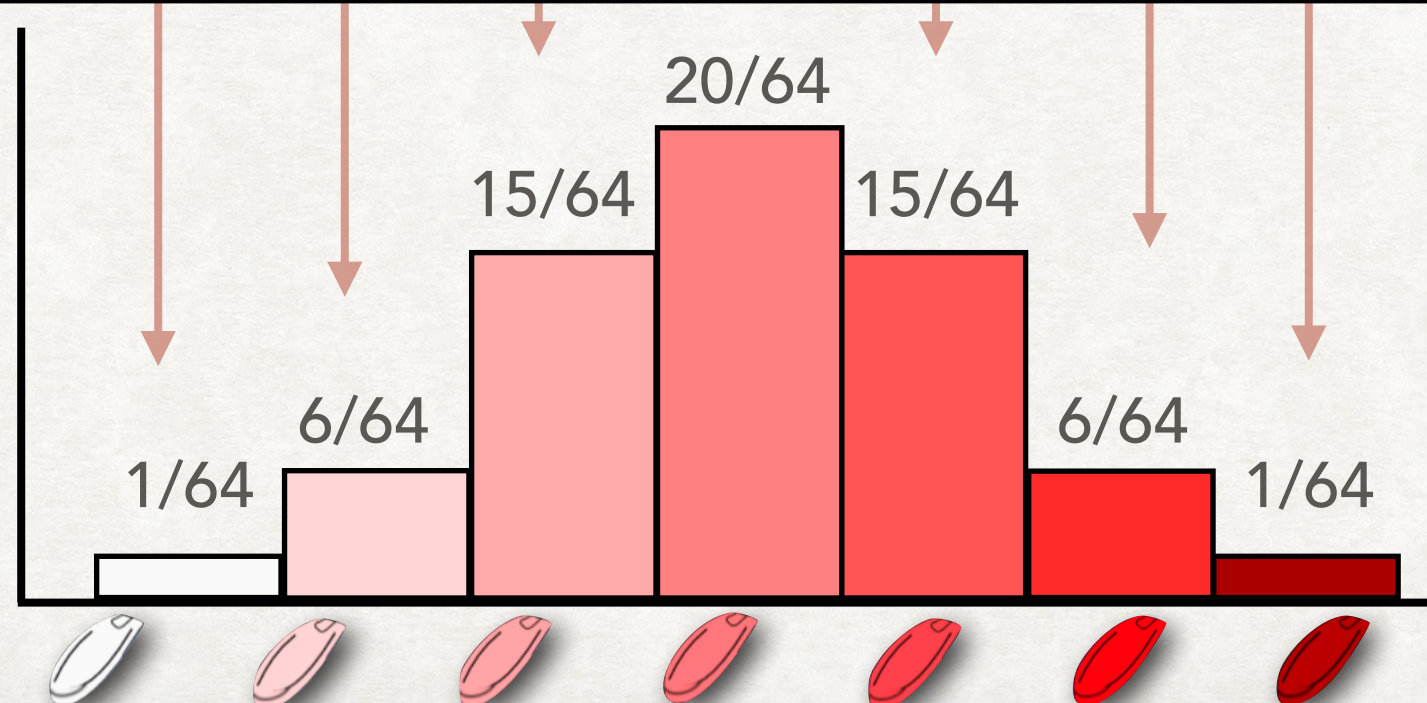
Herança quantitativa



Herança quantitativa

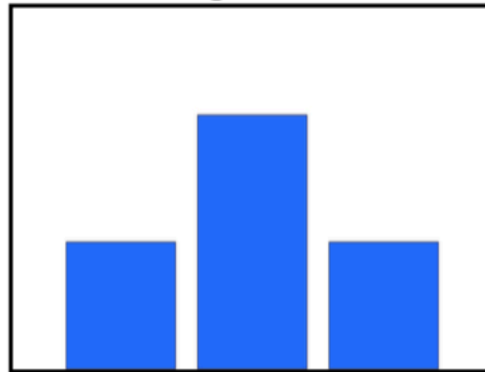
Varição contínua é compatível com herança mendeliana desde que muitos genes estejam envolvidos

Proporção de indivíduos

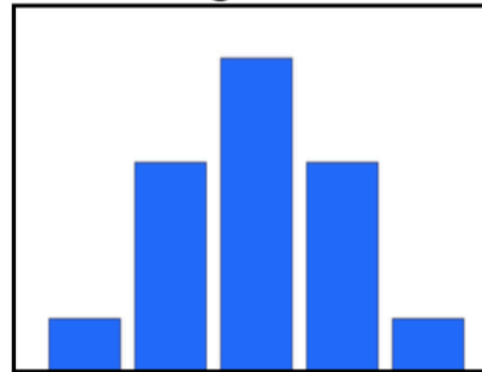


Herança quantitativa

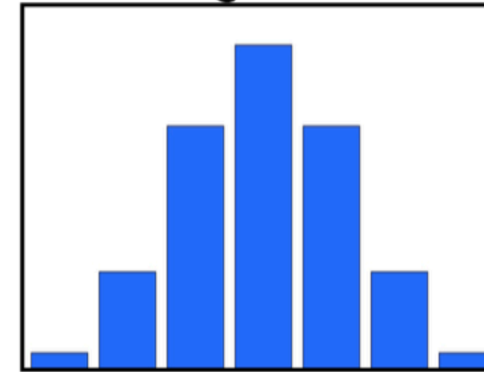
1 gene



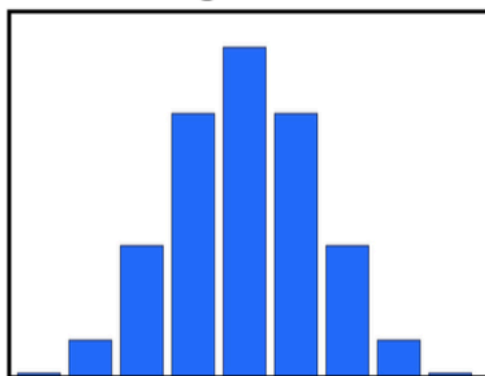
2 genes



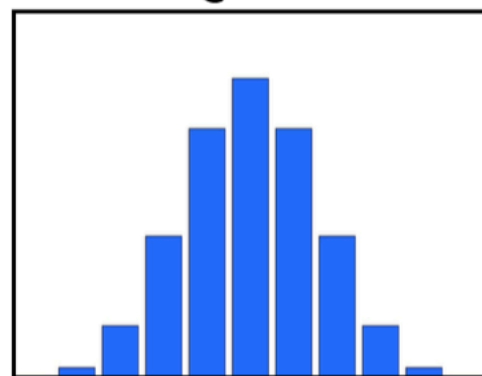
3 genes



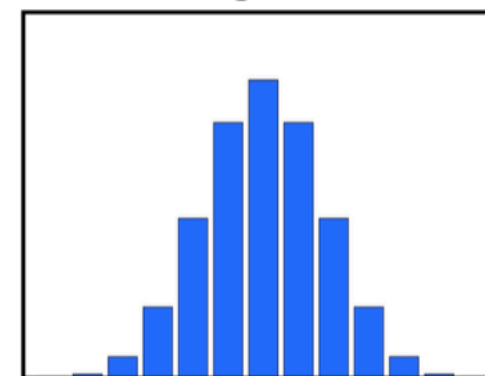
4 genes



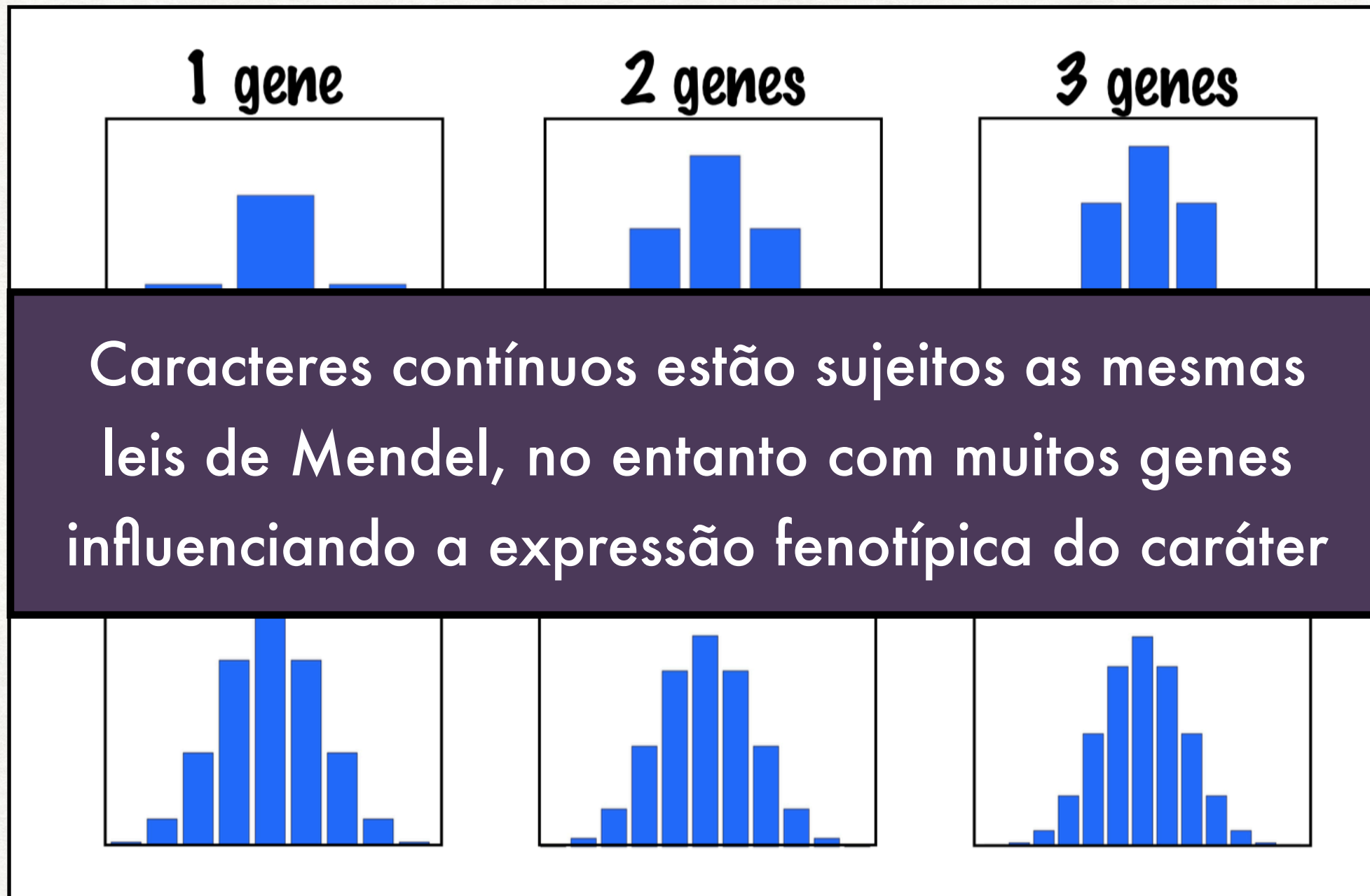
5 genes



6 genes

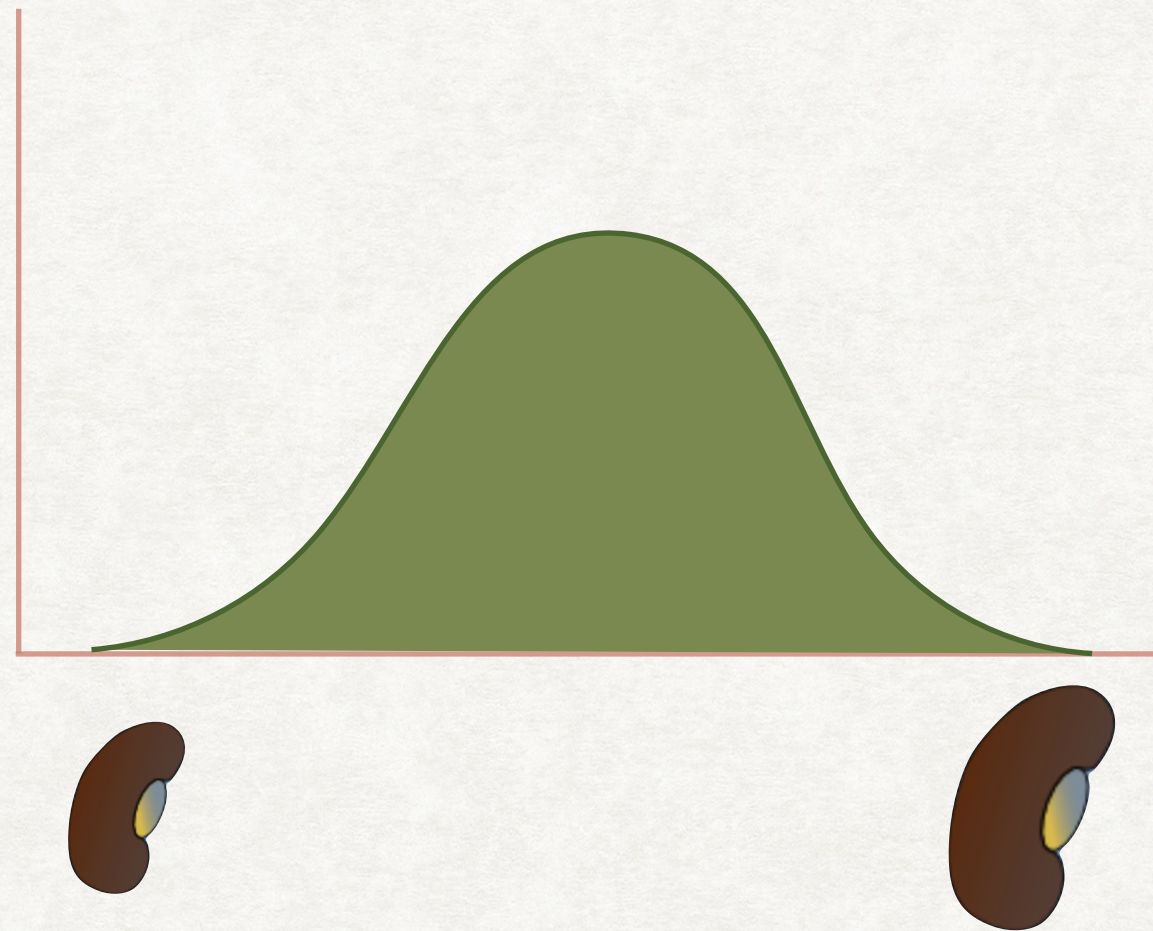


Herança quantitativa

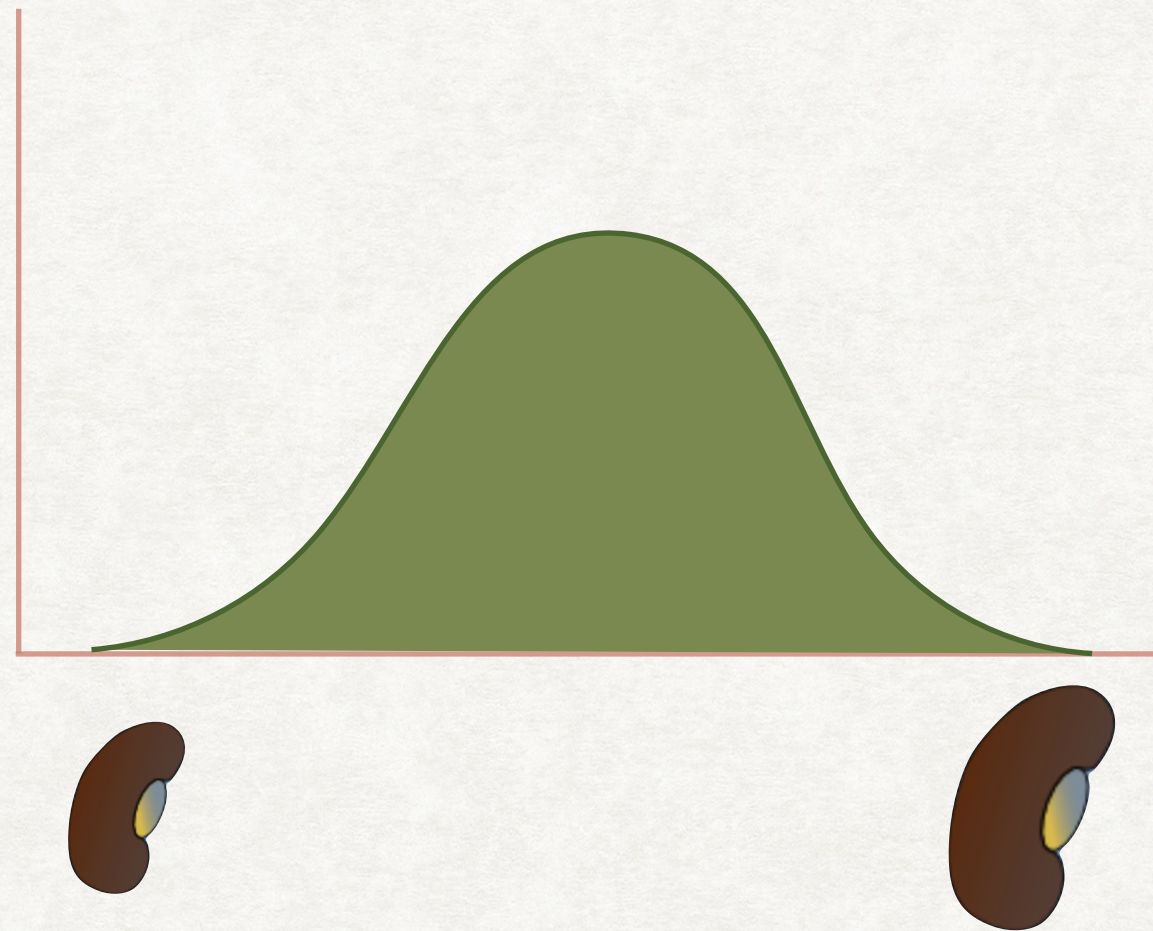


Caracteres contínuos estão sujeitos as mesmas leis de Mendel, no entanto com muitos genes influenciando a expressão fenotípica do caráter

Herança quantitativa

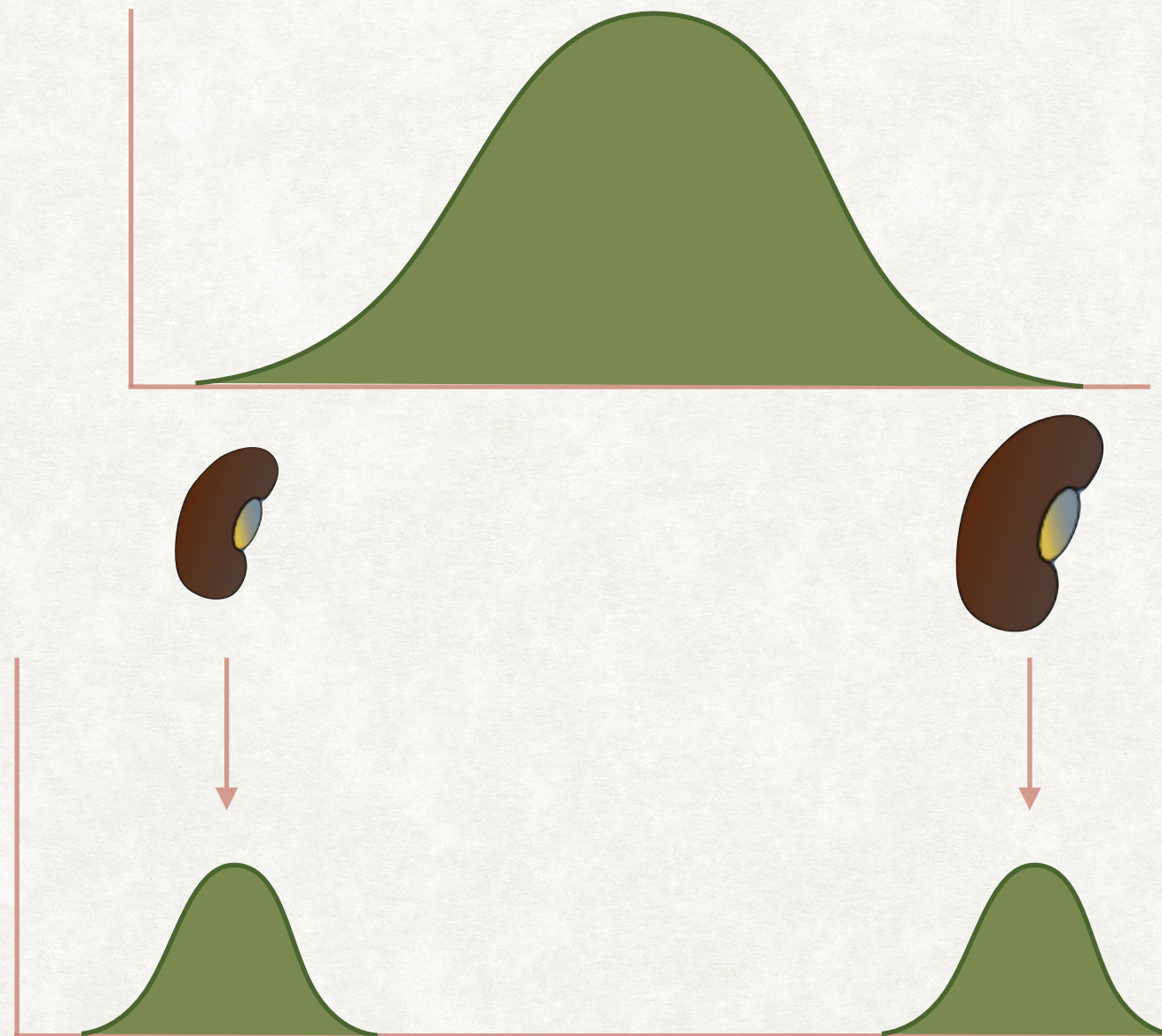


Herança quantitativa



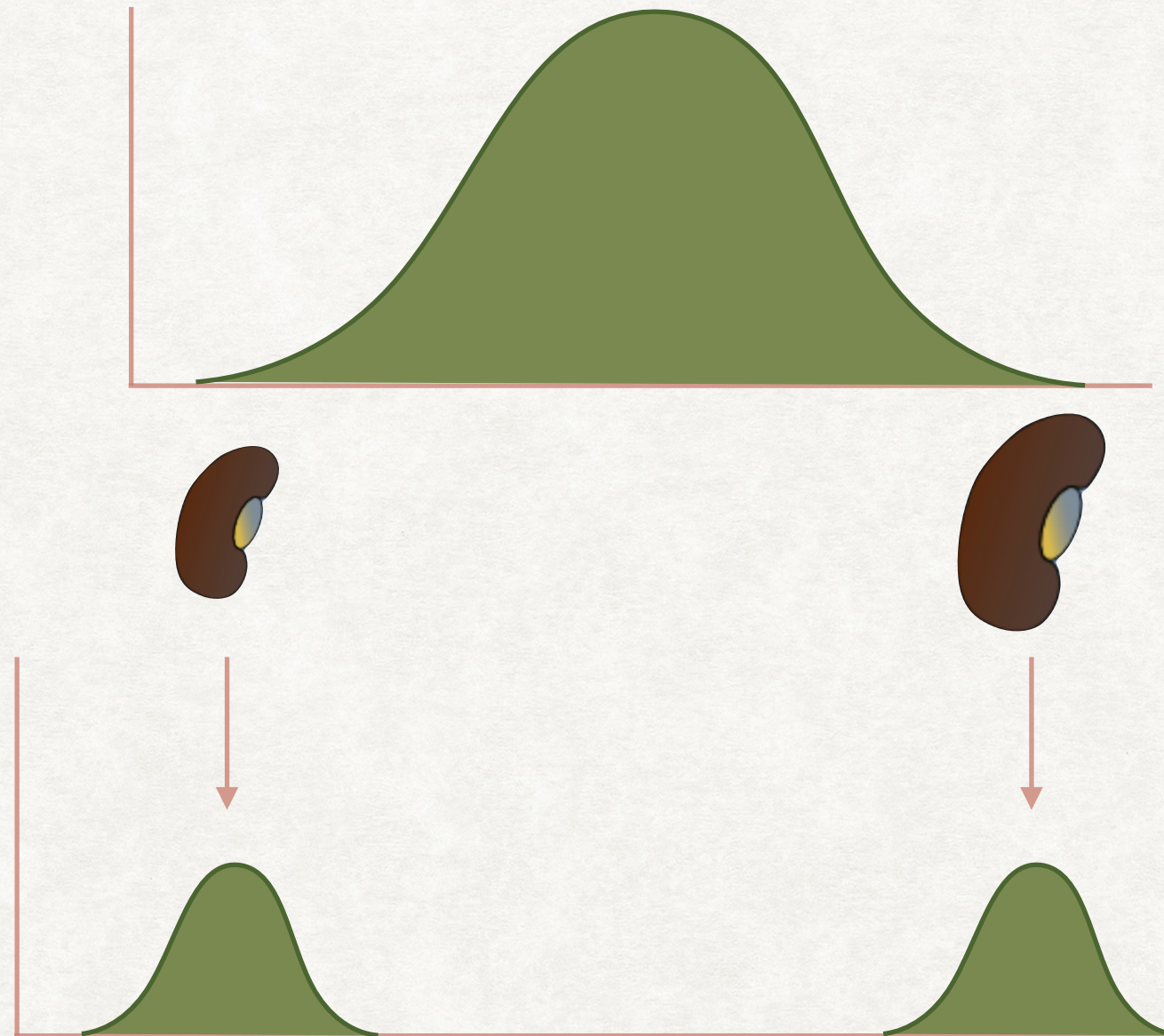
Seleção de feijões maiores ou menores

Herança quantitativa



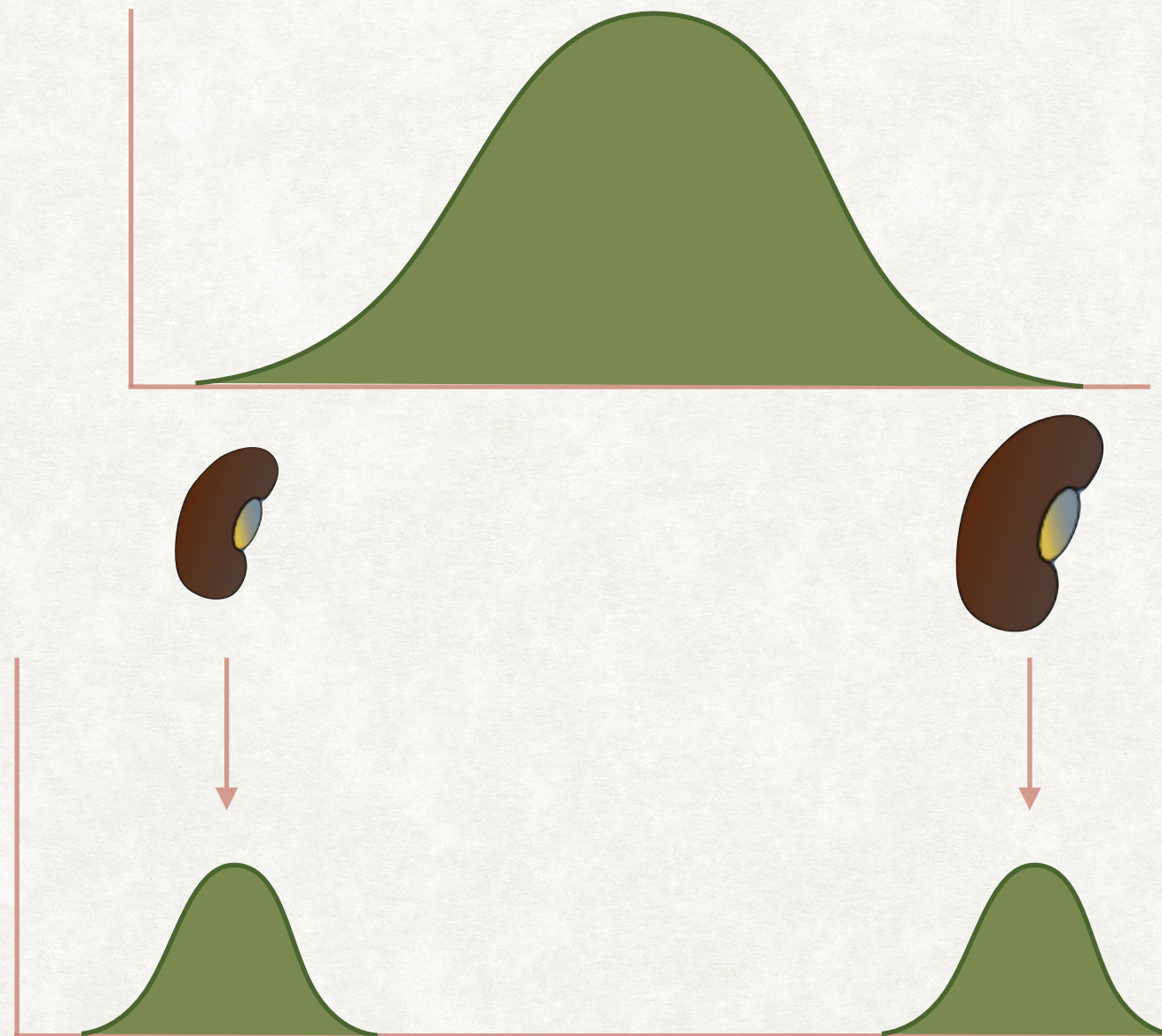
F1

Herança quantitativa



Da onde vem essa
variação?

Herança quantitativa

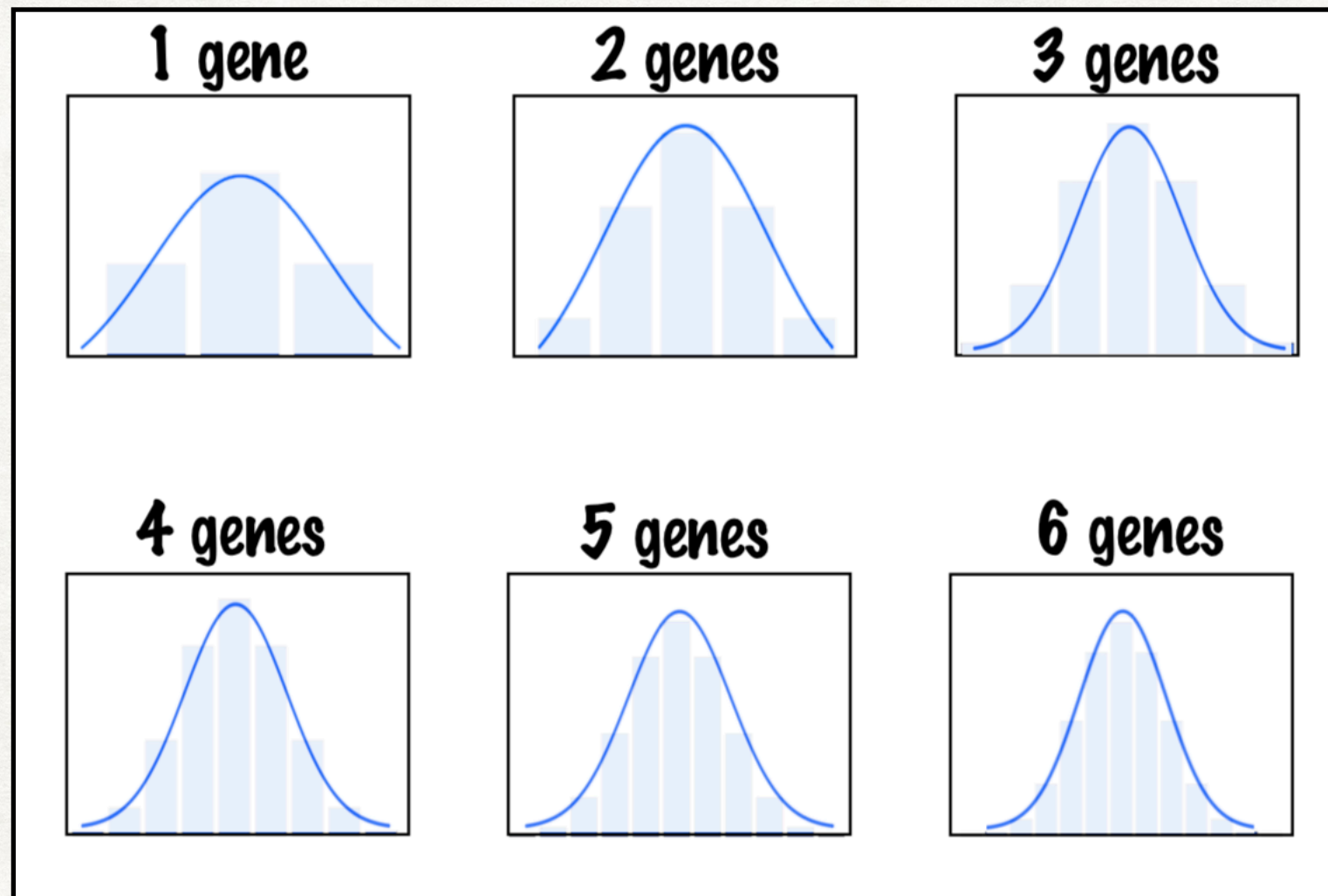


Variação ambiental

Herança quantitativa

$\text{Variação fenotípica} = \text{Variação ambiental} + \text{variação genética}$

Herança quantitativa



Pequeno sumário

- Poligênico (influenciado por múltiplos genes)
- Efeitos fenotípicos dos alelos geralmente pequenos e aditivos
 - Cada substituição alélica resulta em mudanças *incrementais* no fenótipo total
- Variação em traços quantitativos geralmente influenciada por fatores ambientais assim como genéticos

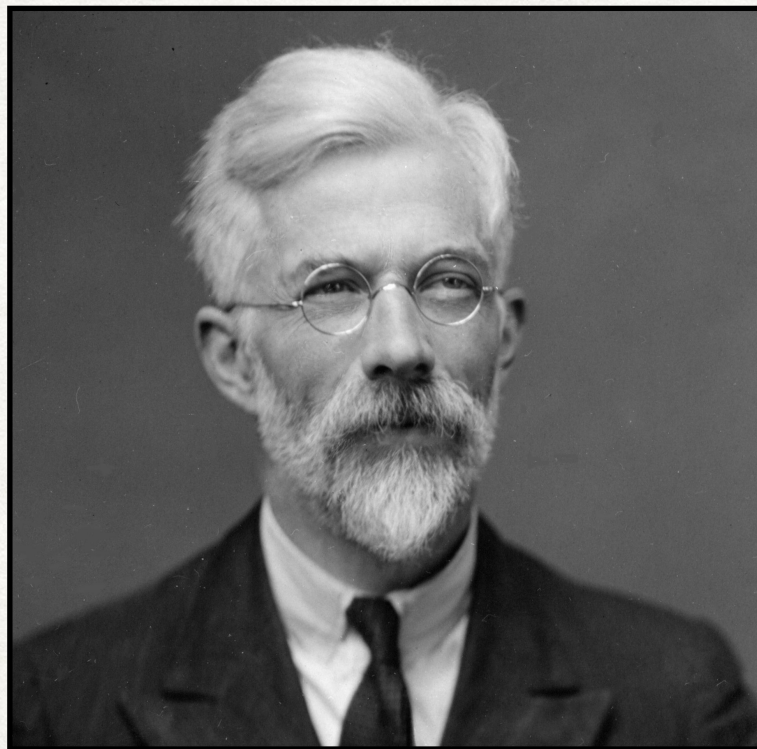
Pequeno sumário

- Poligênico (influenciado por múltiplos genes)
 - Efeitos fenotípicos são aditivos
 - Cada su...
increme
 - Variação e...ciada por fatores ambientais assim como genéticos
- Proporções mendelianas inadequadas para estudo de caracteres quantitativos. É necessário uma nova abordagem para estudarmos tais caracteres**

Medindo variação

The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance

1918, R.A. Fisher



Medindo variação

The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance

R.A. Fisher

The simplest hypothesis, and the one which we shall examine, is that such features as stature are determined by a large number of Mendelian factors, and that the large variance among children of the same parents is due to the segregation of those factors in respect to which the parents are heterozygous. Upon this hypothesis we will attempt to determine how much more of the variance, in different measurable features, beyond that which is indicated by the fraternal correlation, is due to innate and heritable factors.

Medindo variação

The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance

R.A. Fisher

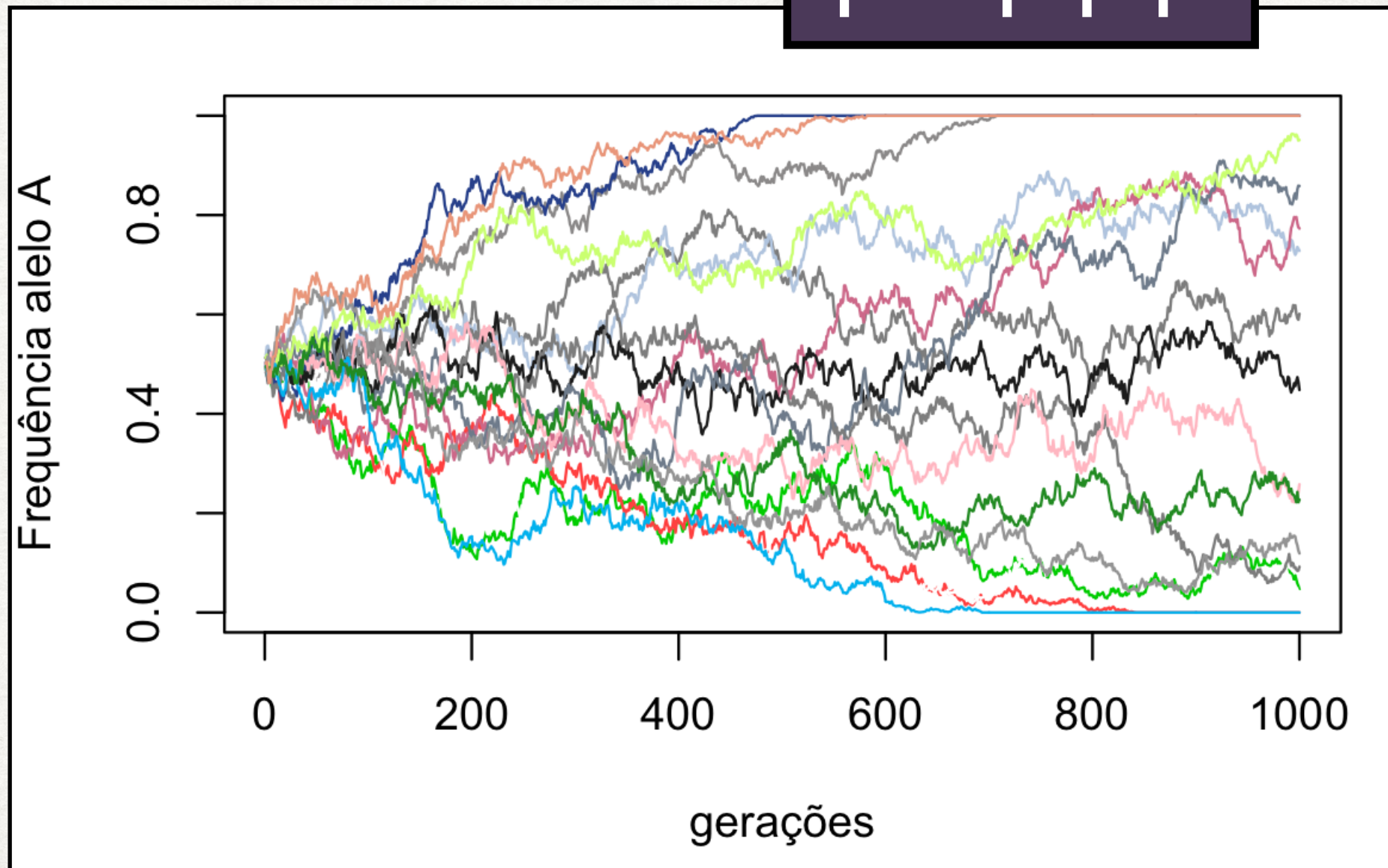
The simplest hypothesis, and the one which we shall examine, is that such features as stature are determined by a large number of Mendelian factors, and that the large variance among children of the same parents is due to the segregation of those factors in respect to which the parents are heterozygous. Upon this hypothesis we will attempt to determine how much more of the variance, in different measurable features, beyond that which is indicated by the fraternal correlation, is due to innate and heritable factors.

Esquece a informação de cada alelo e trabalha com a distribuição da variação

Medindo variação

Genética de populações

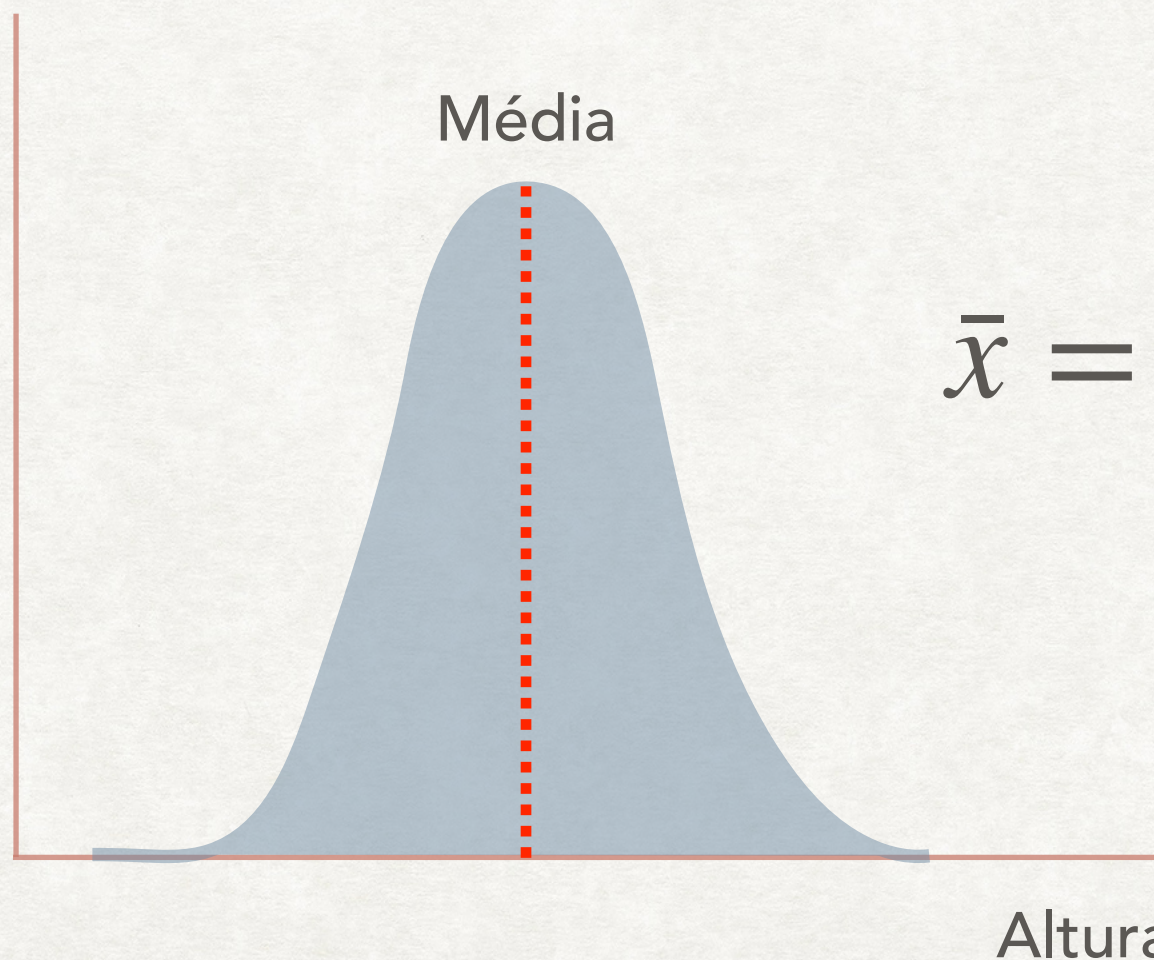
$$p^2 \quad 2pq \quad q^2$$



Medindo variação

Distribuição normal

Frequência na
população

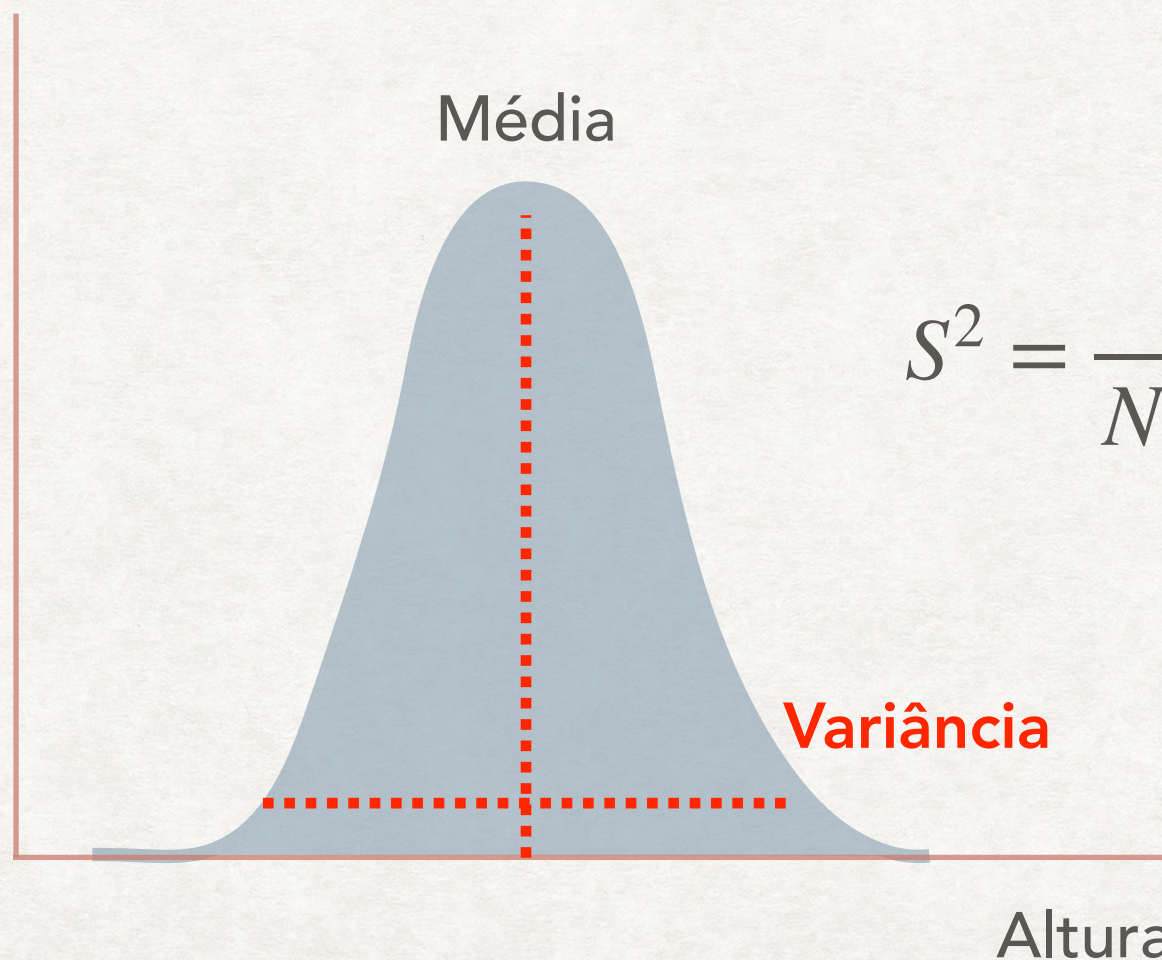


$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

Medindo variação

Distribuição normal

Frequência na
população

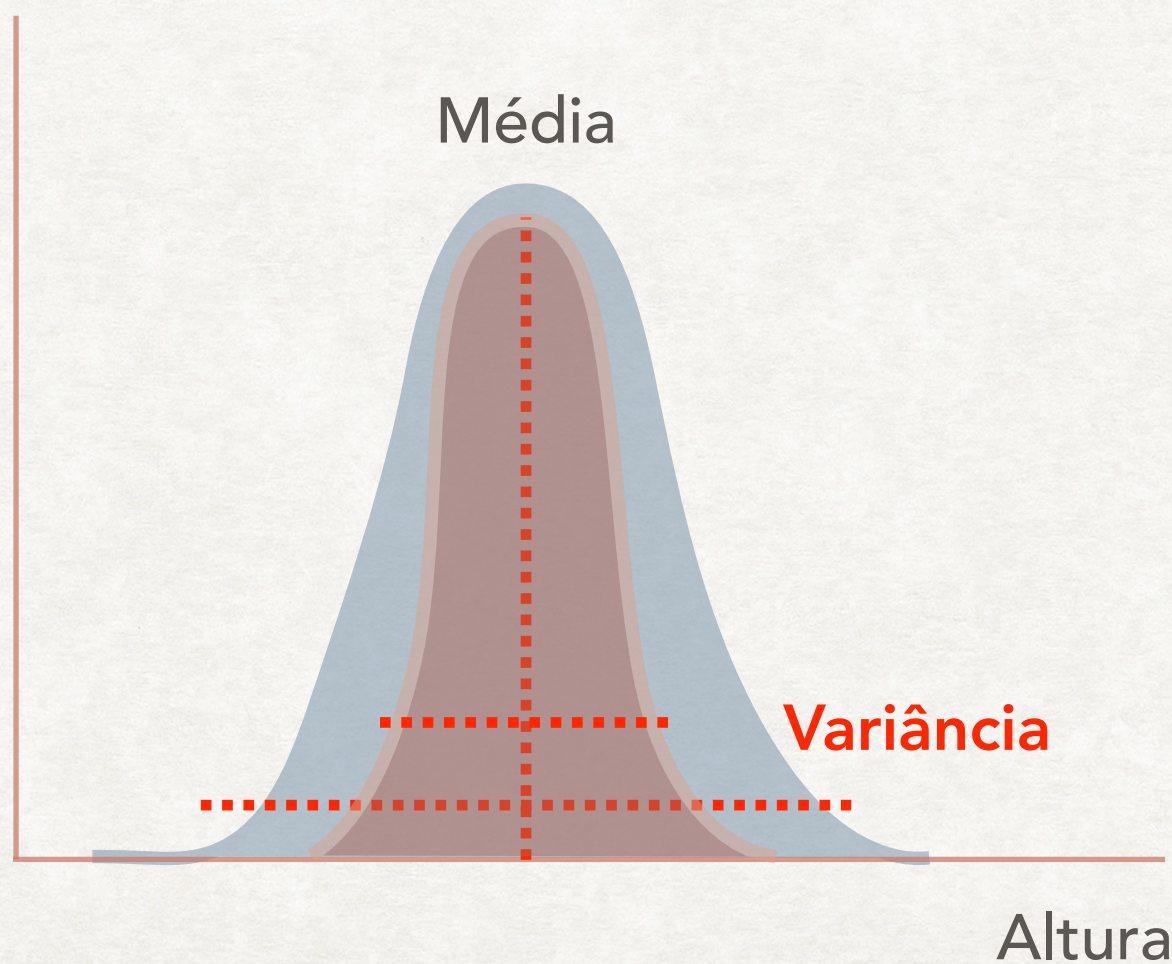


$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Medindo variação

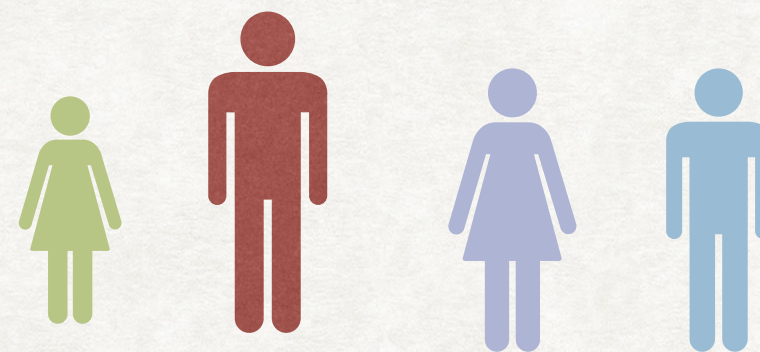
Distribuição normal

Frequência na
população



Medindo variação

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

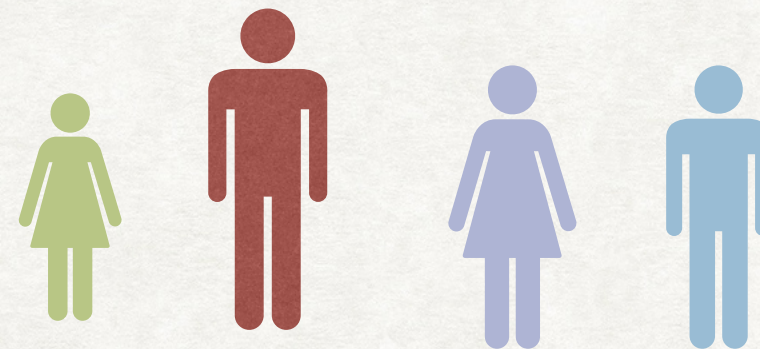


Medindo variação

Média

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$



Medindo variação

Média

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{X} = \frac{1.65 + 1.76 + 1.83 + 1.90}{4}$$

$$\bar{X} = 1.785$$

Medindo variação

Média

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{X} = \frac{1.65 + 1.76 + 1.83 + 1.90}{4}$$

$$\bar{X} = 1.785$$

Medindo variação

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

Variância

$$\bar{X} = 1.785$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Medindo variação

Variância

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

$$S^2 = \frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S^2 = \frac{(1.65 - 1.785)^2 + (1.76 - 1.785)^2}{4 - 1} + \frac{(1.83 - 1.785)^2 + (1.90 - 1.785)^2}{4 - 1}$$

Medindo variação

Variância

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

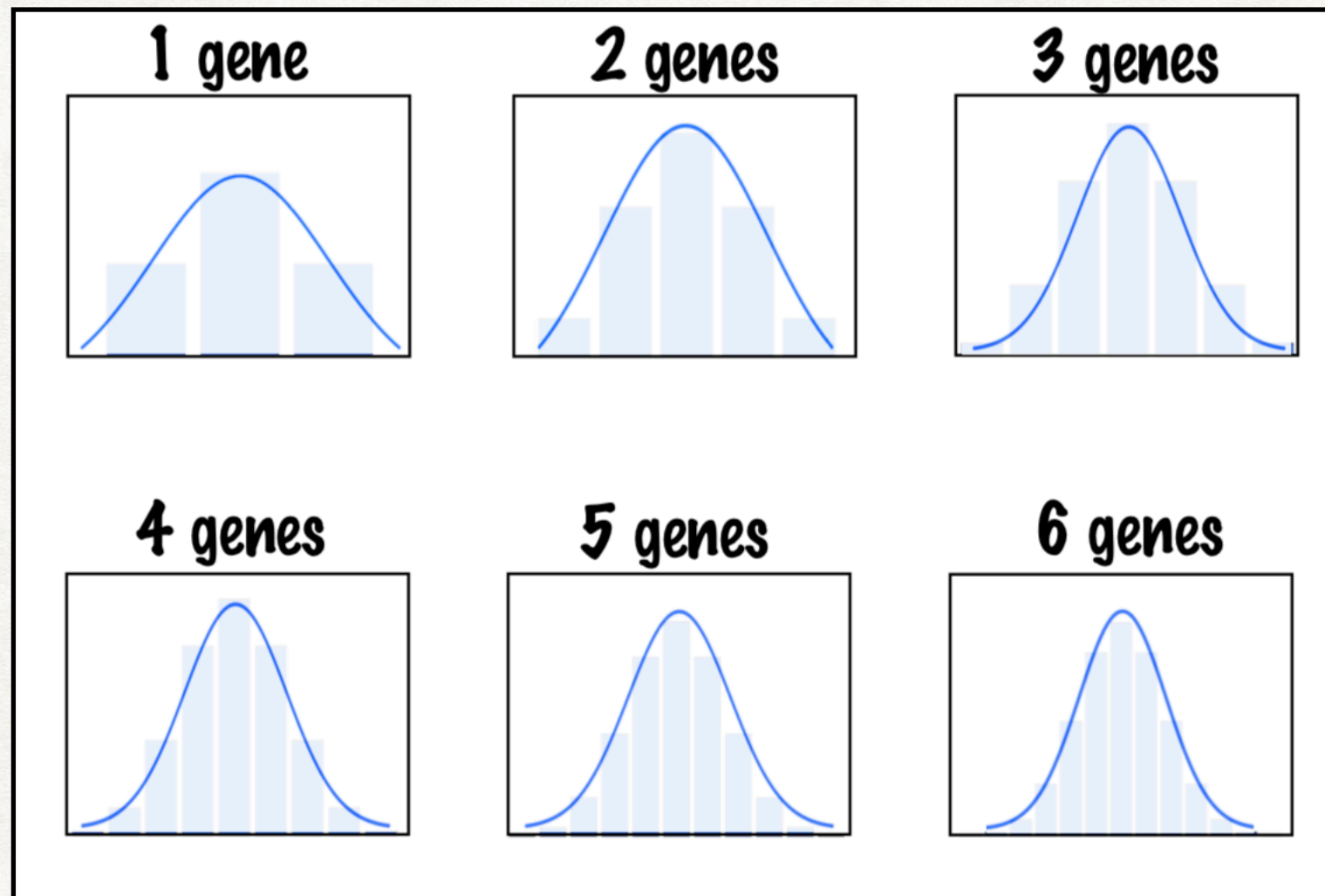
$$\bar{X} = 1.785$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S^2 = \frac{(1.65 - 1.785)^2 + (1.76 - 1.785)^2 + (1.83 - 1.785)^2 + (1.90 - 1.785)^2}{4 - 1}$$

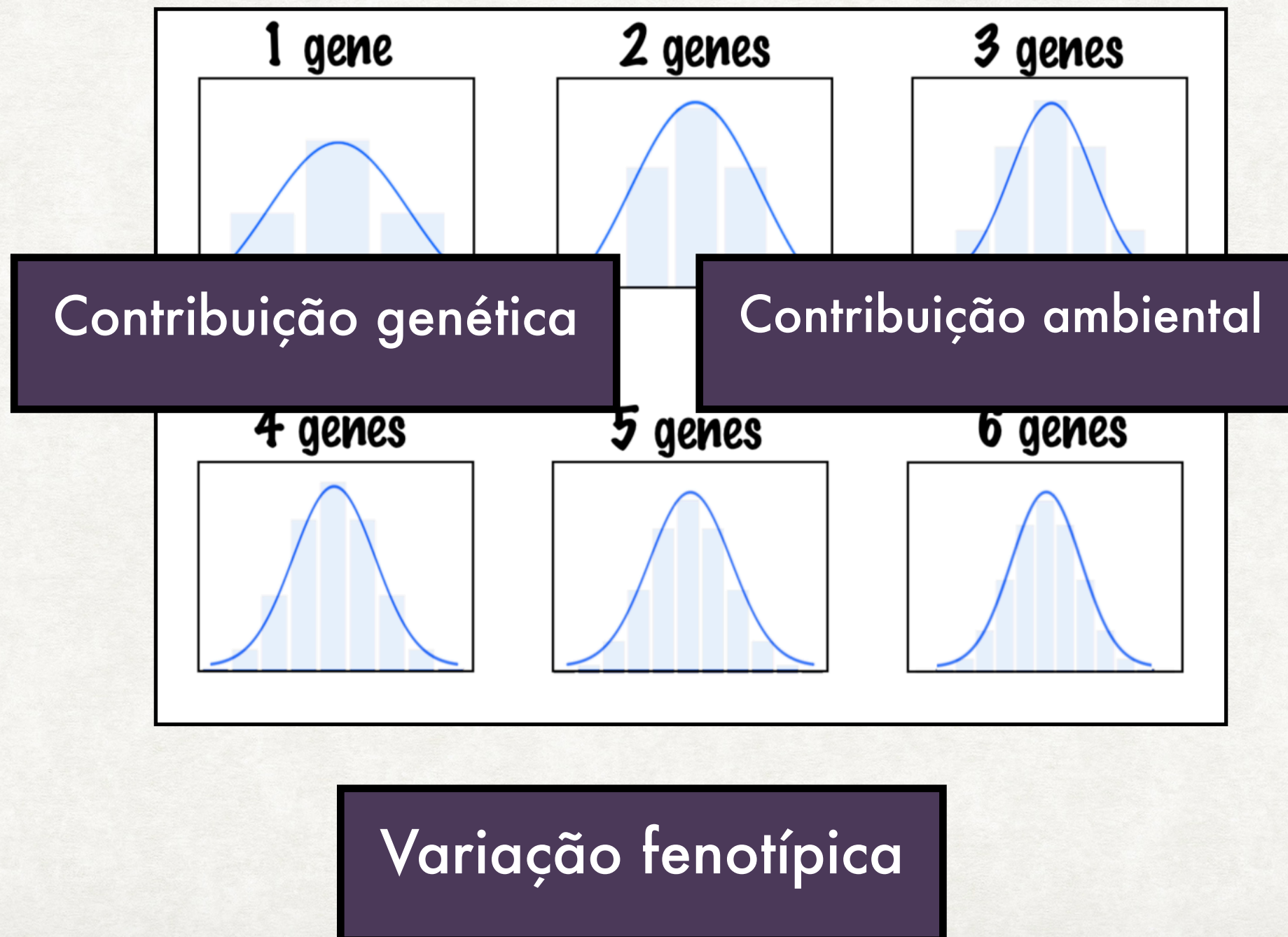
$$S^2 = 0.011$$

Herança quantitativa



Varição fenotípica

Herança quantitativa



Um modelo simples de caracteres quantitativos

Um modelo simples de caracteres quantitativos

Um modelo matemático é uma
representação simplificada de
um fenômeno complexo

Um modelo simples de caracteres quantitativos

X : valor de um indivíduo

\bar{X} : média da população

g/e : desvio da média causada por genes e ambiente

$$X = \bar{X} + g + e$$

Medindo variação

Aluno	Altura
Ana	1.65
Clara	1.76
João	1.83
Pedro	1.90

Pedro



Um modelo simples de caracteres quantitativos

$$X = \bar{X} + g + e$$

Valor do caráter em
um dado indivíduo

$$1.90 = \bar{X} + g + e$$

Um modelo simples de caracteres quantitativos

$$X = \bar{X} + g + e$$

Média da população

$$1.90 = 1.785 + g + e$$

Um modelo simples de caracteres quantitativos

$$X = \bar{X} + g + e$$

Contribuição efeitos
genótipicos

Contribuição efeitos
ambientais

Um modelo simples de caracteres quantitativos

$$X - \bar{X} = g + e$$

$$1.90 - 1.785 = g + e$$

Um modelo simples de caracteres quantitativos

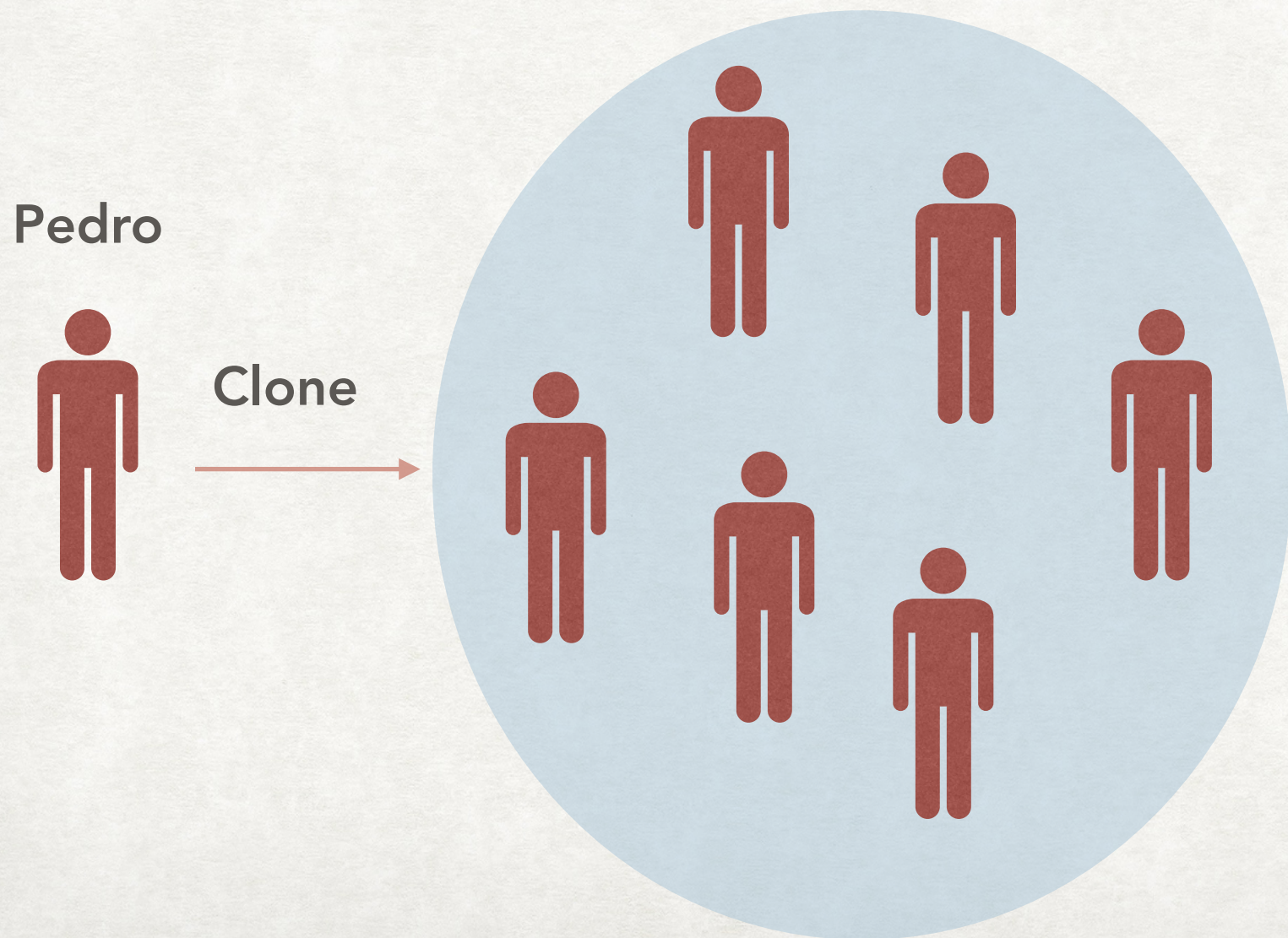
$$x = g + e$$

$$0.115 = g + e$$

Como determinar g e e ?

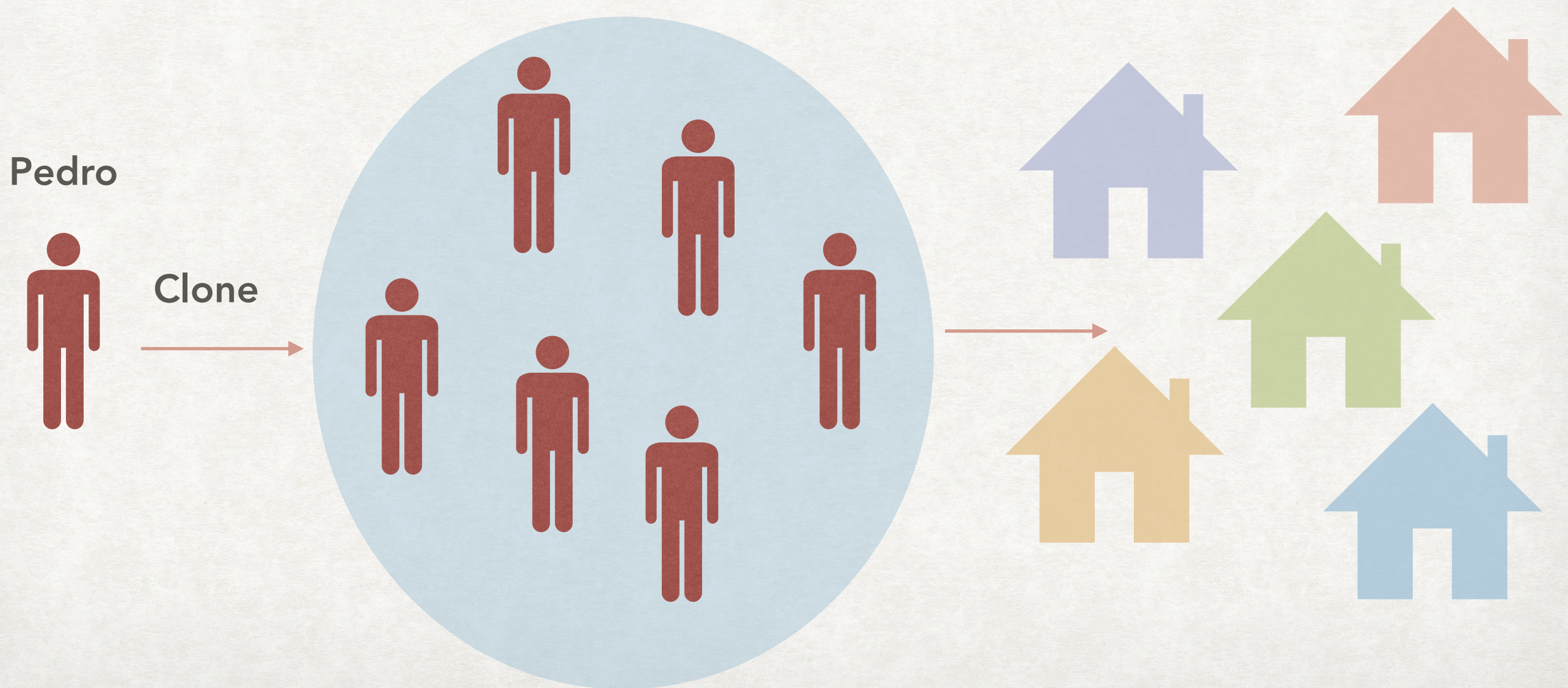
Um modelo simples de caracteres quantitativos

Como determinar g e e ?



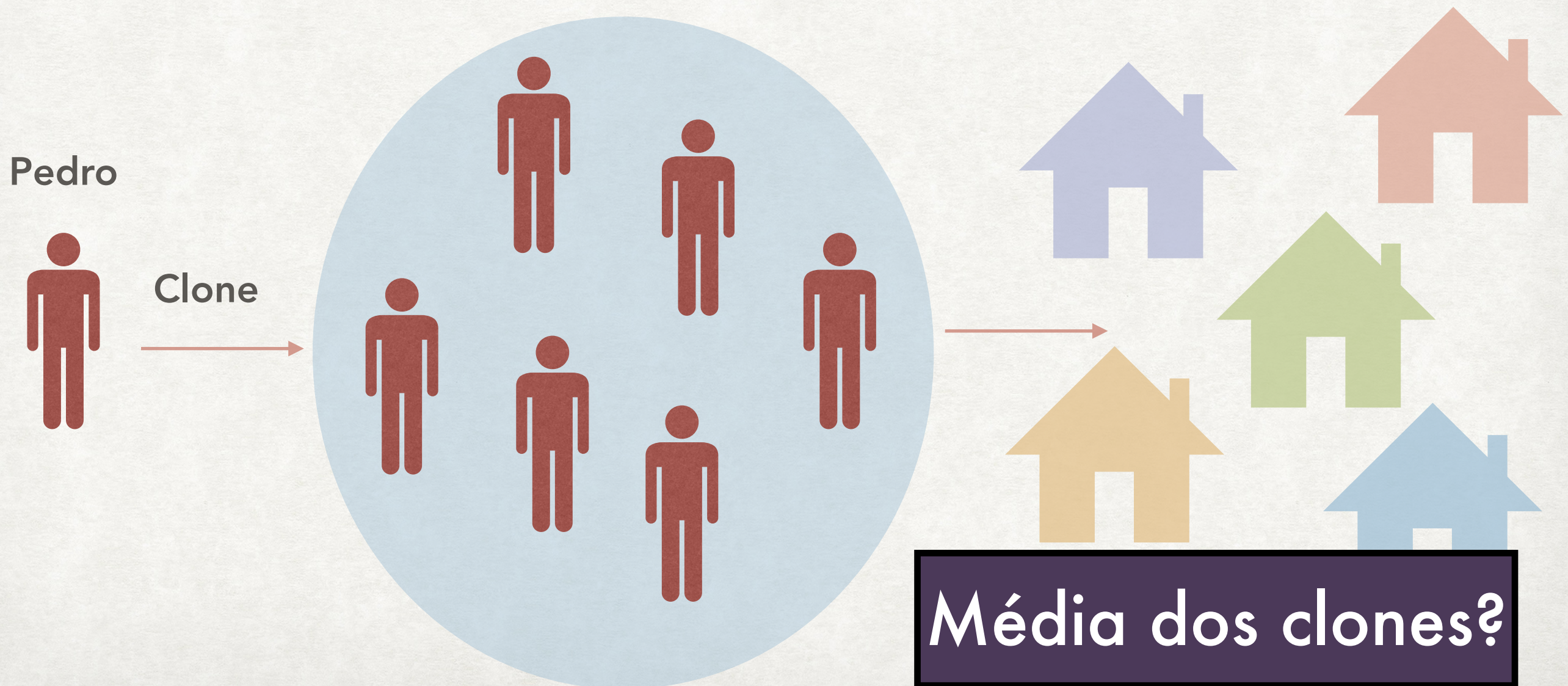
Um modelo simples de caracteres quantitativos

Como determinar g e e ?



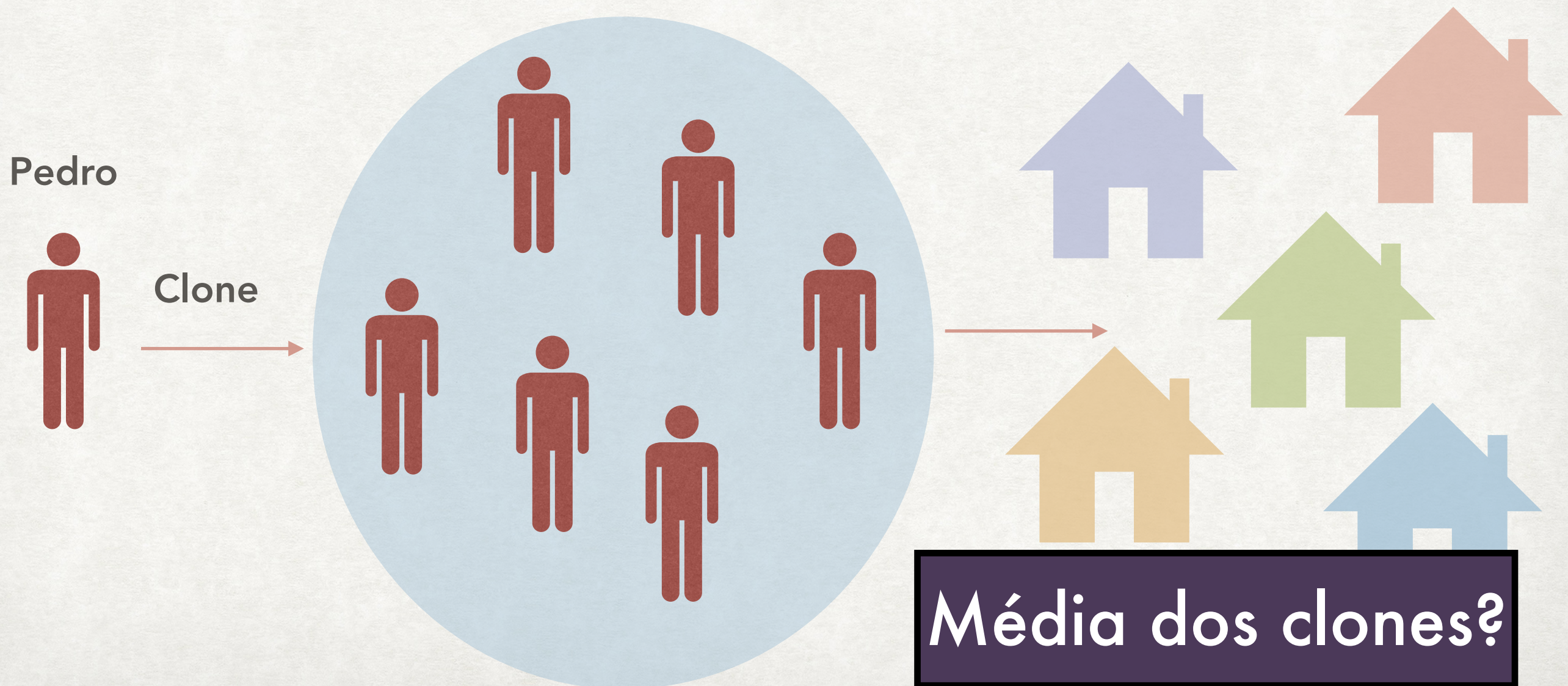
Um modelo simples de caracteres quantitativos

Como determinar g e e ?



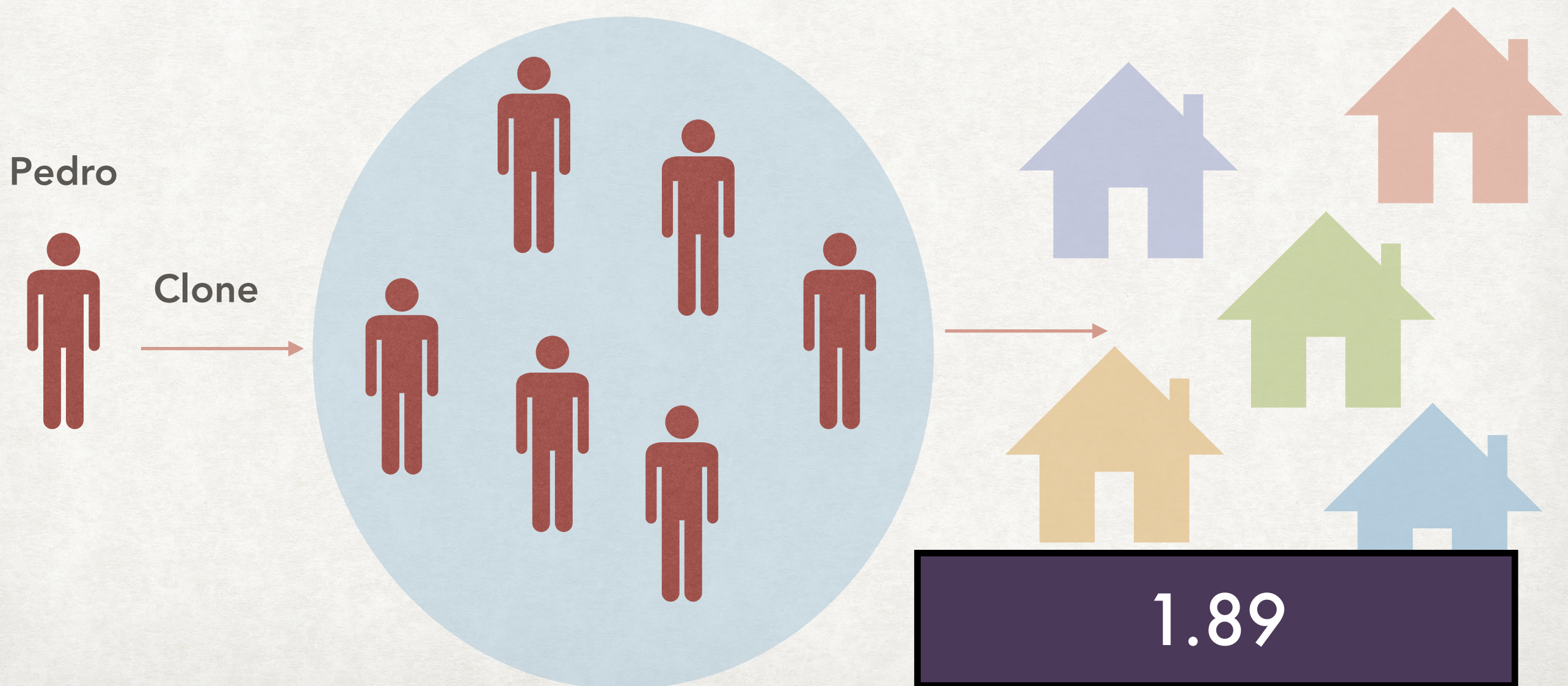
Um modelo simples de caracteres quantitativos

Como determinar g e e ?



Um modelo simples de caracteres quantitativos

Como determinar g e e ?



Um modelo simples de
caracteres quantitativos

$$g = 1.785 - 1.89$$

$$0.115 = 0.105 + 0.01$$

$$x = 0.115; g = 0.105; e = 0.01$$

Maior parte da variação é genética

Propagação vegetativa, clonagem, linhagens puras



Um modelo simples de caracteres quantitativos

$$x = g + e$$

Variância é uma forma de medir o quanto indivíduos desviam do fenótipo médio

$$V_p = V_g + V_e$$

Premissa importante V_g e V_e não estão correlacionados

Herança quantitativa

$$V_p = V_g + V_e$$

V_p Variância fenotípica: Variância dos fenótipos observadas na população

V_g Variância genotípica: Variância devida aos fatores genéticos observadas na população

V_e Variância ambiental: Variância devida aos fatores ambientais observadas na população

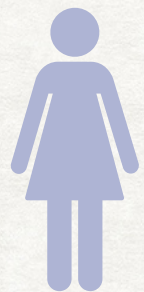
Herança quantitativa

$$V_p = V_g + V_e$$

Ana



Clara



Pedro

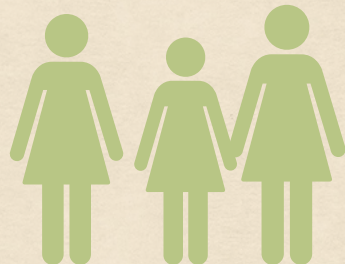


João

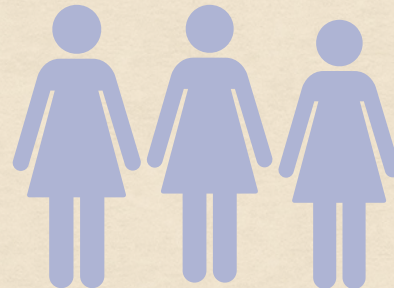


V_p

Ana



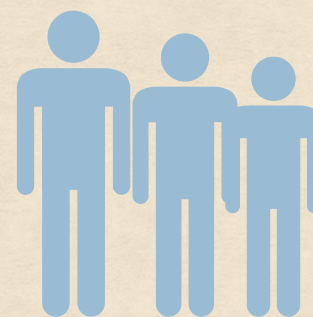
Clara



Pedro



João



V_g

$$V_e = V_p - V_g$$

Herdabilidade

A proporção da variação explicada por variantes genéticas

é uma medida do quanto as diferenças fenotípicas entre os indivíduos são devidas as diferenças genéticas

Herdabilidade

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p} = \frac{V_g}{V_e + V_g}$$

Herdabilidade

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p} = \frac{V_g}{V_e + V_g}$$

0



1

Toda a variação observada em um traço é devido a variância ambiental

Toda a variação observada em um traço é devido a variância genética

Herdabilidade

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p} = \frac{V_g}{V_e + V_g}$$



Toda a variação observada em um traço é devido a variância ambiental

Toda a variação observada em um traço é devido a variância genética

Maior parte dos traços

Herdabilidade

herdabilidade - senso amplo

$$H^2 = \frac{V_g}{V_P} = \frac{V_g}{V_E + V_g}$$

Engloba todos os tipos de efeitos genéticos

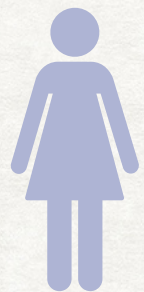
Herança quantitativa

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p}$$

Ana



Clara



Pedro

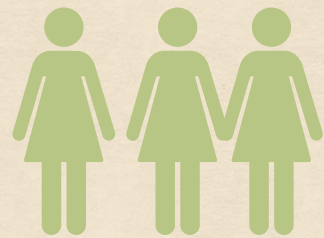


João

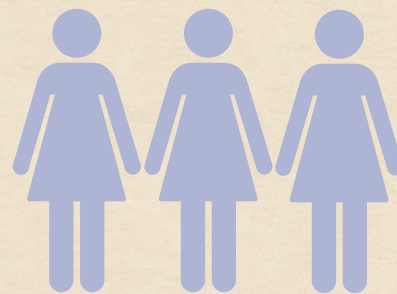


V_p

Ana



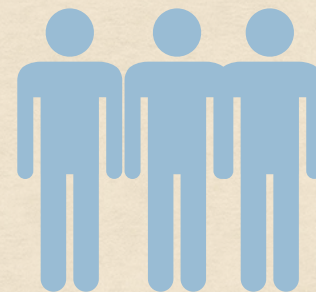
Clara



Pedro



João



V_g

$$V_e = V_p - V_g$$

$$V_g = V_a + V_D + V_i$$

V_a Variância aditiva: Variância devido aos efeitos aditivos dos alelos

V_D Variância de dominância: Variância devida aos efeitos dominantes dos alelos

V_i Variância de epistasia: Variância devida aos efeitos epistáticos (interações entre genes)

Herdabilidade

herdabilidade - senso amplo

$$H^2 = \frac{V_g}{V_P} = \frac{V_g}{V_E + V_g}$$

herdabilidade - senso estrito

$$h^2 = \frac{V_a}{V_P} = \frac{V_a}{V_e + V_a + V_D + V_i}$$

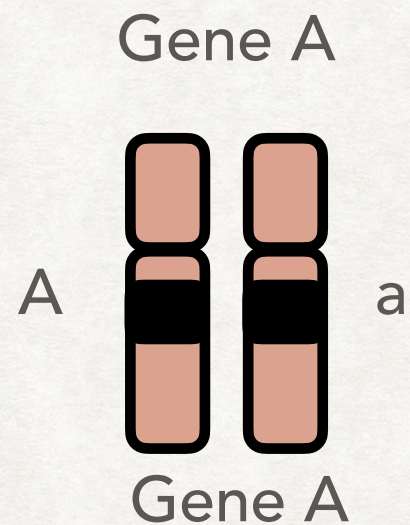
Herdabilidade

Efeitos aditivos são os responsáveis pela maior parte da semelhança entre pais e filhos

Herdabilidade

Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?

Herança dominante



aa

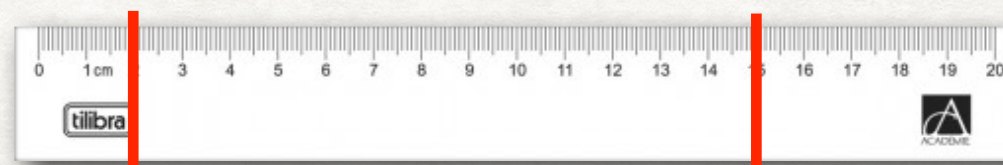
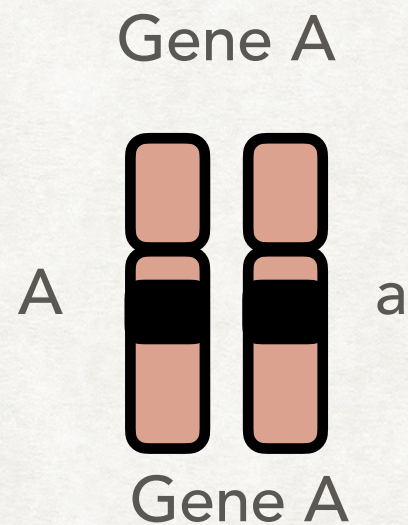
A a

A A

Herdabilidade

Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?

Herança dominante



aa

A a

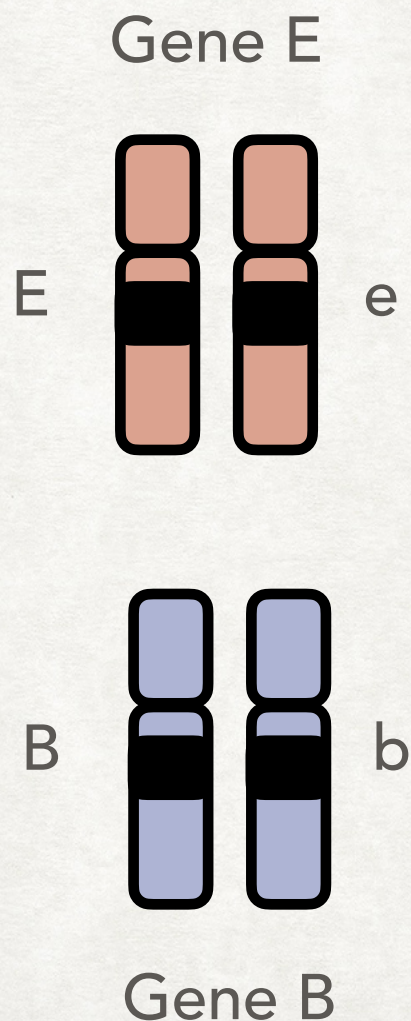
A A

Qual o valor do alelo a?

Herdabilidade

Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?

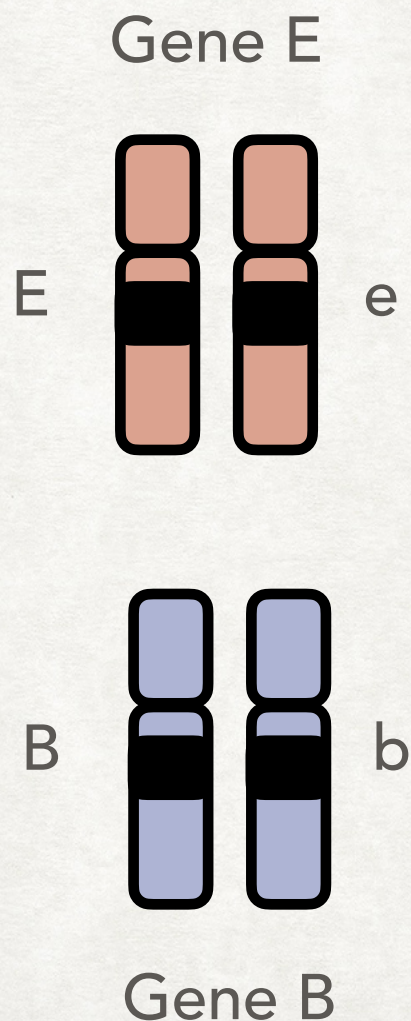
Herança epistática



Herdabilidade

Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?

Herança epistática

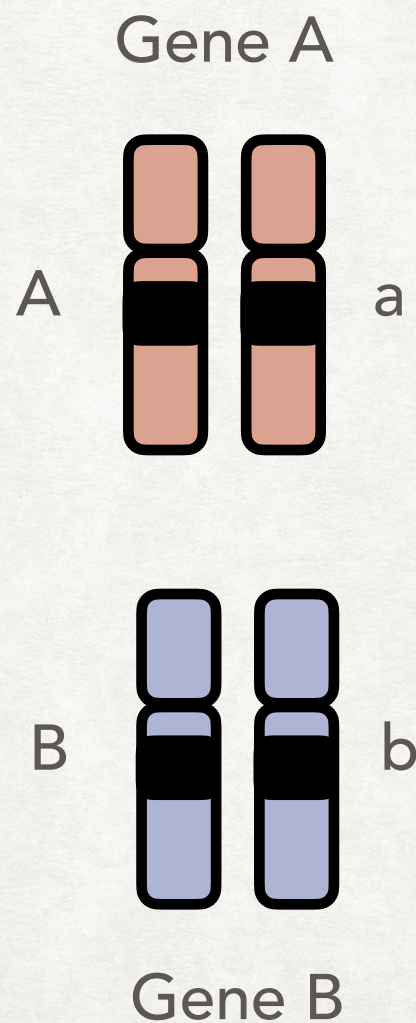


$eebb$	$eeBB$ $eeBb$	$EEbb$ $Eebb$	$EEBB$ $EEBb$ $EeBb$
			

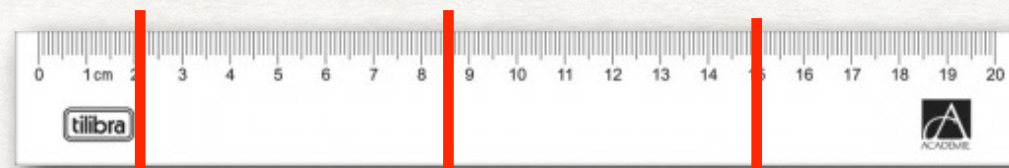
Qual o valor do alelo B?

Herdabilidade

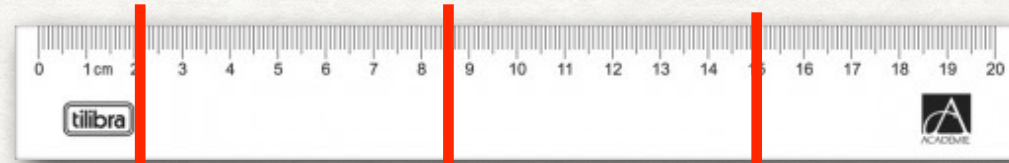
Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?



Herança aditiva



aa A a A A



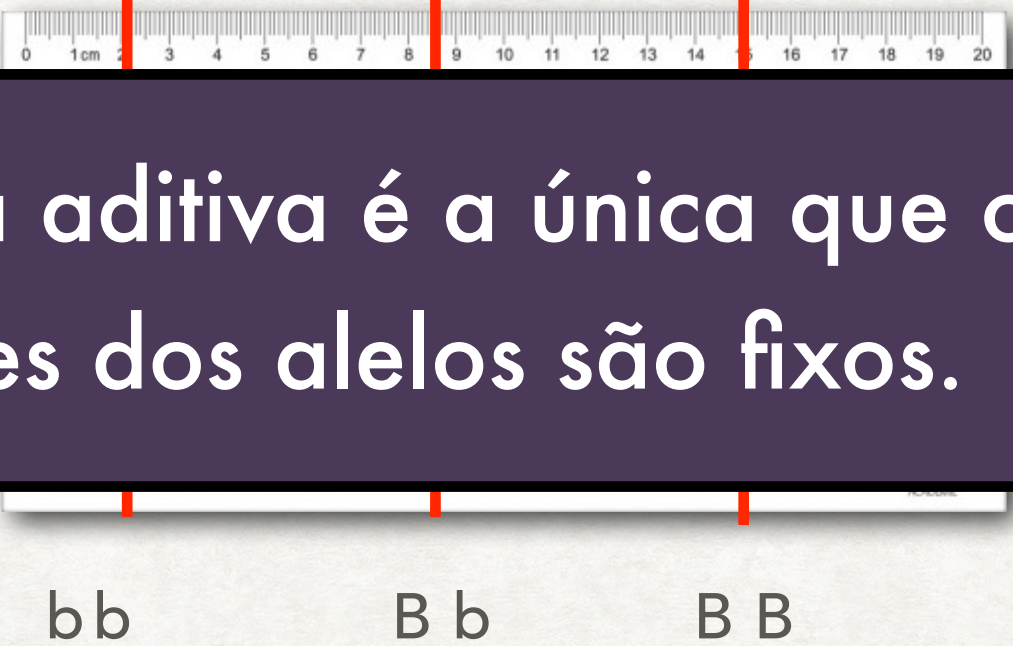
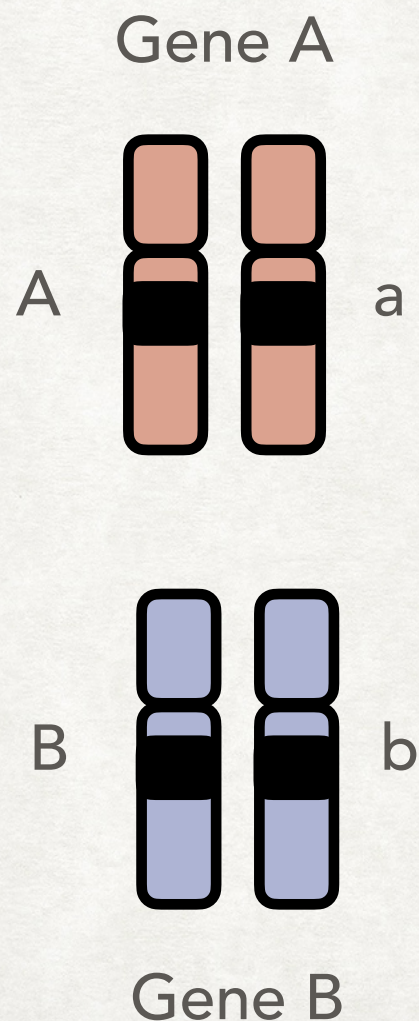
bb B b B B

Qual o valor do alelo A?

Herdabilidade

Por que os efeitos aditivos tem maior contribuição para a semelhança entre pais e filhos?

Herança aditiva



Herança aditiva é a única que os valores dos alelos são fixos.

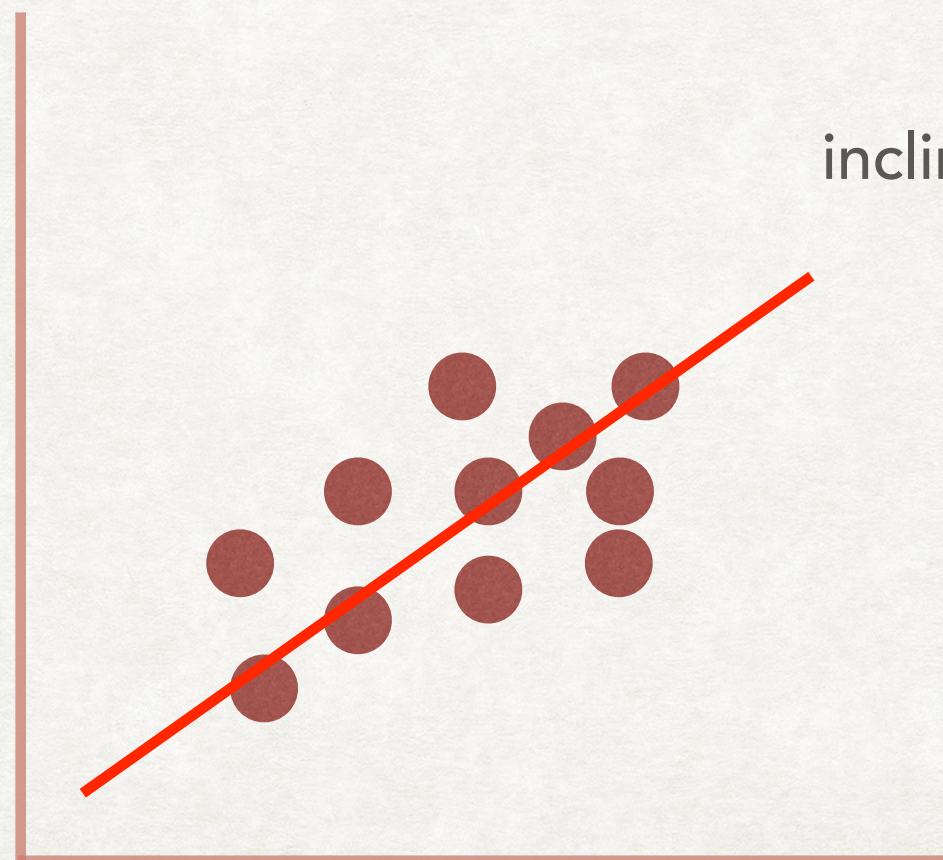
Qual o valor do alelo A?

Herdabilidade

Se a variação entre indivíduos é devida a variação genética

Indivíduos se assemelharão a seus pais

altura dos filhos



média da altura dos pais

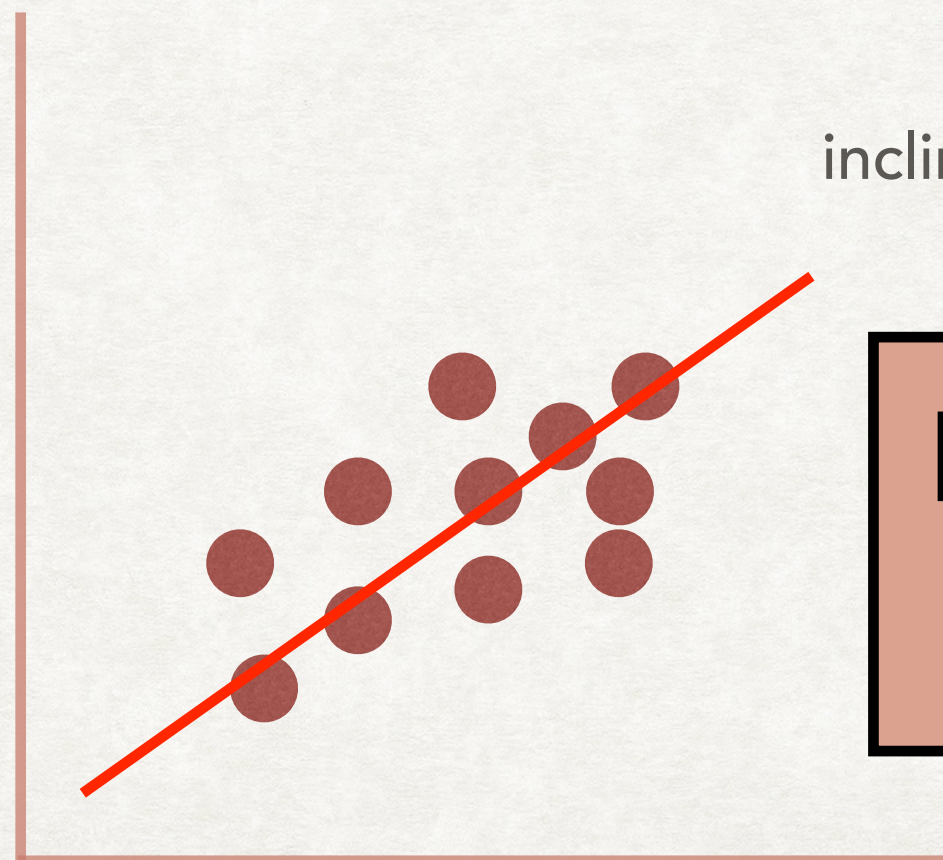
inclinação da reta = 0.84

Herdabilidade

Se a variação entre indivíduos é devida a variação genética

Indivíduos se assemelharão a seus pais

altura dos filhos



média da altura dos pais

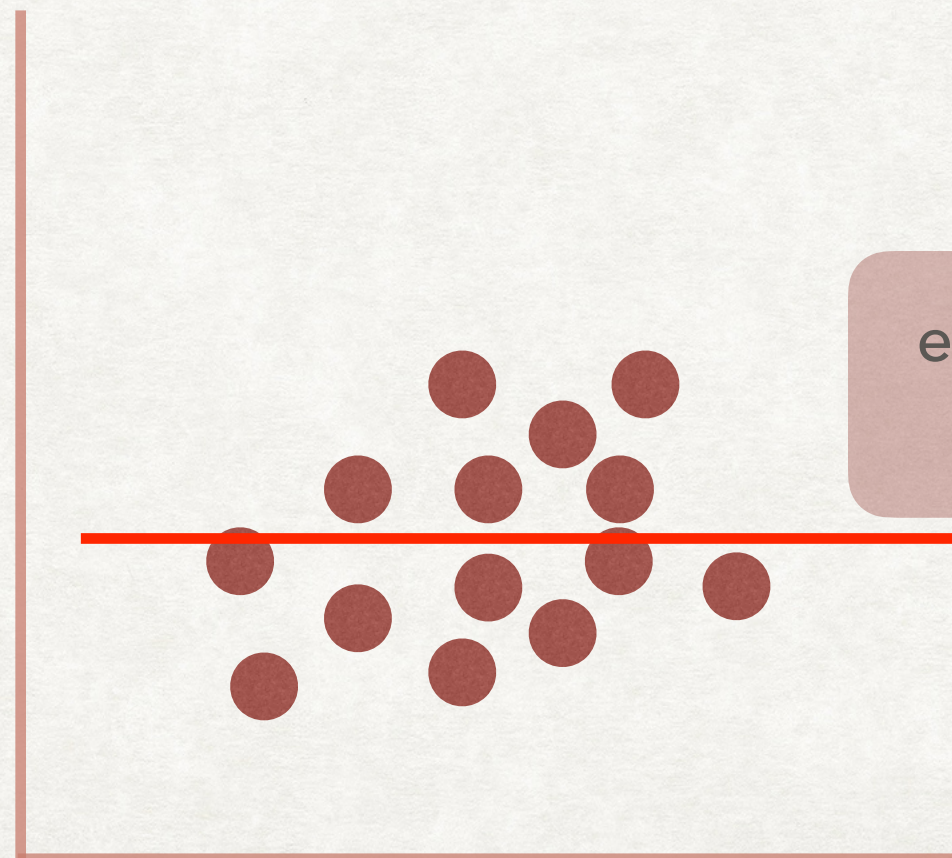
**herdabilidade
senso estrito**

Herdabilidade

Se a variação entre indivíduos é devida a variação ambiental

Indivíduos não se assemelharão a seus pais

altura dos filhos



estimativa de herdabilidade
inclinação da reta = 0.0

média da altura dos pais

Herdabilidade- o que não é

- Não conseguimos prever o fenótipo dos filhos dado a herdabilidade. Para isso, precisaríamos saber os efeitos de **todos** os genes envolvidos na determinação do traço. O que conseguimos é saber o quanto de desvio os filhos poderão ter em relação aos pais
- Herdabilidade é uma propriedade da população, não do indivíduo

Herdabilidade

Acurada apenas se não houver interação entre
variação ambiental e genética

Um aumento de V_e leva a uma diminuição da
estimativa de herdabilidade

$$H^2 = \frac{V_g}{V_p}$$

Medida populacional que requer variação!

Herdabilidade

Não serve para determinar diferenças entre populações!!!!!!!!!!!!!!

Herdabilidade

Não serve para determinar diferenças entre populações!!!!!!!!!!!!!!

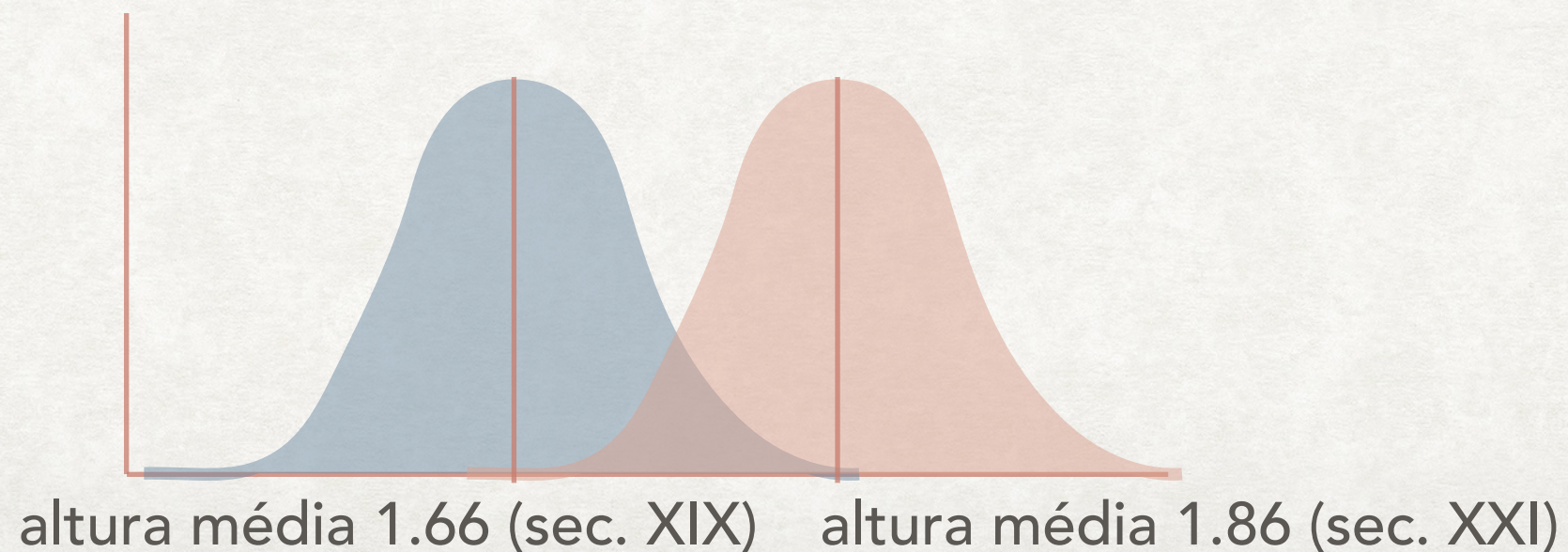
$$H^2 = 0.88$$

Herdabilidade

Não serve para determinar diferenças entre populações!!!!!!!!!!!!!!

$$H^2 = 0.88$$

Altura Holandeses

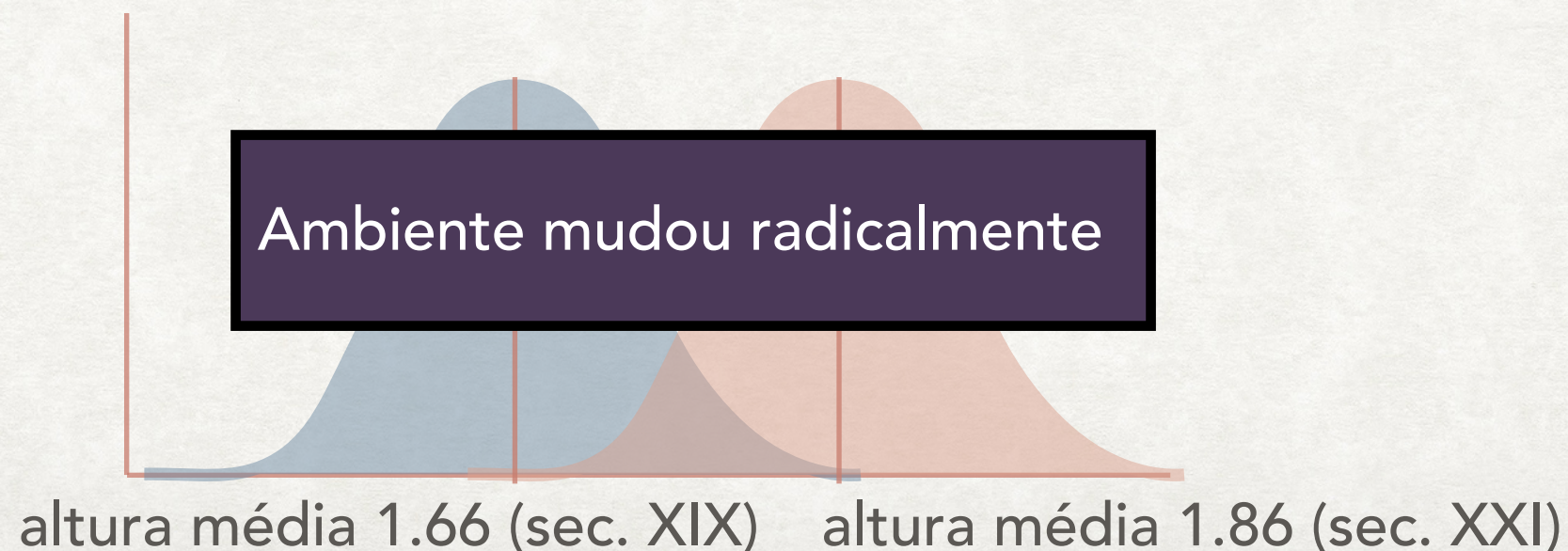


Herdabilidade

Não serve para determinar diferenças entre populações!!!!!!!!!!!!!!

$$H^2 = 0.88$$

Altura Holandeses



Genética quantitativa

- Ferramentas para se medir variação herdável
- Ferramentas para prever a resposta à seleção



Herdabilidade pode nos ajudar a prever a resposta evolutiva

equação do criador ou equação de resposta a seleção

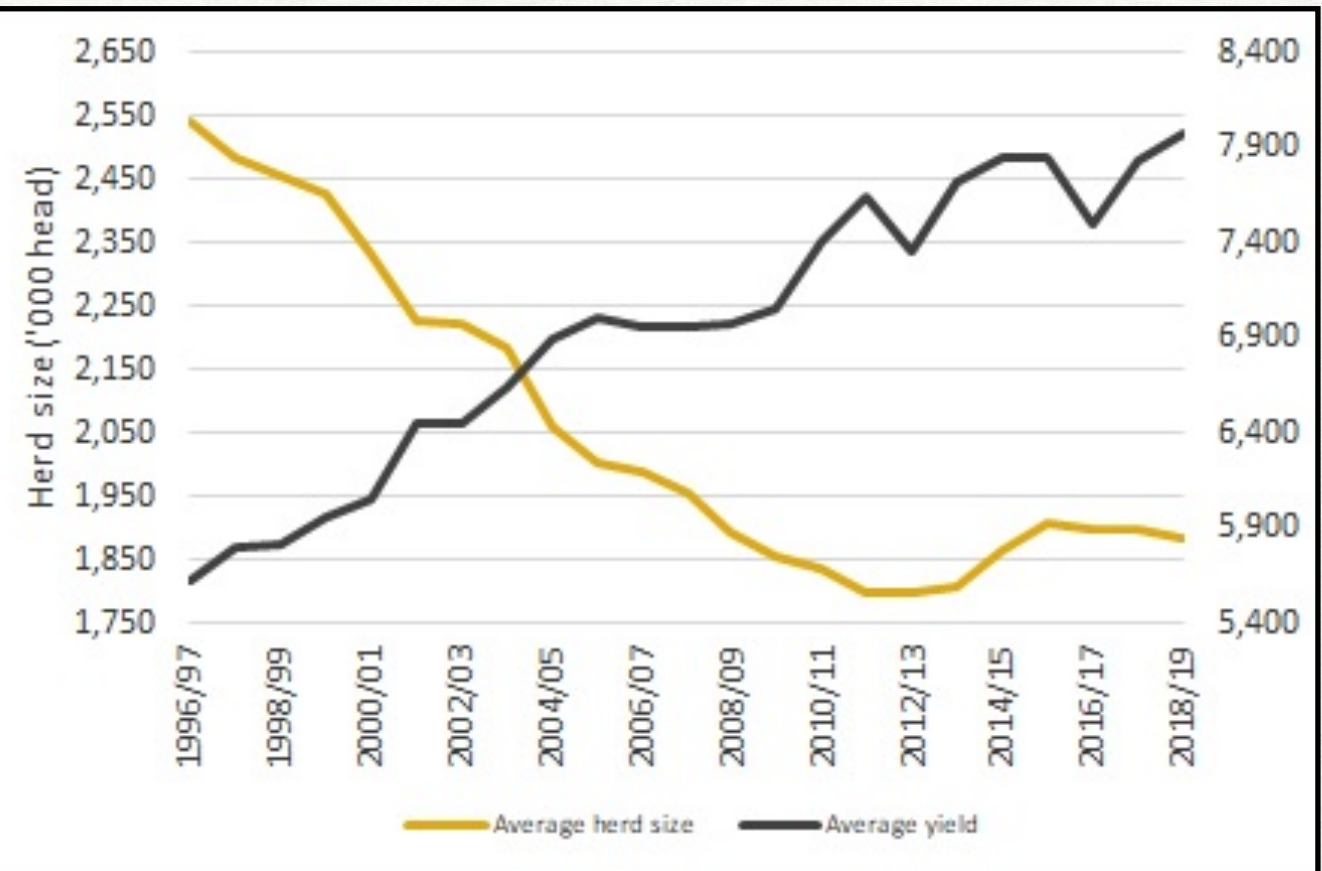
$$R = h^2 S$$

Resposta evolutiva

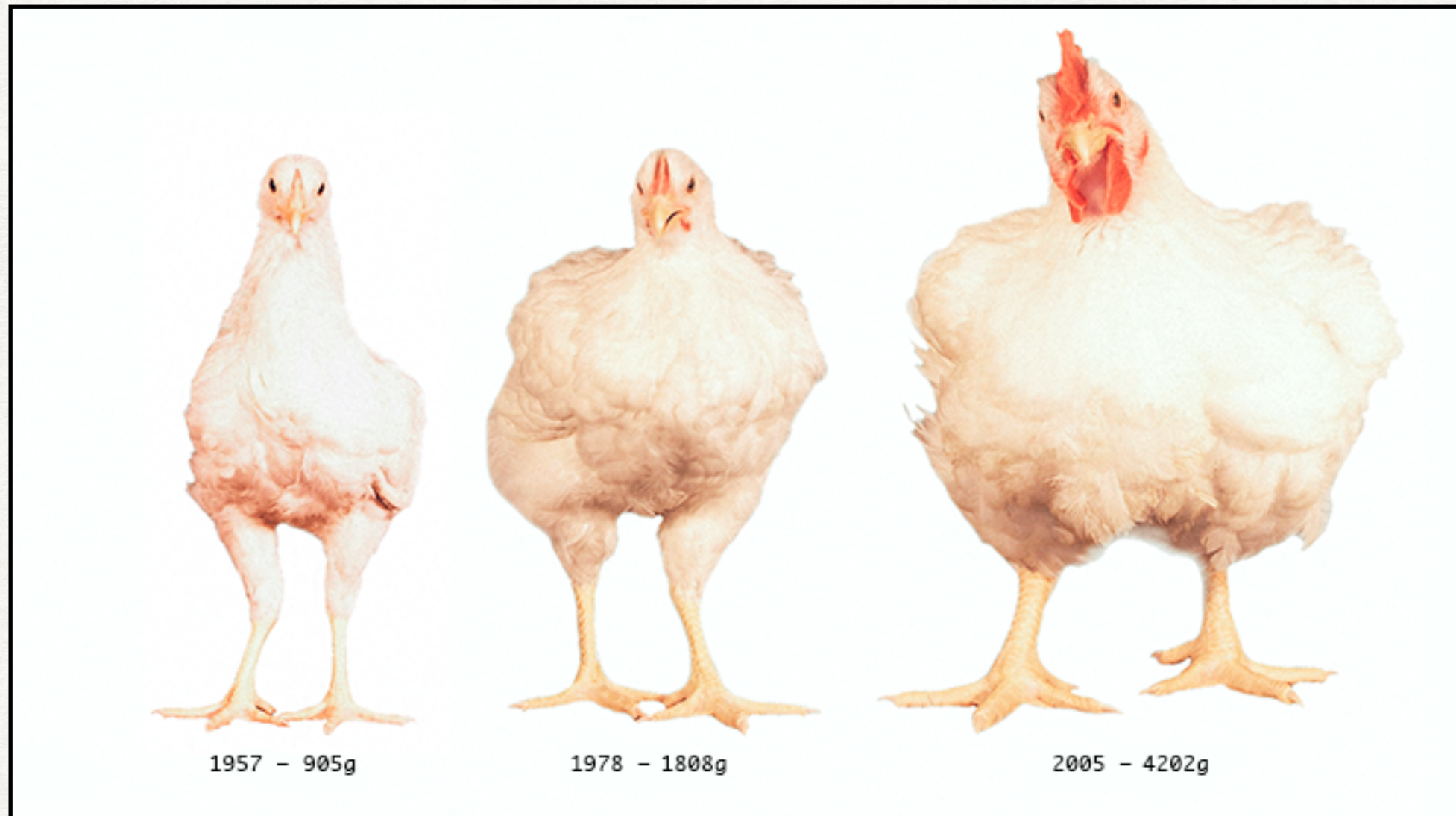
Diferencial de seleção

herdabilidade

Herdabilidade pode nos ajudar a prever a resposta evolutiva



Herdabilidade pode nos ajudar a prever a resposta evolutiva



Herdabilidade pode nos ajudar a prever a resposta evolutiva



**Herdabilidade pode nos ajudar
a prever a resposta evolutiva**

**Estimar resposta à seleção em
populações naturais!!**

Peter e Rosemary Grant

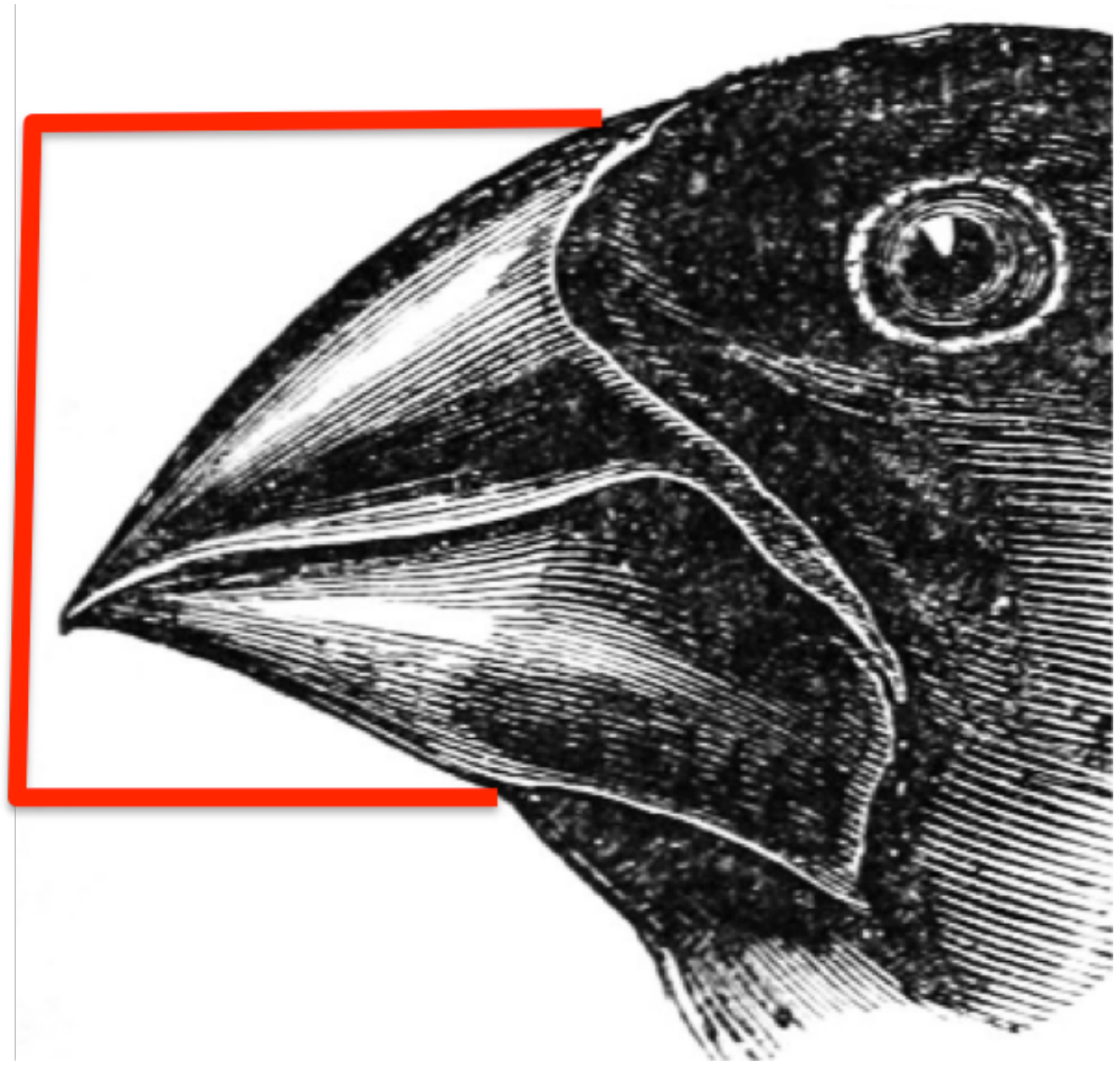




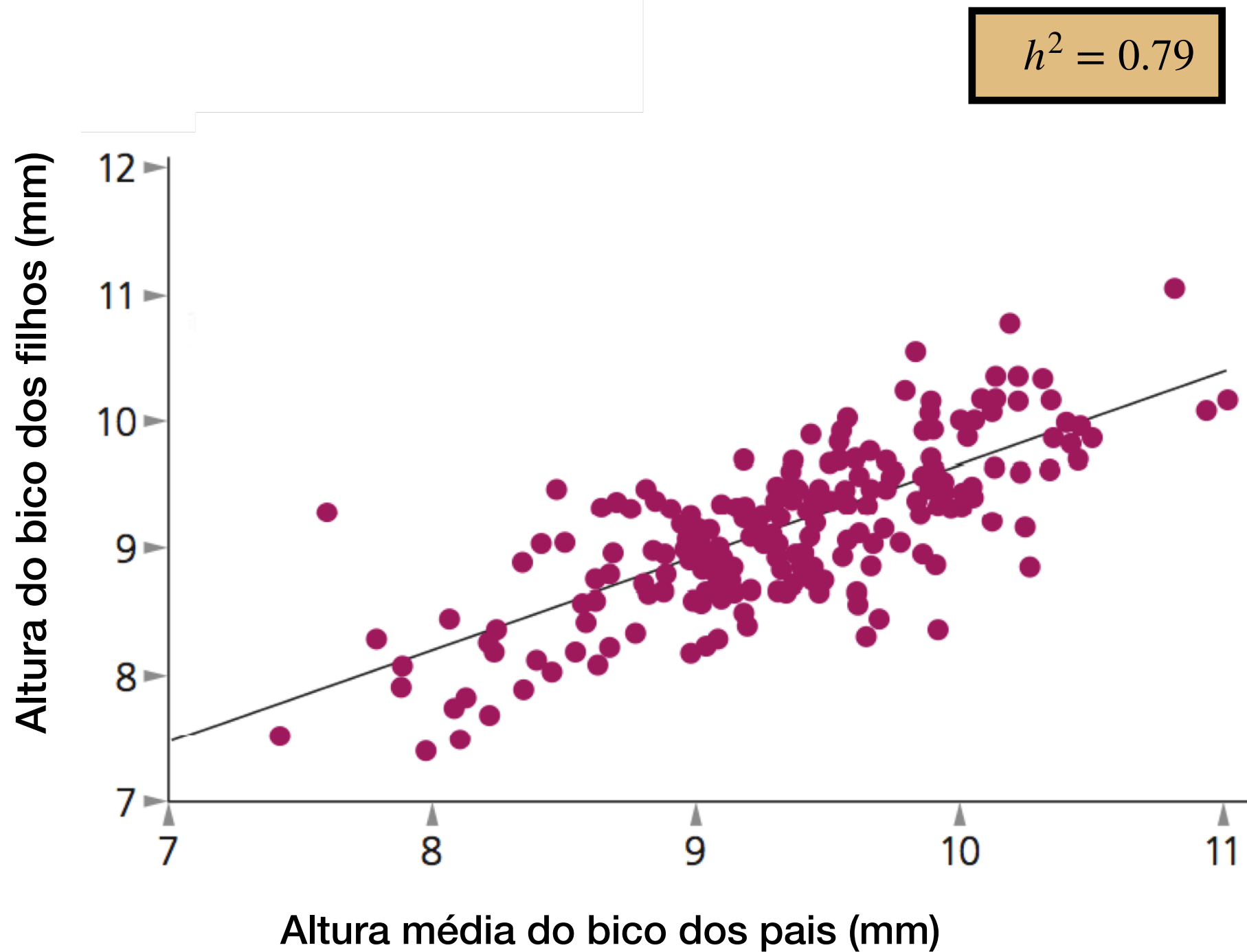
Geospiza fortis



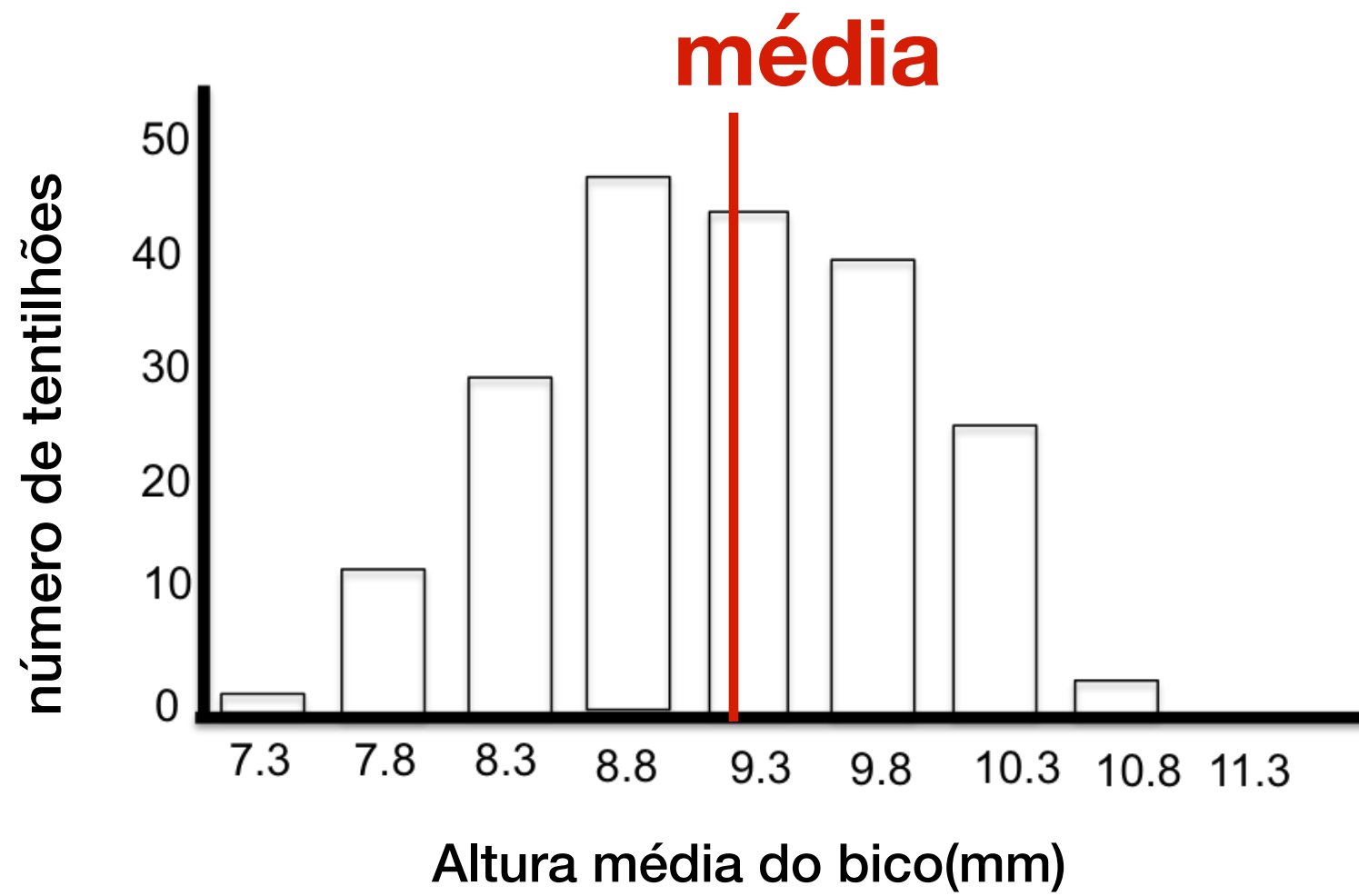
Daphne Major

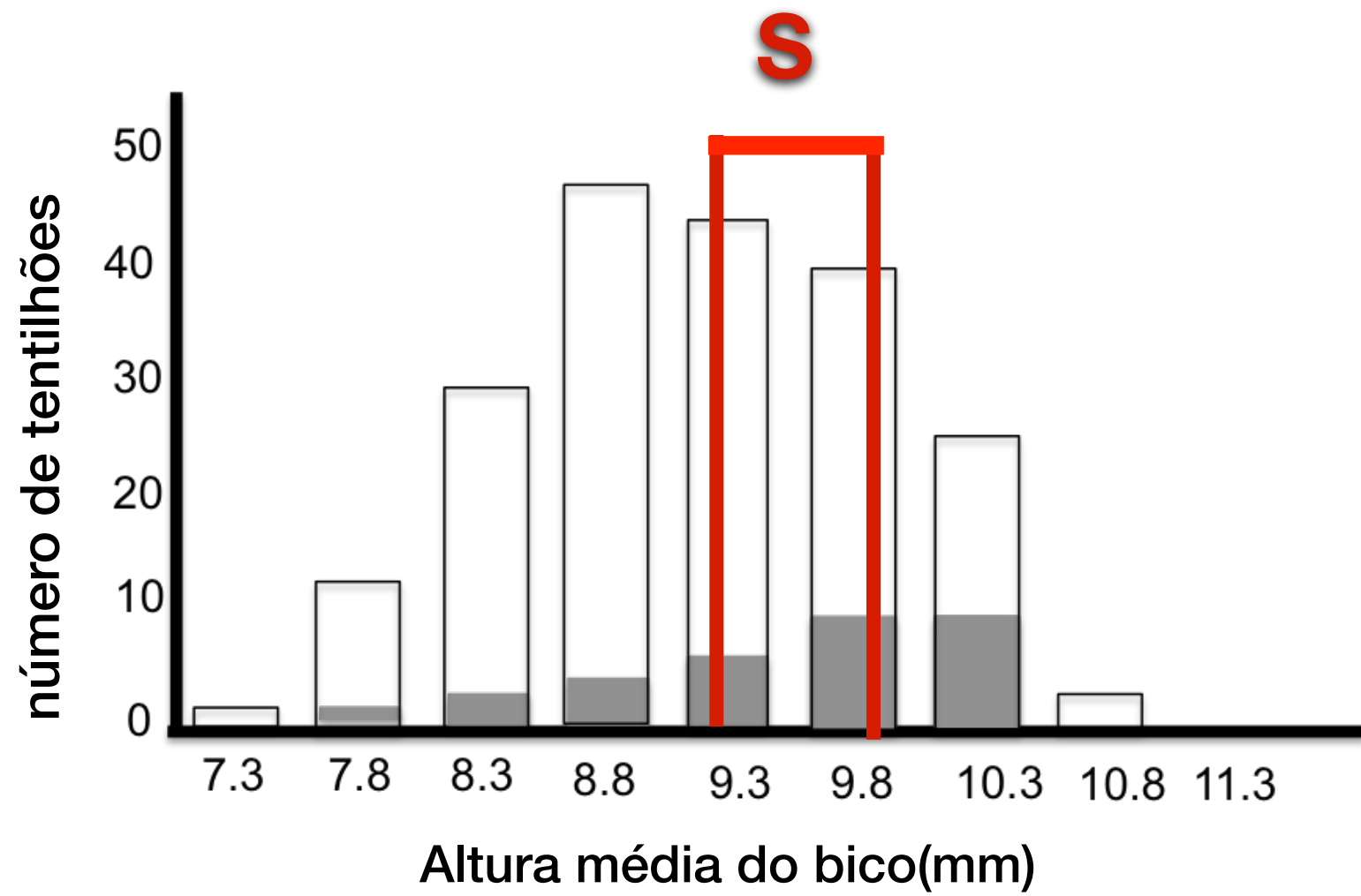


A variação é herdável

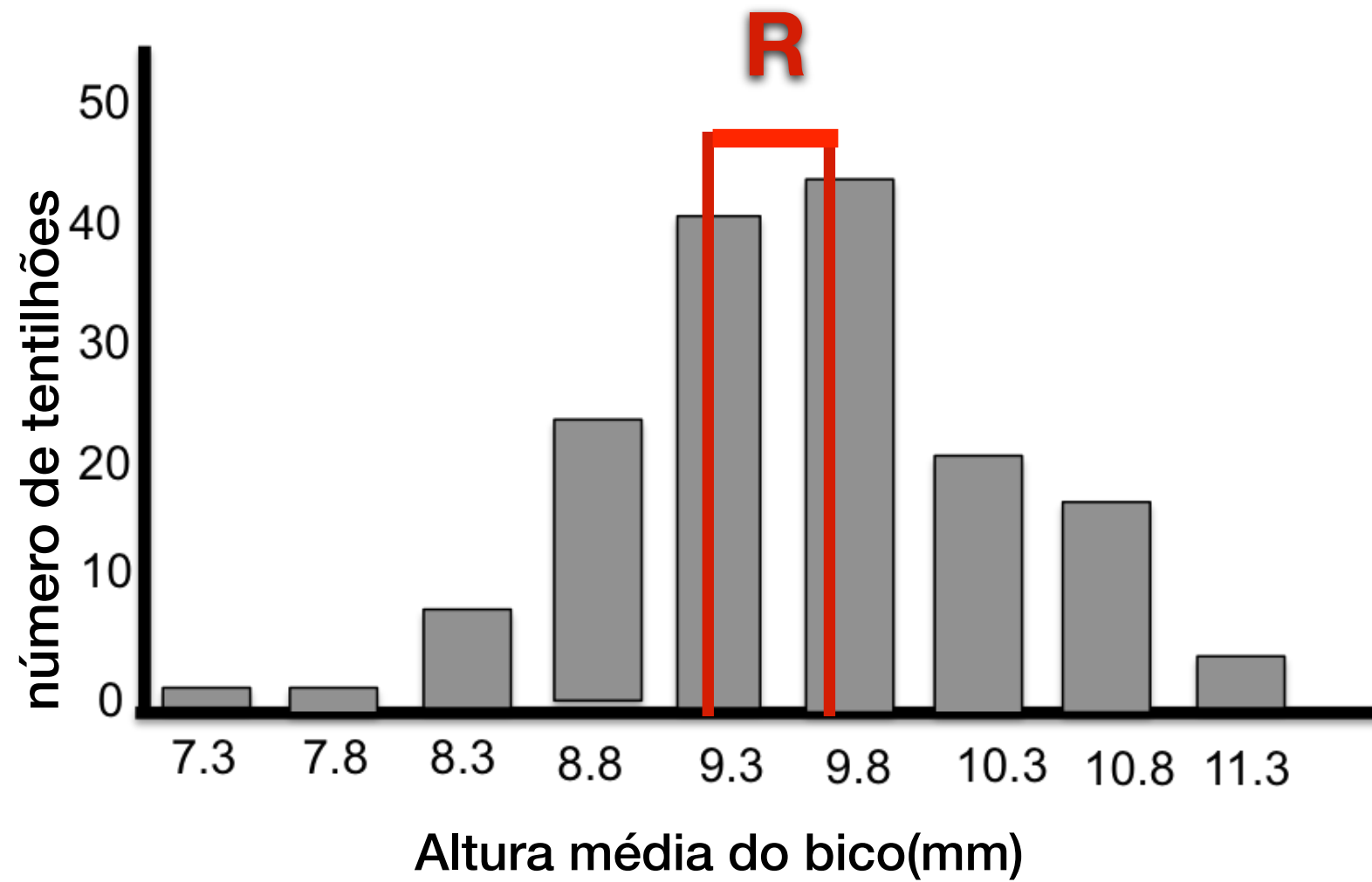


Em 1976





$$\bar{X}_P = 9.2; \bar{X}_S = 9.9$$



$$R = h^2 S$$

$$S = 0.7$$

$$R = 0.553$$

$$h^2 = 0.79$$

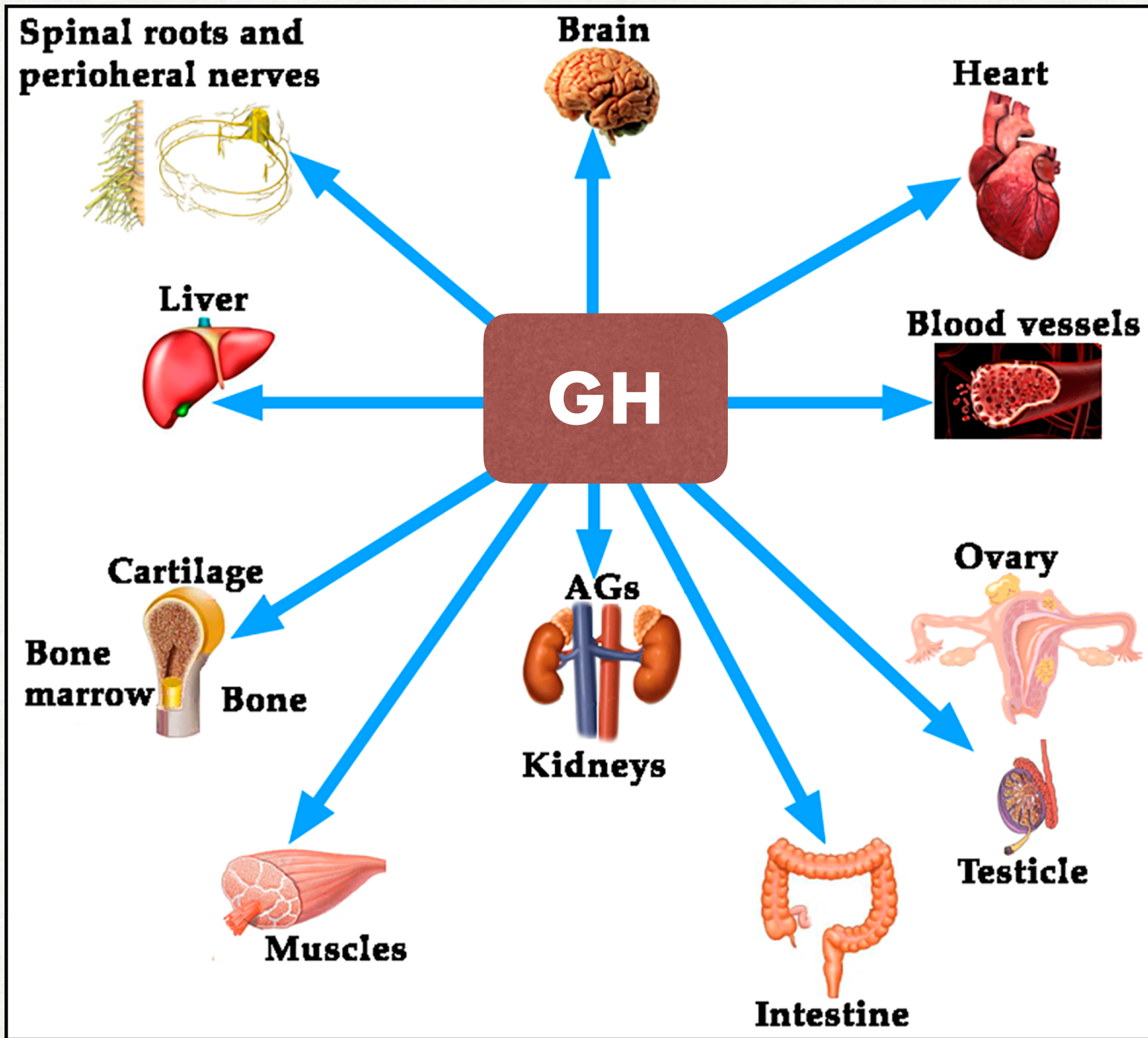
RESUMO

- Características quantitativas tem herança multifatorial: muitos genes influenciam e o ambiente
- Estudamos características contínuas através da descrição da variação presente nas populações
- Herdabilidade é uma medida populacional que ajuda a determinar o quanto de uma característica é devida à genética e ao ambiente
- Herdabilidade nos ajuda a prever a resposta evolutiva frente a seleção natural (e artificial)

MODULARIDADE

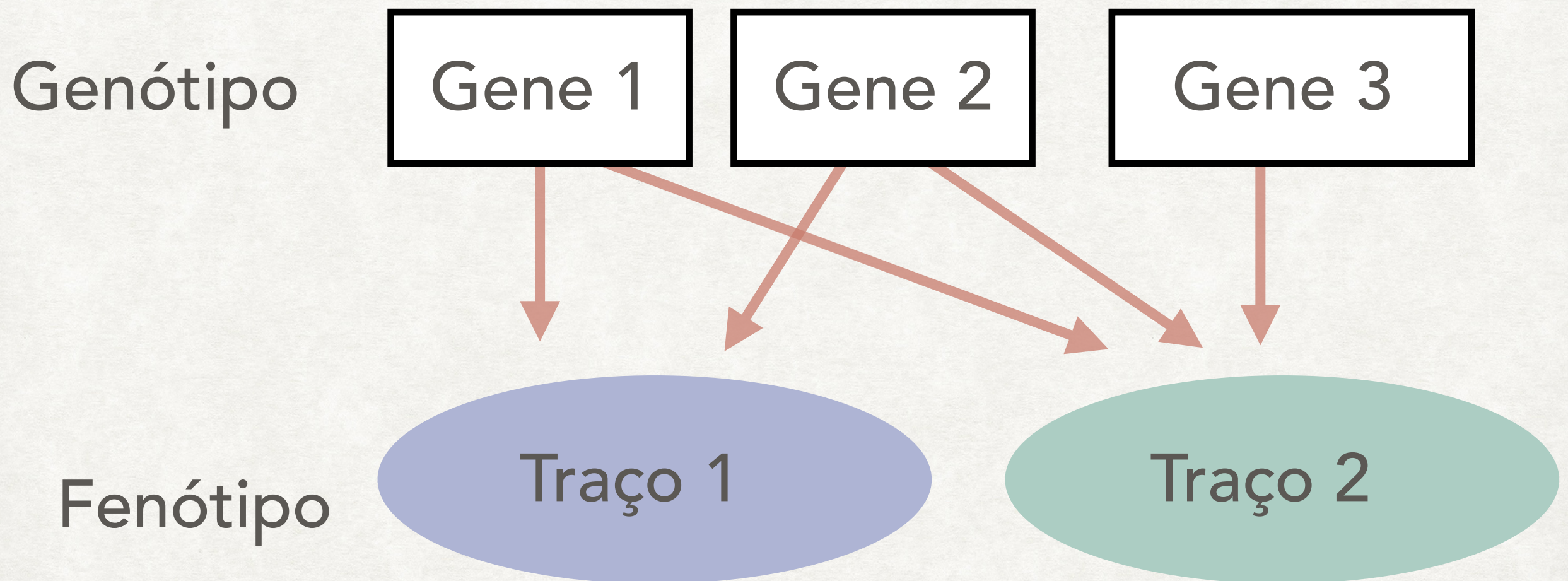
Assim como um caráter é influenciado por muitos genes, um gene pode influenciar muitos caracteres diferentes!

GH



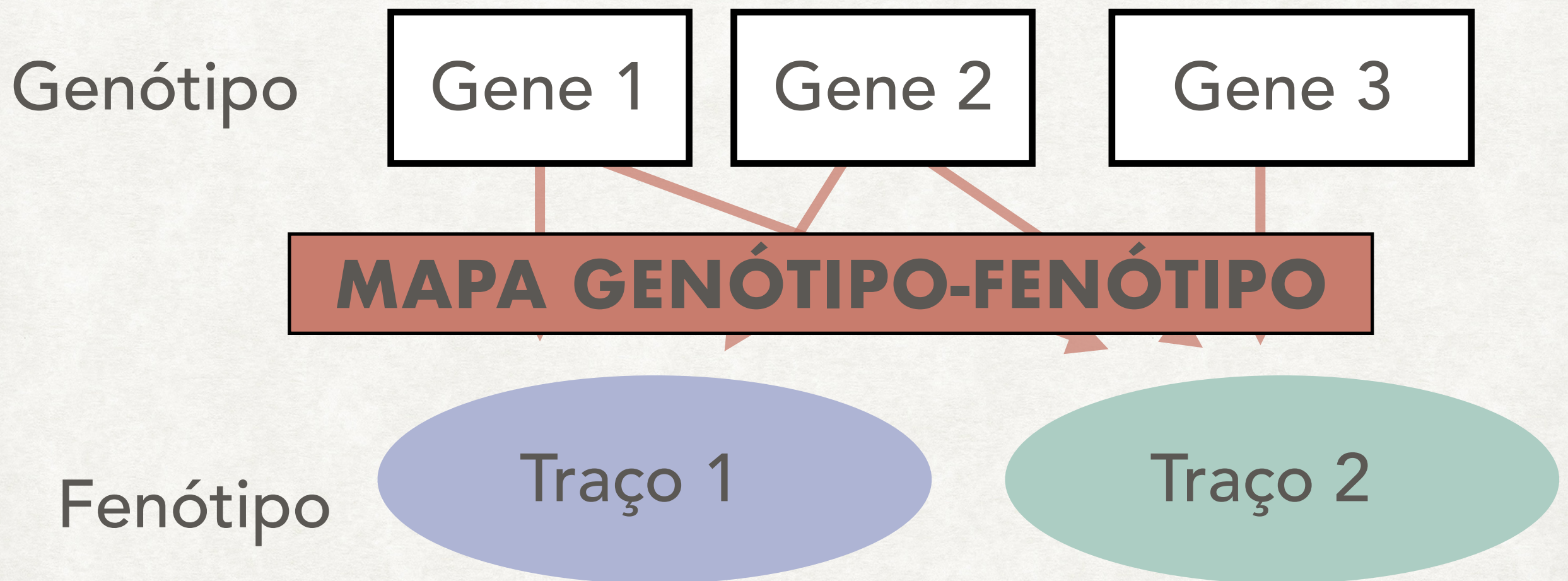
MODULARIDADE

Assim como um caráter é influenciado por muitos genes, um gene pode influenciar muitos caracteres diferentes!



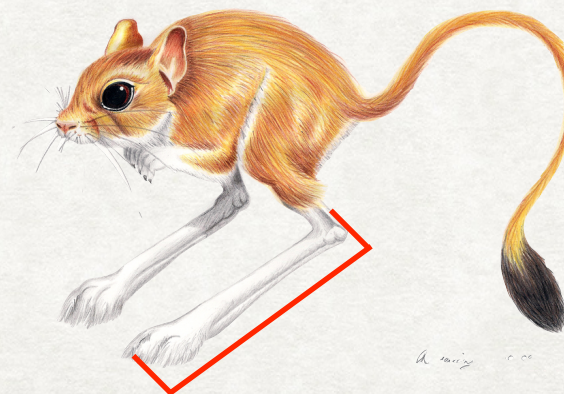
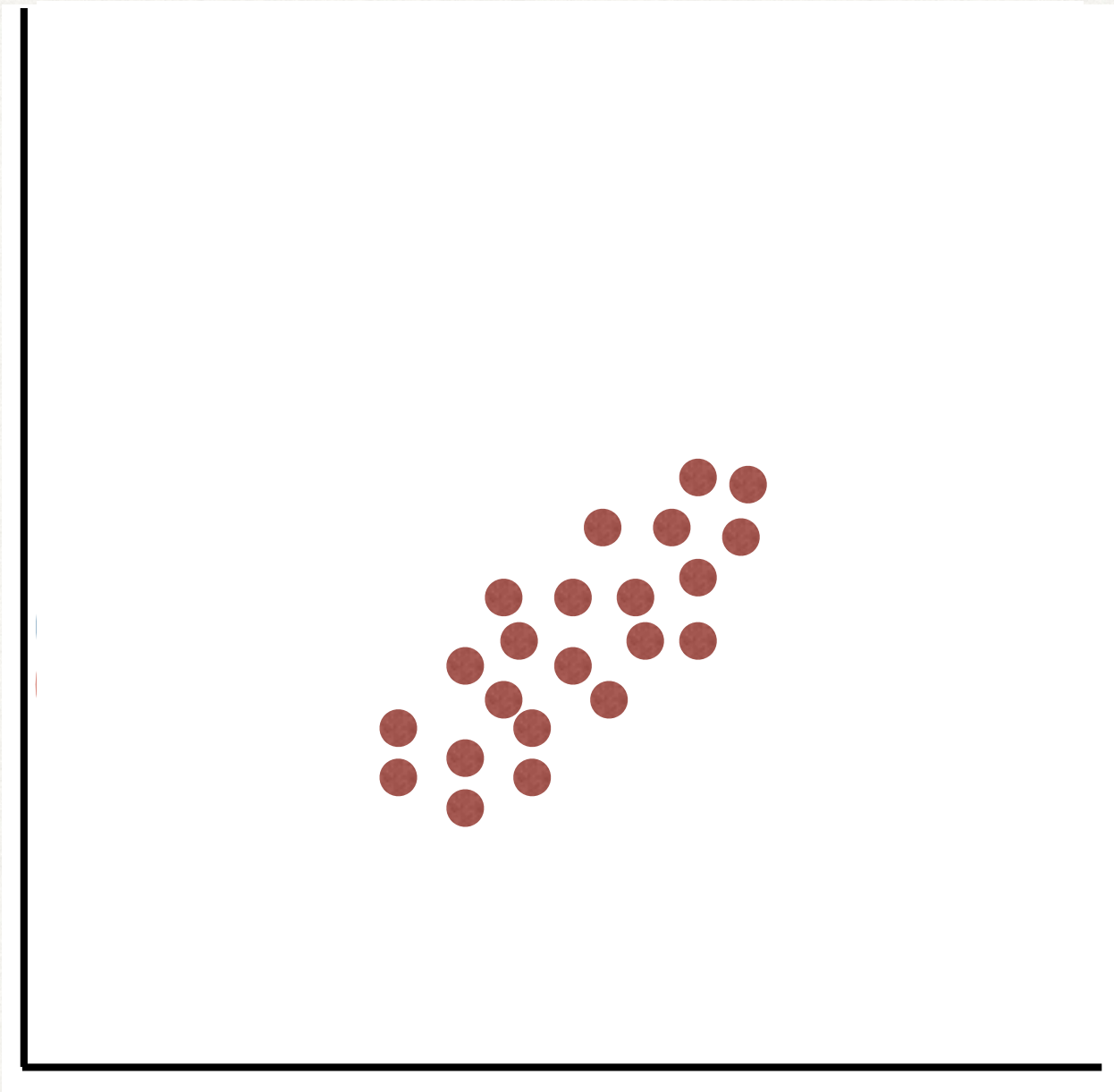
MODULARIDADE

Assim como um caráter é influenciado por muitos genes, um gene pode influenciar muitos caracteres diferentes!





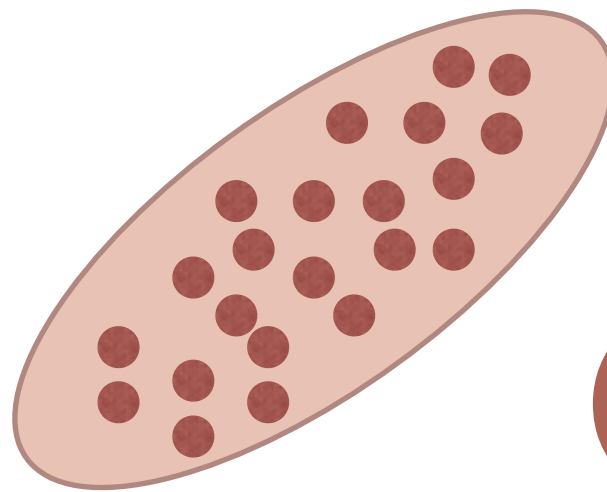
A. S. S. 1900



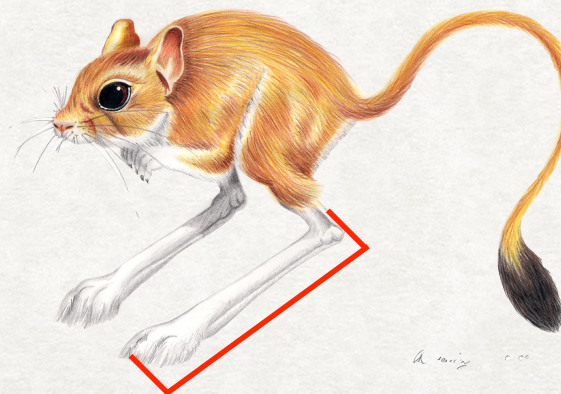
A. S. S. 1900



A. Savary 1900



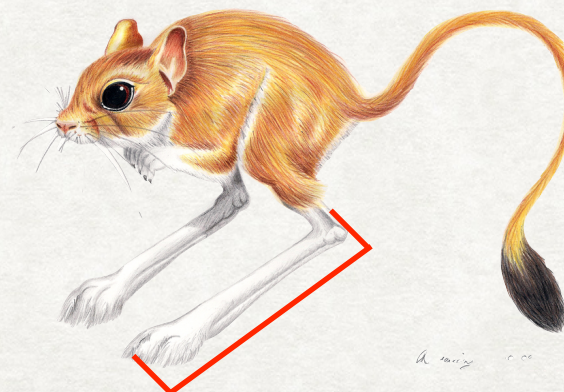
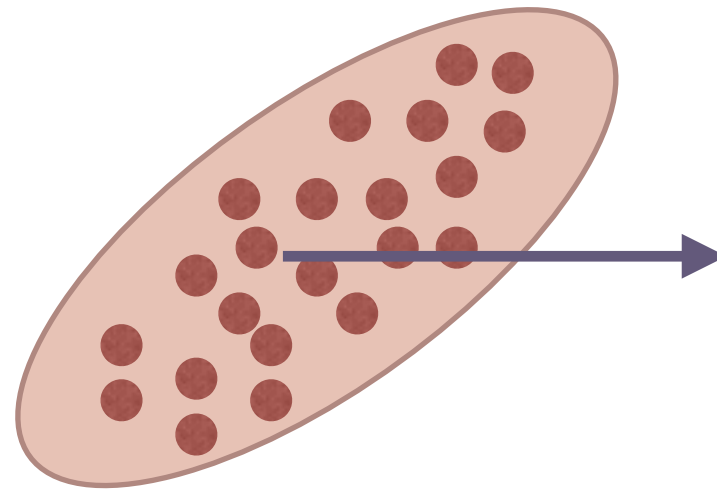
G



A. Savary 1900

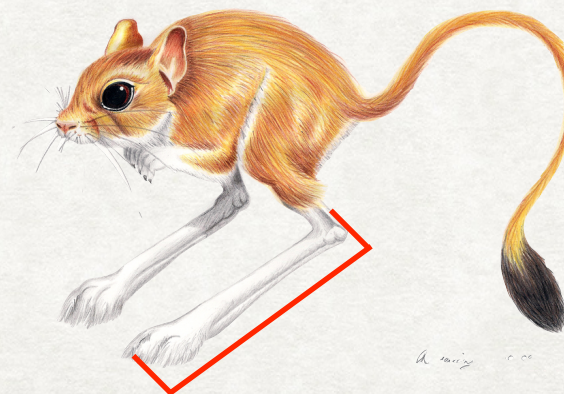
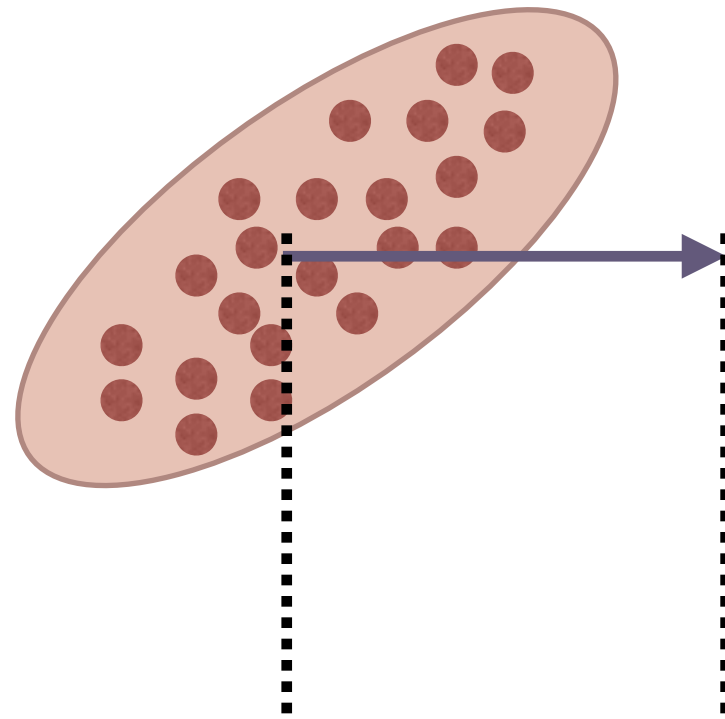


Mudança evolutiva?



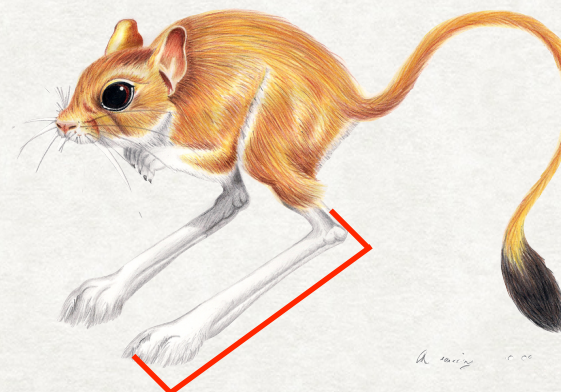
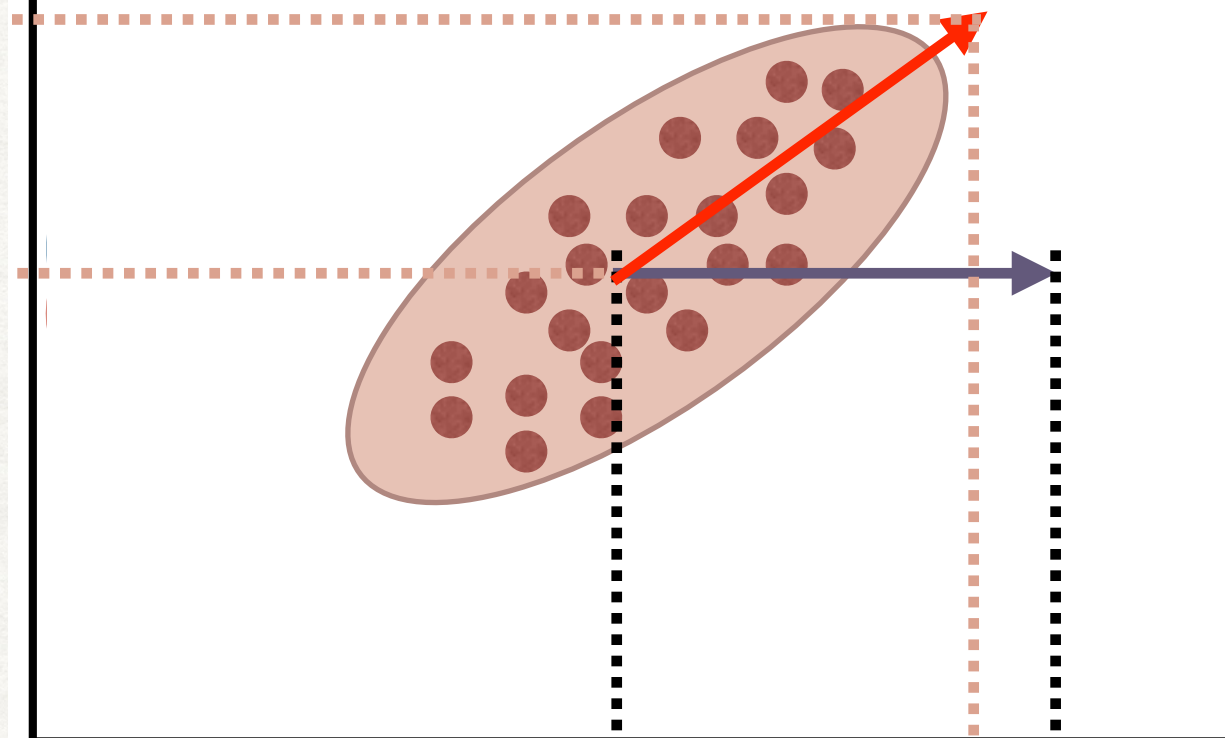


Mudança evolutiva?

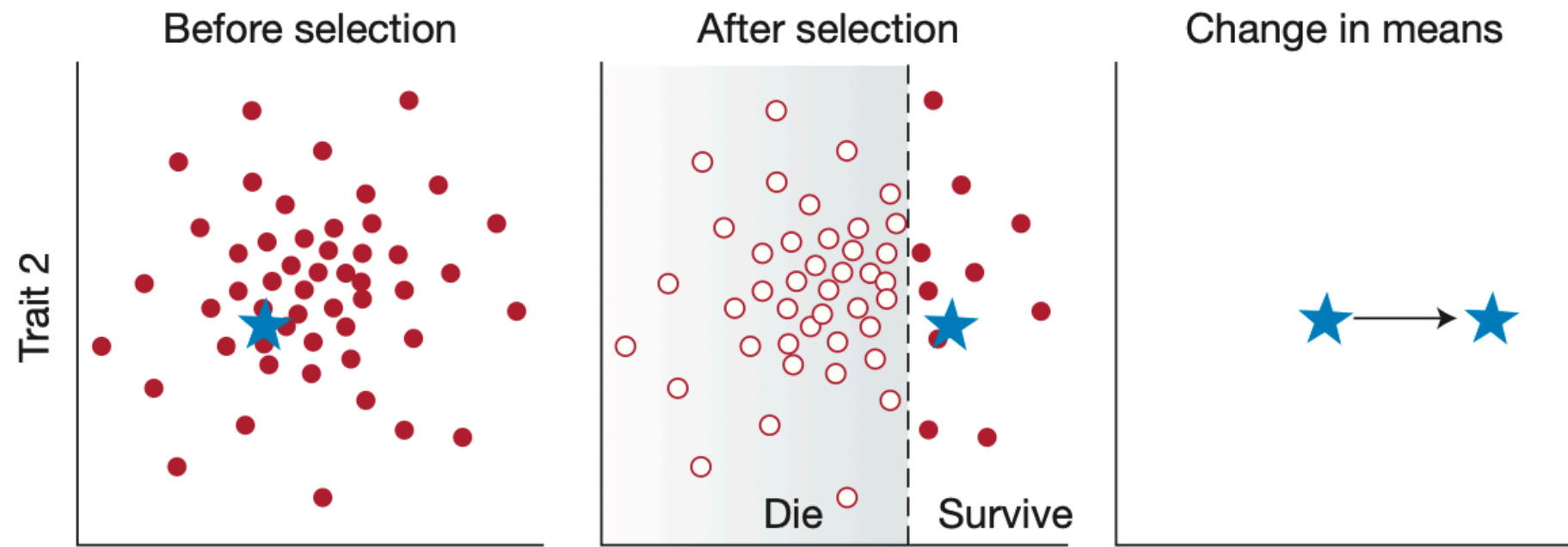




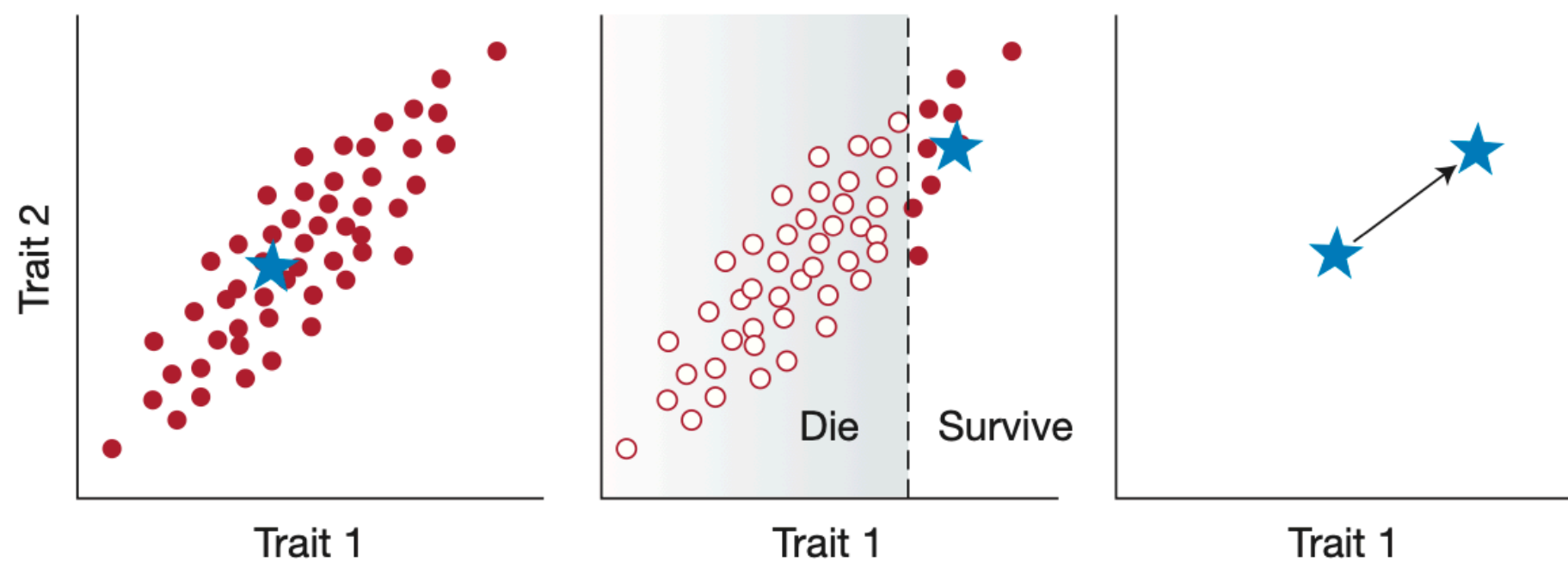
Mudança evolutiva?

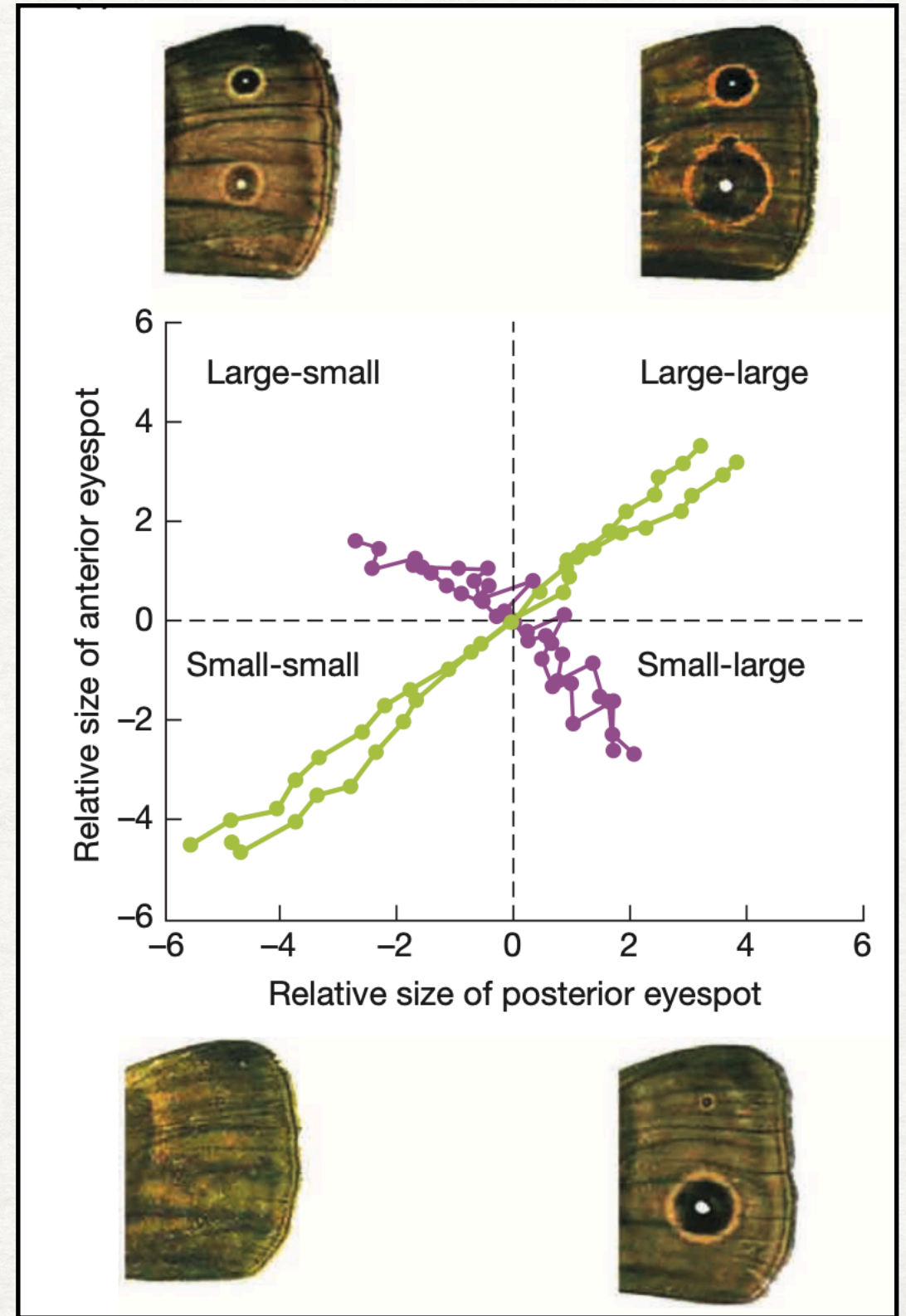


(A)



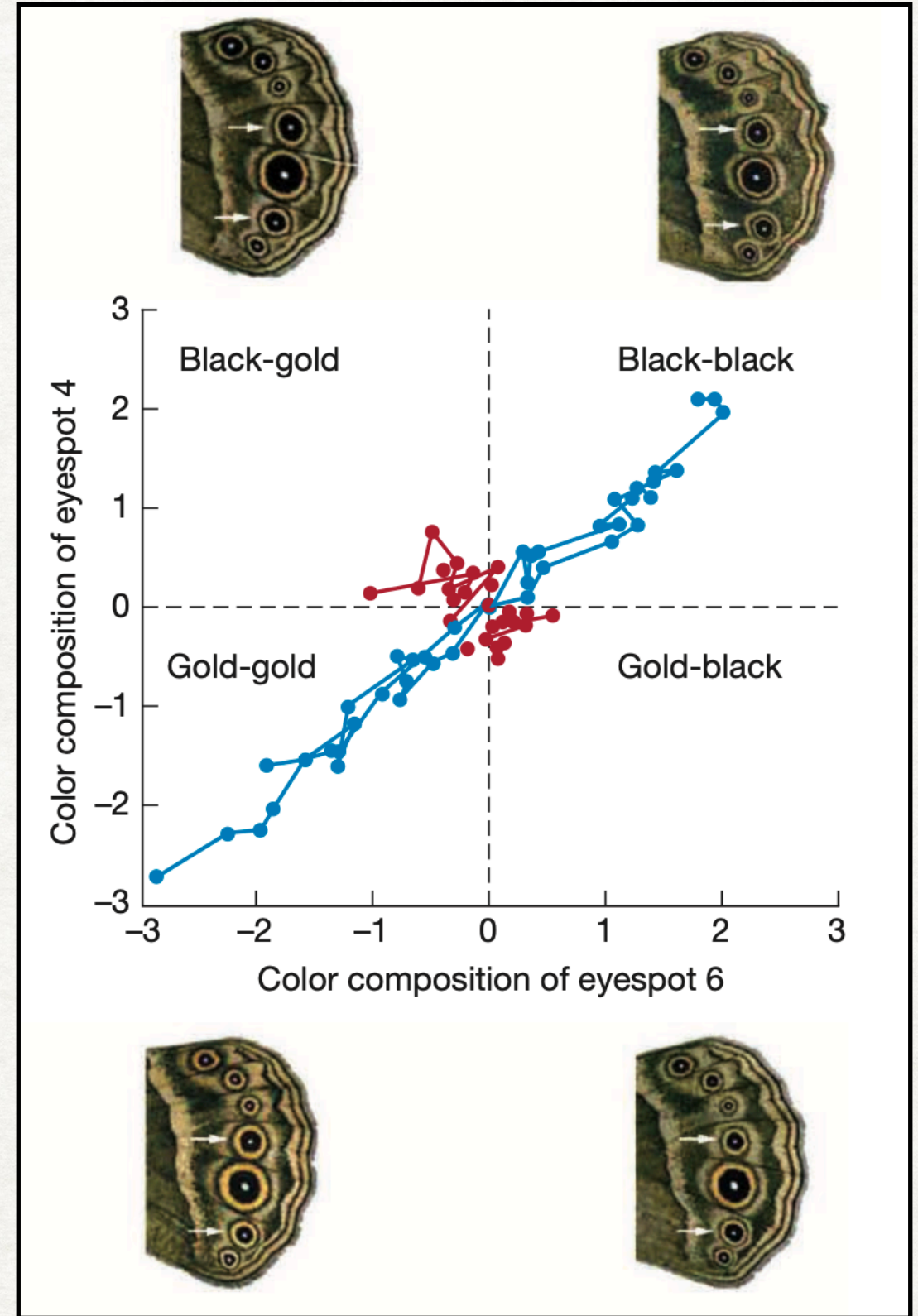
(B)



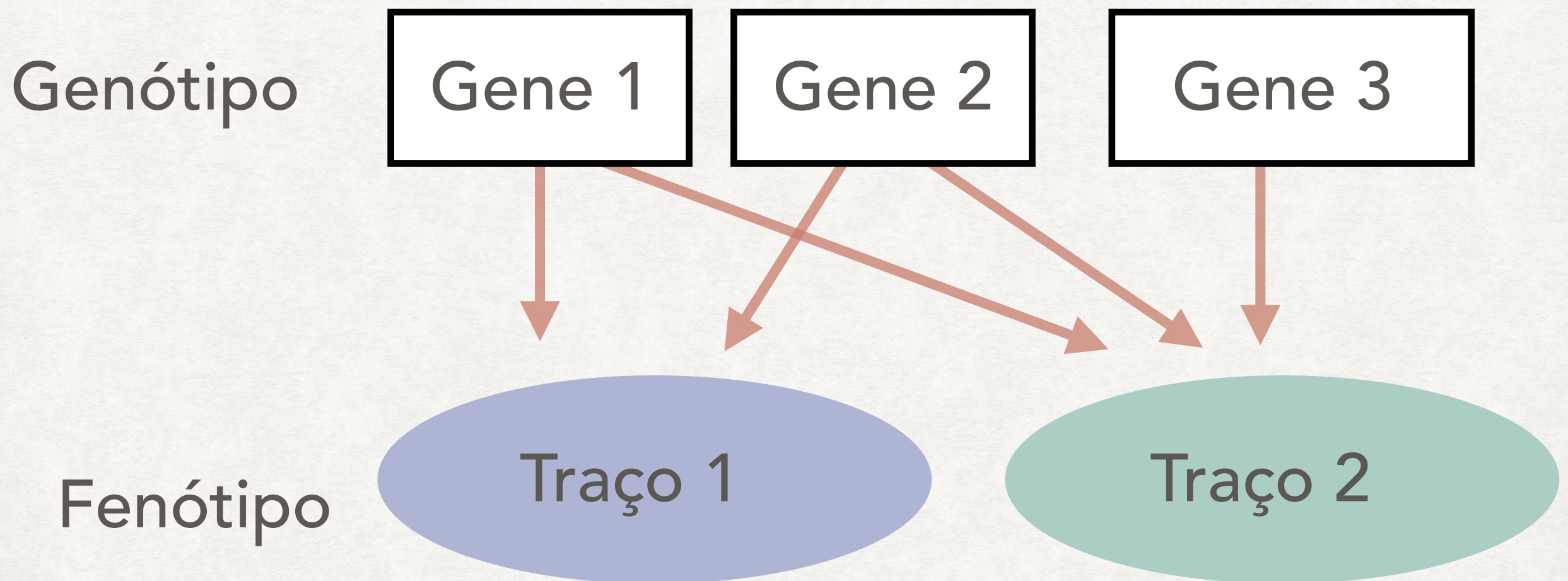




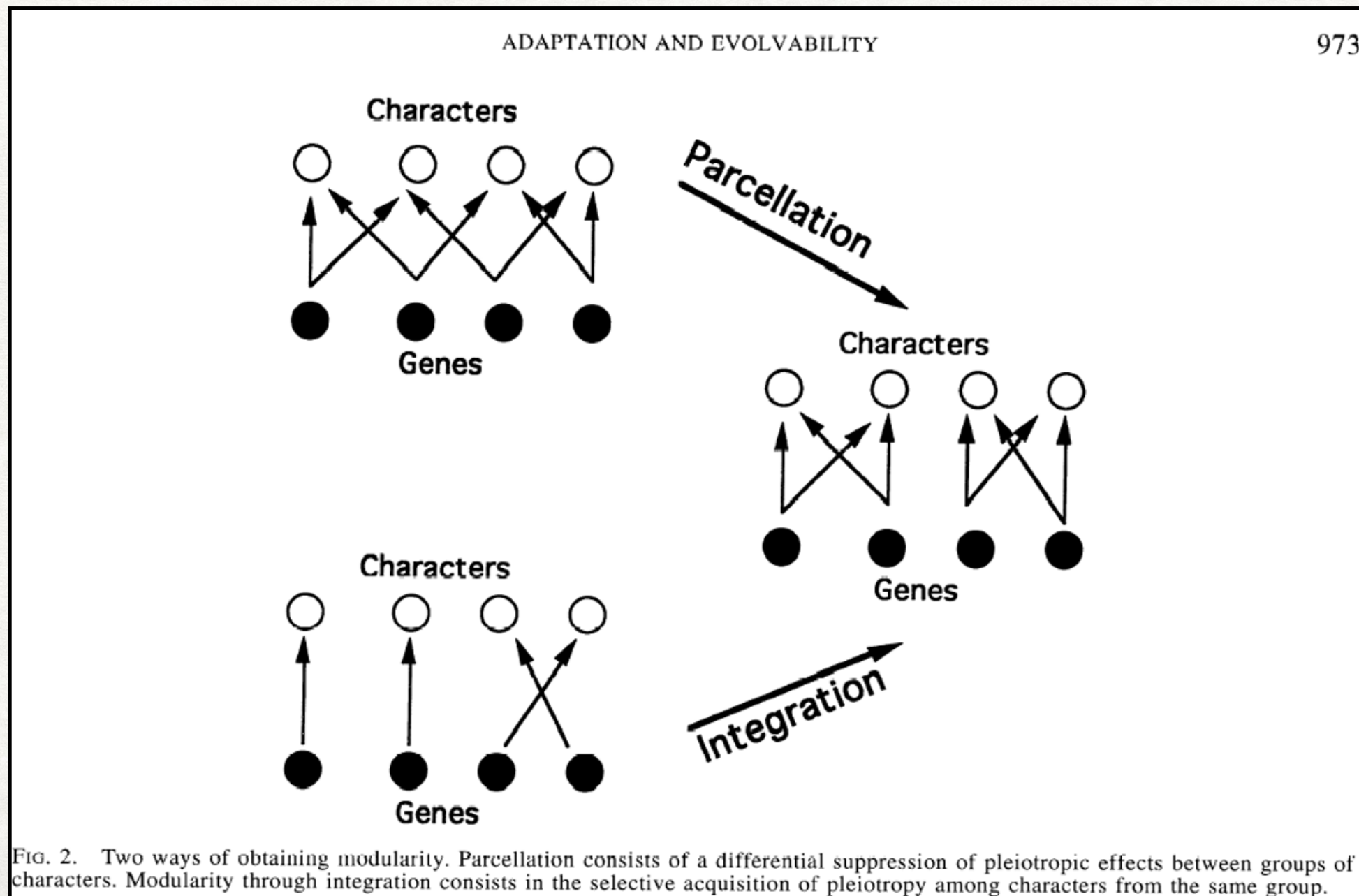
Pelo menos em um curto espaço de tempo
essas correlações podem representar
restrições genéticas



DÁ PRA MUDAR COMO ESSAS COISAS SÃO CORRELACIONADAS?

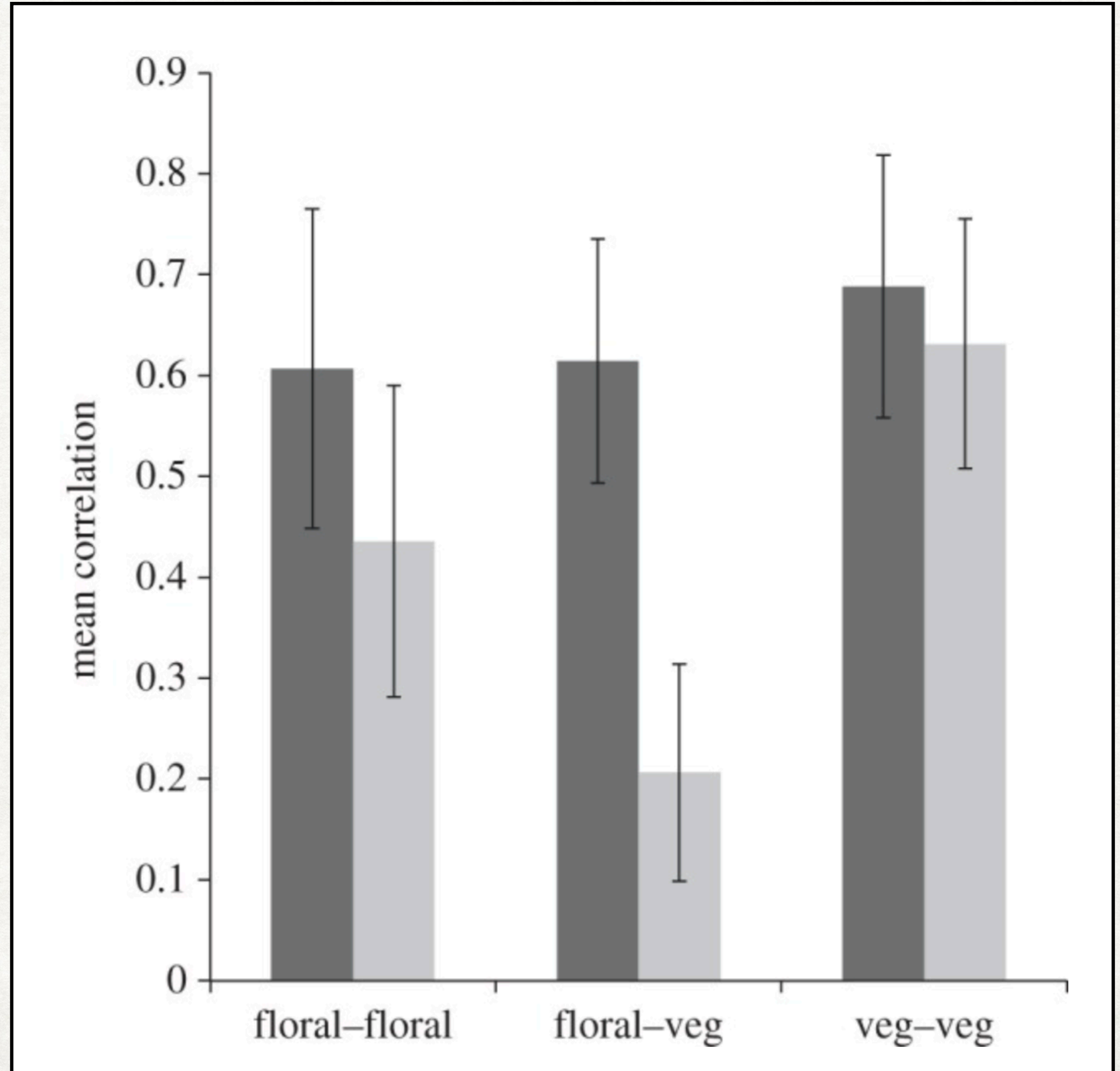


DÁ PRA MUDAR COMO ESSAS COISAS SÃO CORRELACIONADAS?



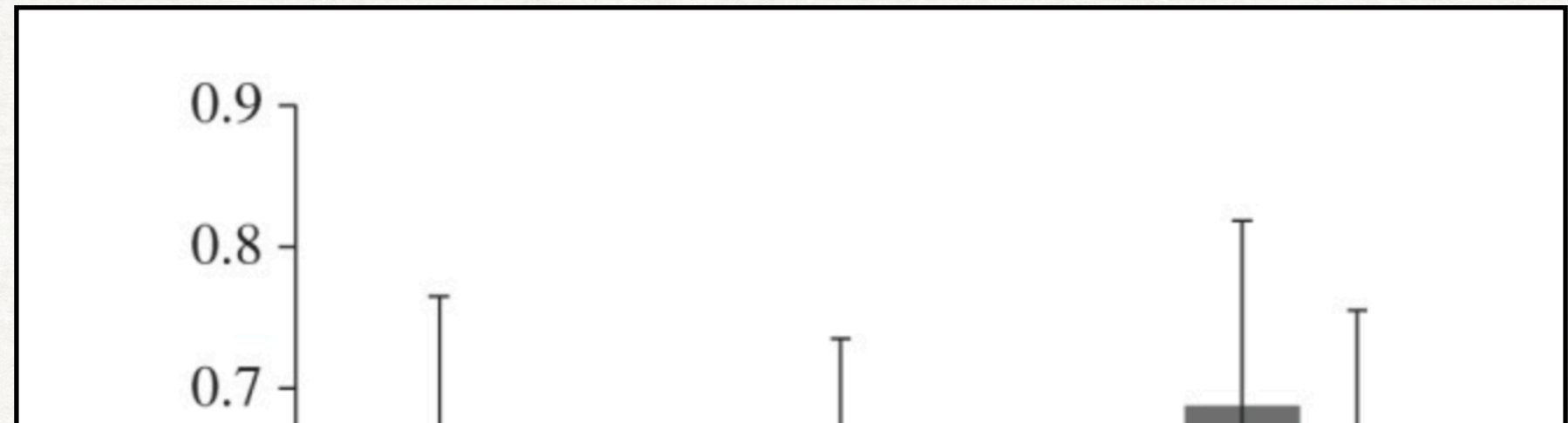
Berg, 1960

- Plantas com polinização generalizada
- Plantas com polinização especializada

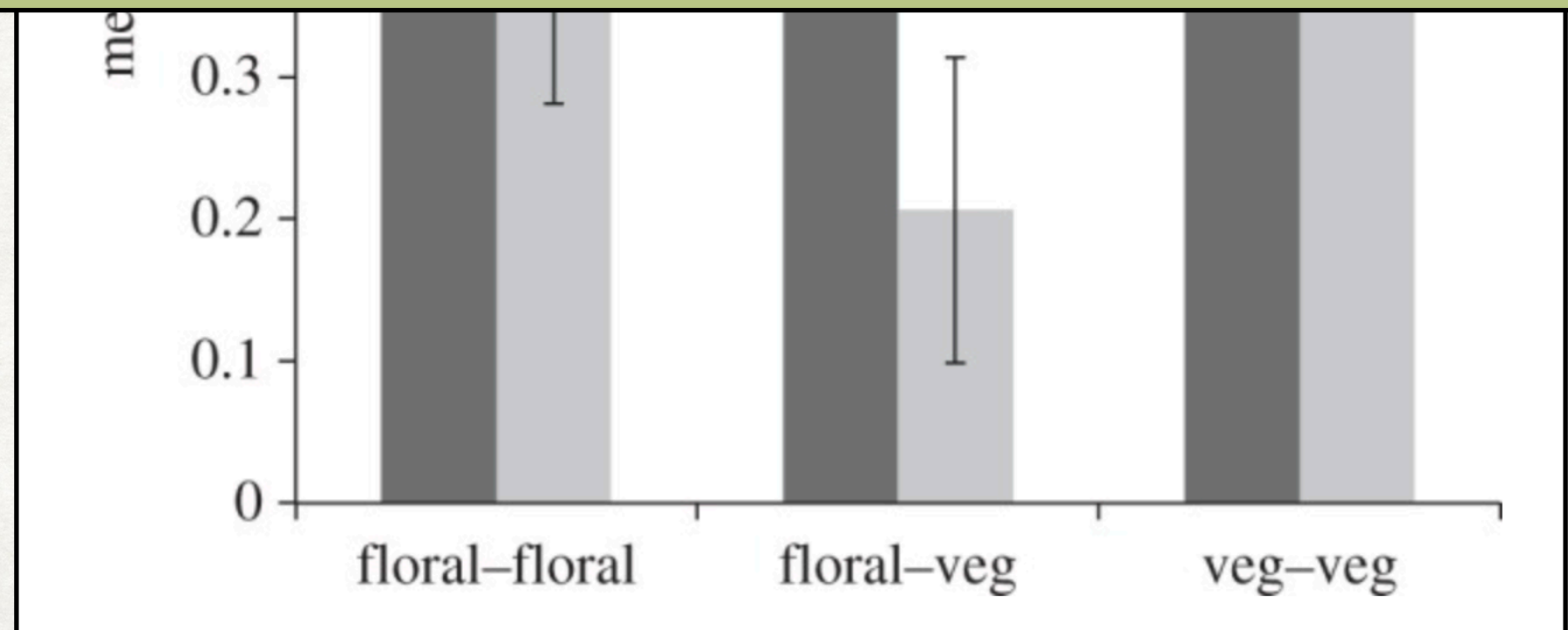


Berg, 1960

■ Plantas com polinização generalizada



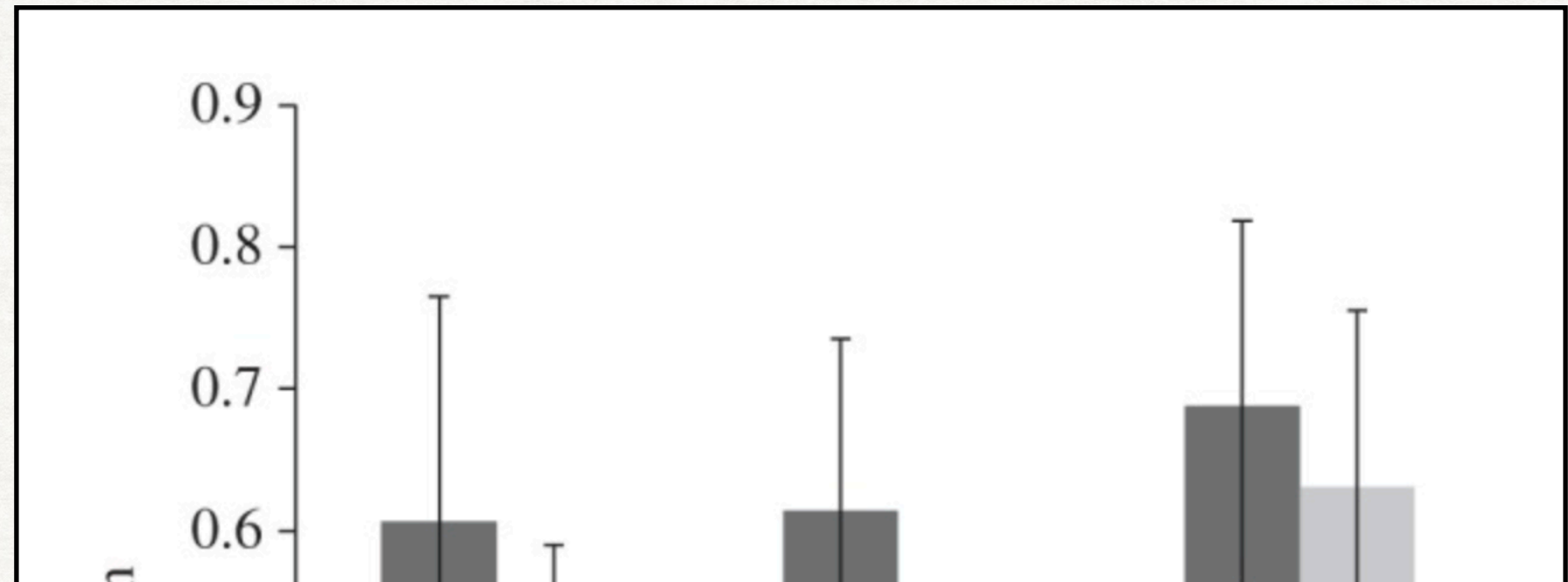
PLANTAS COM POLINIZAÇÃO ESPECIALIZADA POSSUEM DOIS MÓDULOS NÃO CORRELACIONADOS!



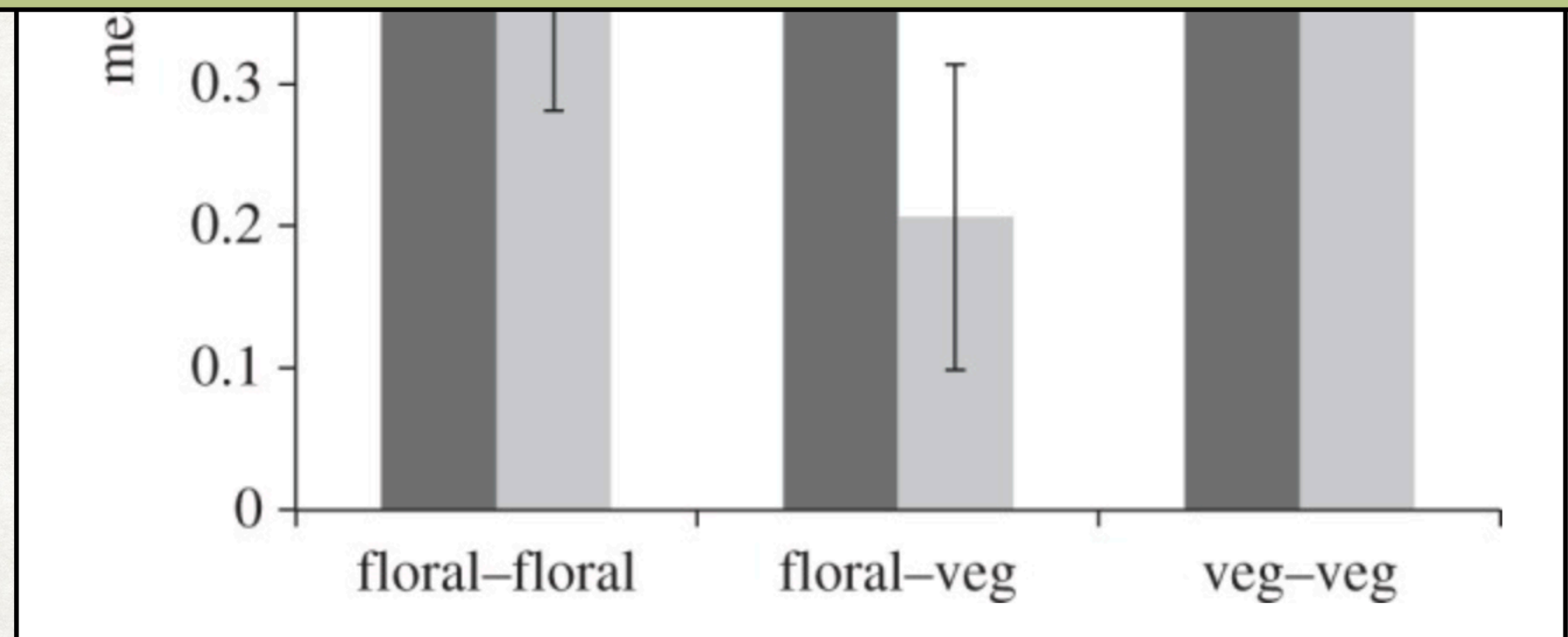
Berg, 1960

■ Plantas com polinização generalizada

■ Plantas com polinização

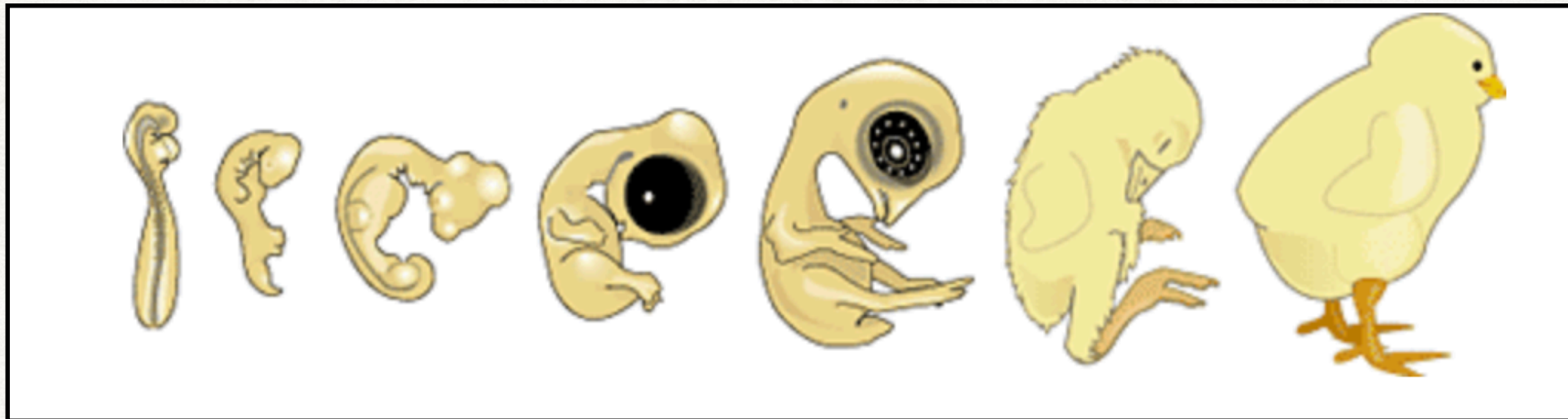


SELEÇÃO NATURAL PODE CONSTRUIR OU QUEBRAR MÓDULOS



EVO-DEVO

Biologia evolutiva do desenvolvimento



EVO-DEVO

Ontogenia: desenvolvimento de um organismo

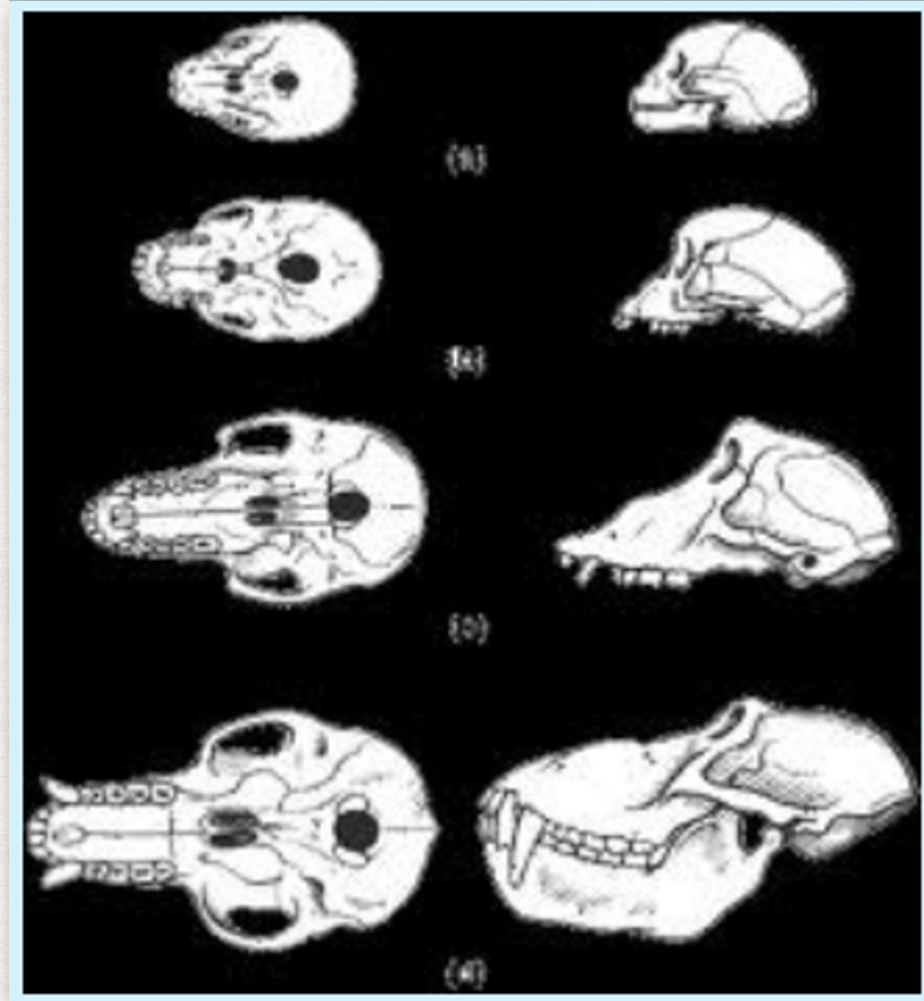
- Crescimento isométrico:
 - Forma constante;
 - Tamanho alterado;



EVO-DEVO

Ontogenia: desenvolvimento de um organismo

- Crescimento alométrico:
 - Medidas que não mudam de maneira proporcional;
 - Mudança da forma;



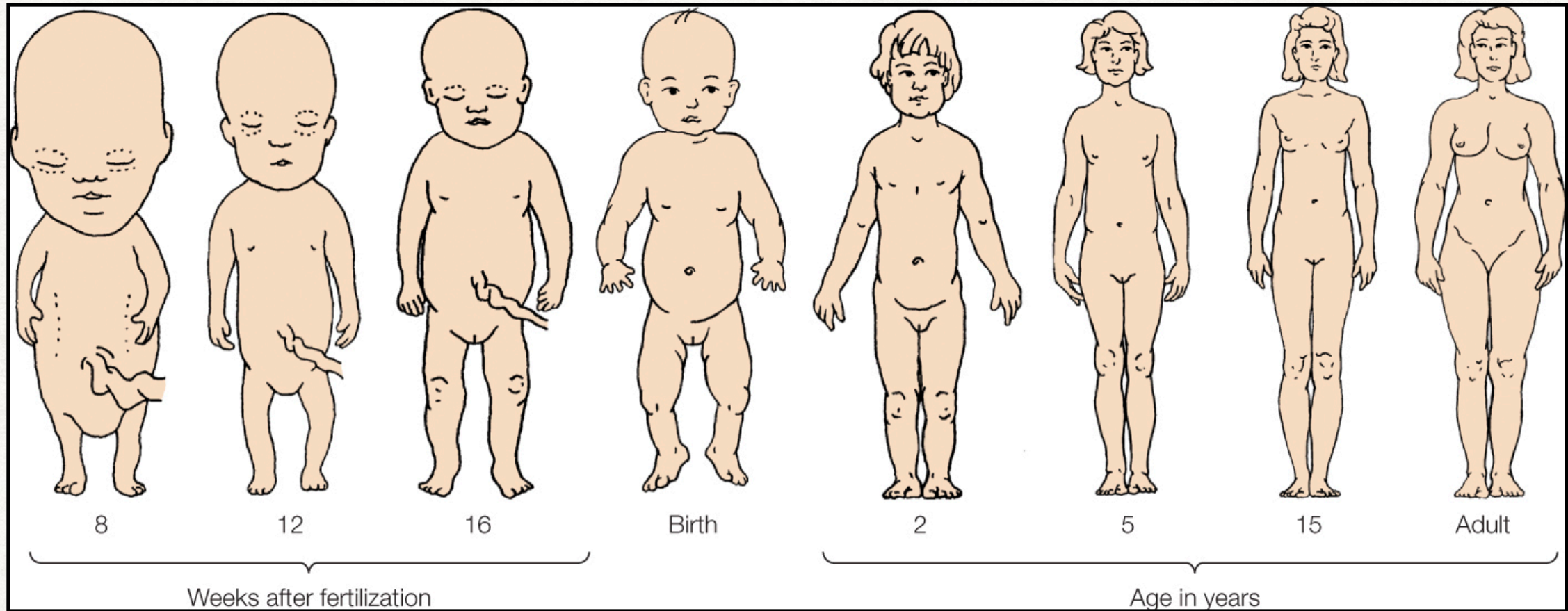
Crânio de babuínos ao longo do desenvolvimento. Notar a diferença nas taxas de crescimento da face e do crânio

- Crescimento alométrico

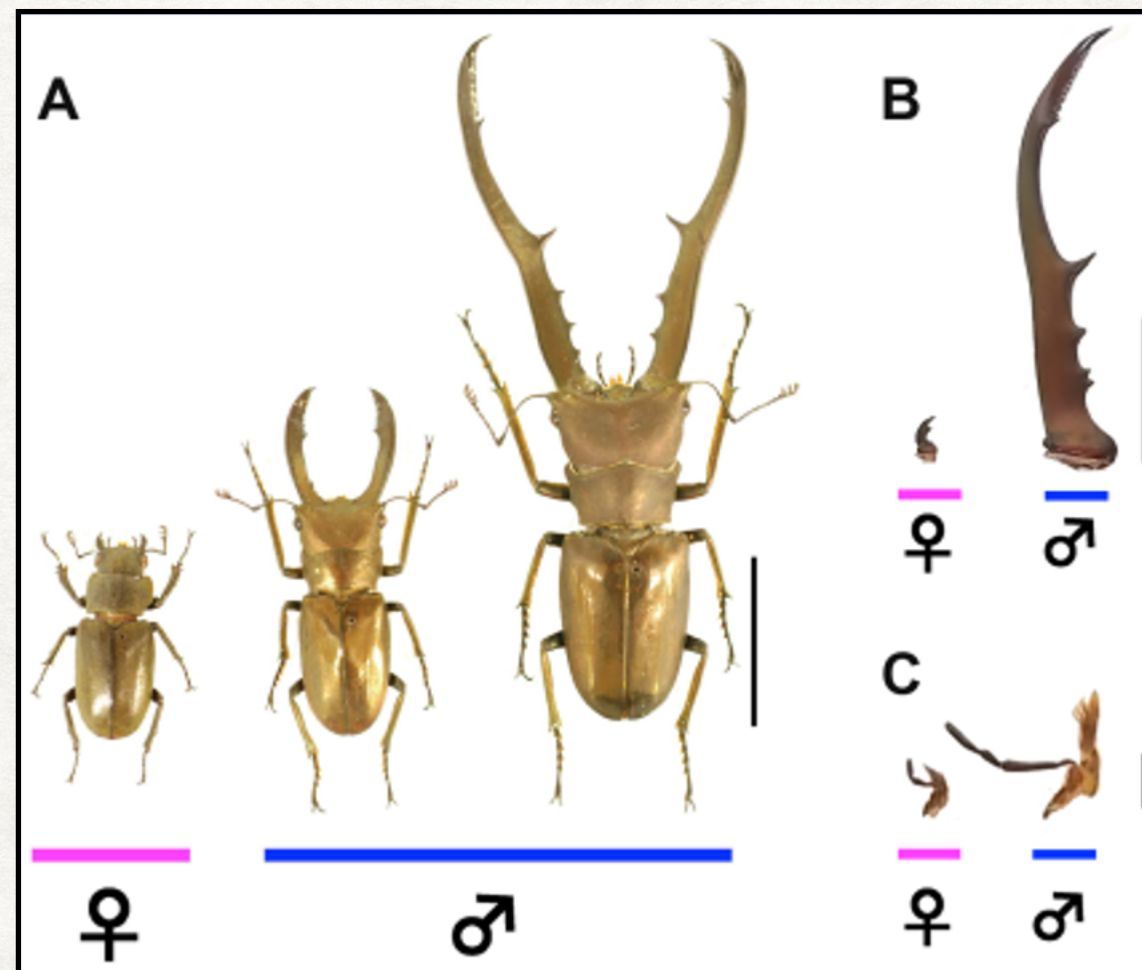


Indivíduos de diferentes tamanhos do coleóptero *Metopodontus savagei*. Notar a diferença de proporção entre o tamanho do corpo e dos chifres.

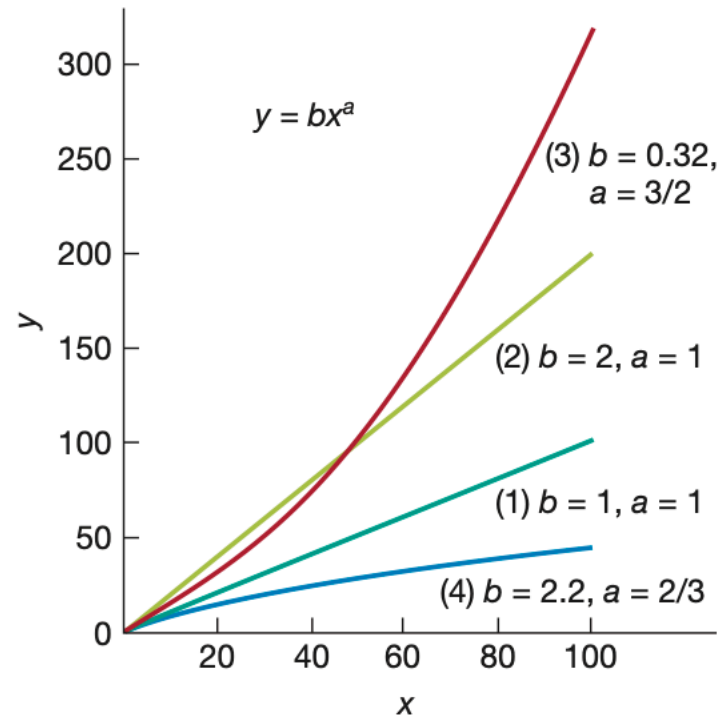
- Crescimento alométrico



- Crescimento alométrico e dimorfismo sexual:
 - *Cyclommatus metallifer*. A interação entre os genes de determinação sexual e a expressão do hormônio juvenil produzem o dimorfismo por tamanho e alometria.



(A) Arithmetic plots



(B) Logarithmic plots

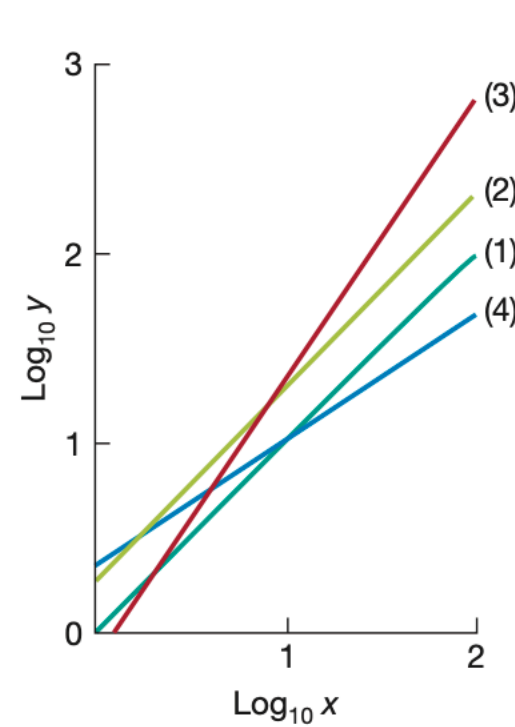
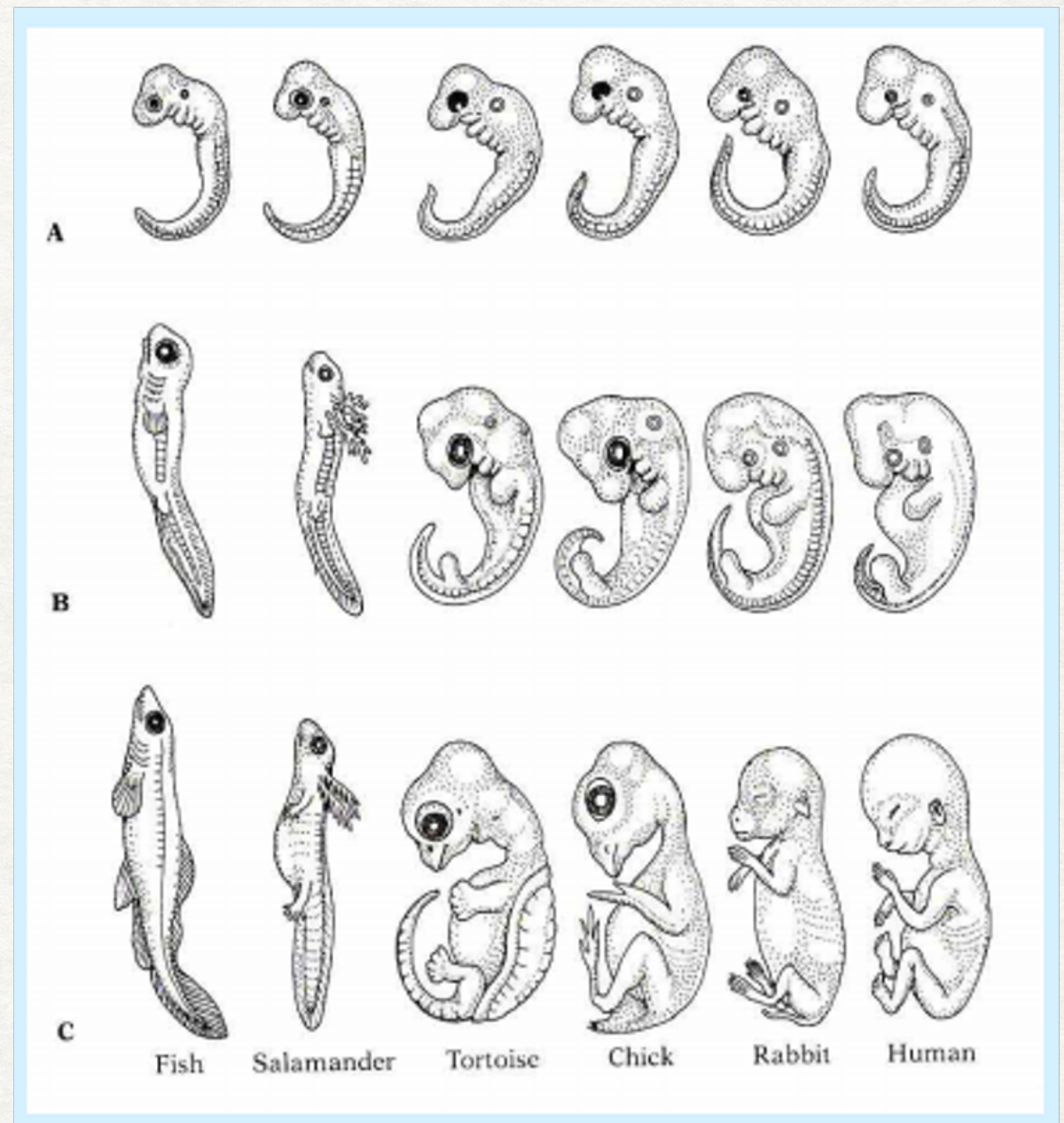


FIGURE 15.2 Hypothetical curves showing various allometric growth relationships between two body measurements, y and x , according to the equation $y = bx^a$. (A) Arithmetic plots. The curves 1 and 2 show isometric growth ($a = 1$), in which y is a constant multiple (b) of x . Curves 3 and 4 show positive ($a > 1$) and negative ($a < 1$) allometry, respectively. (B) Logarithmic plots of the same curves have a linear form. The slope differences depend on a . Curves 1 and 2 have slopes equal to 1. When $a > 1$, y increases faster than x . The male stag beetles (*Cyclommatus metallifer*) at right show positive allometry of mandibles, relative to body length. (Photos from [21].)

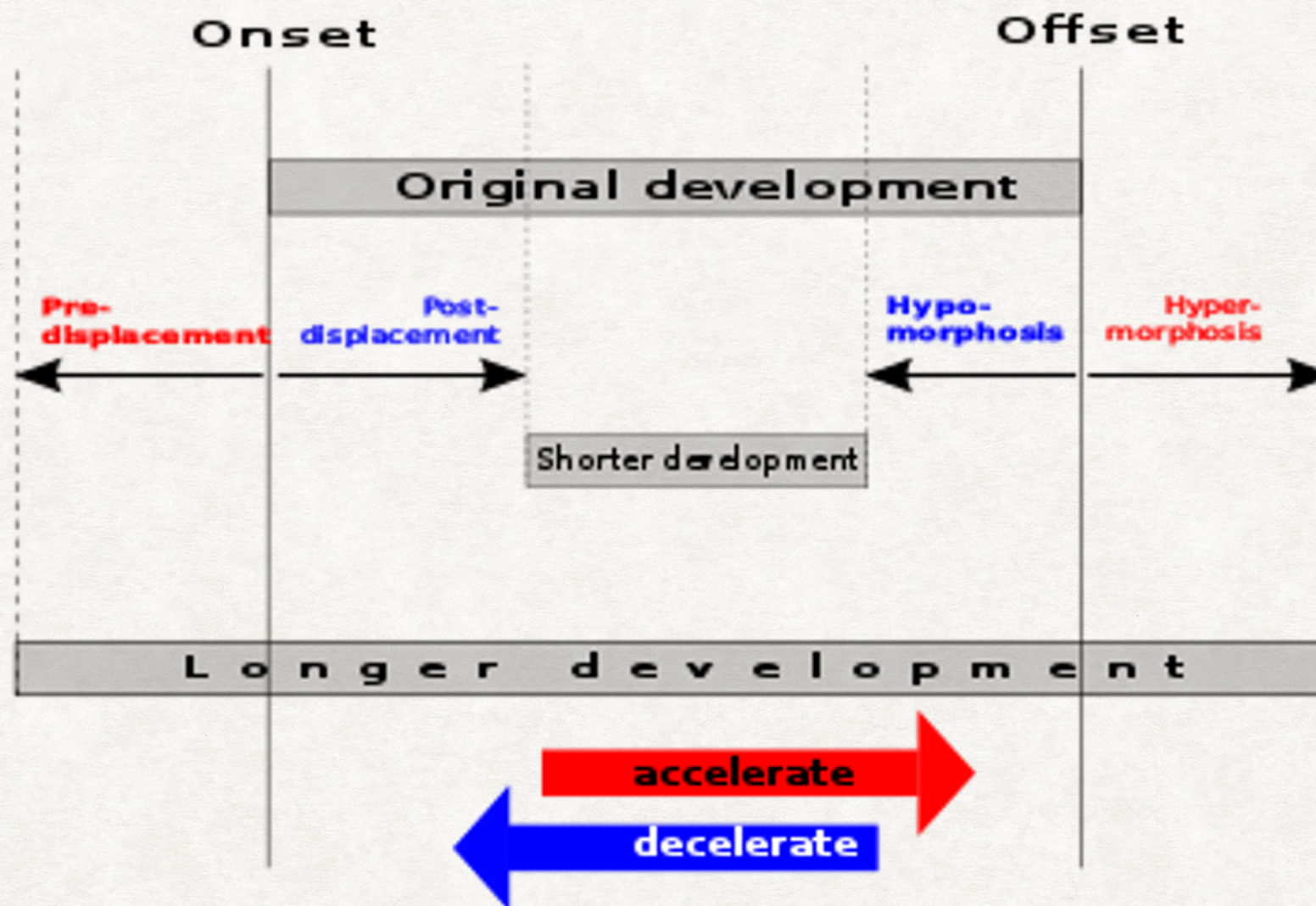
Teoria da recapitulação

- Ernst Haeckel;
- Ontogenia recapitula a filogenia;



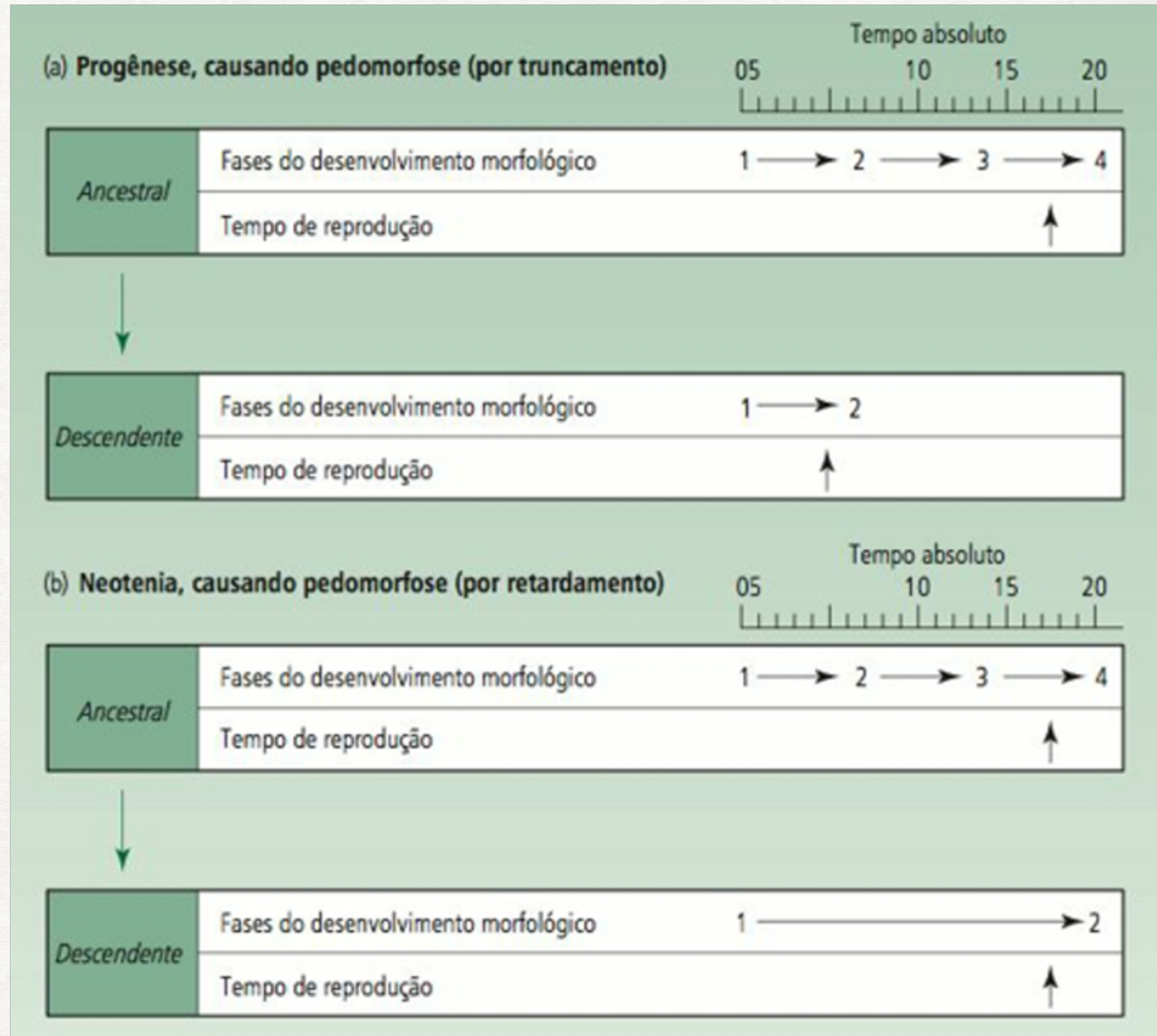
Heterocronia

- Mudança no tempo cronológico de eventos de desenvolvimento;



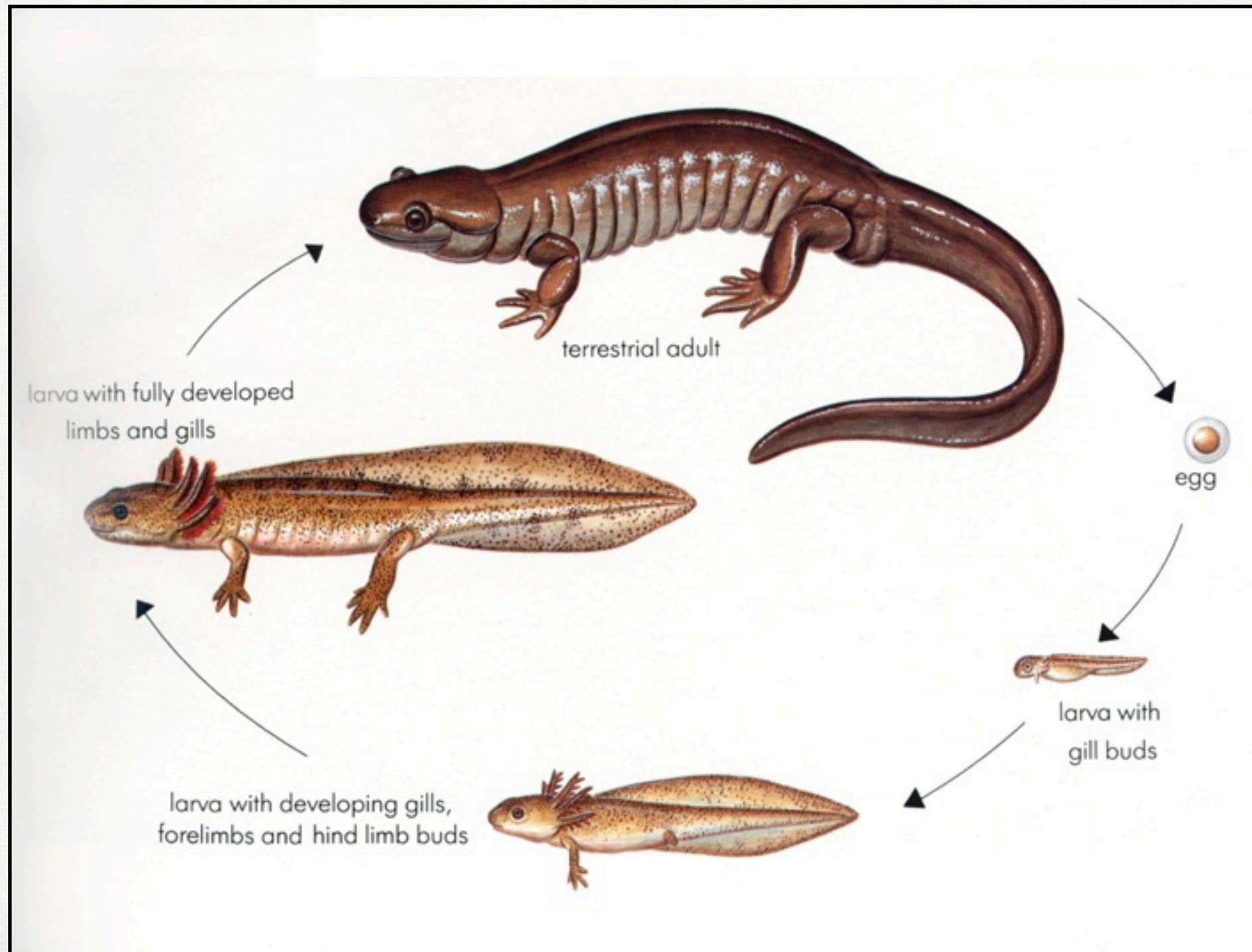
Pedomorfose

- Pedomorfose:
 - Reprodutivamente maduro precocemente;
 - Forma juvenil;



Pedomorfose

Desenvolvimento "normal" de salamandras



Pedomorfose

- Neotenia:
 - Axolote: *Ambystoma mexicanum*;



Desenvolvimen to somático	Desenvolvimen to sexual	Tipo de Heterocronia	Resultado morfológico
Acelerado	---	Aceleração	Recapitulação
---	Acelerado	Progênese	Pedomorfose
Retardado	---	Neotenia	Pedomorfose
---	Retardado	Hipermorfose	Recapitulação

Hipermorfose



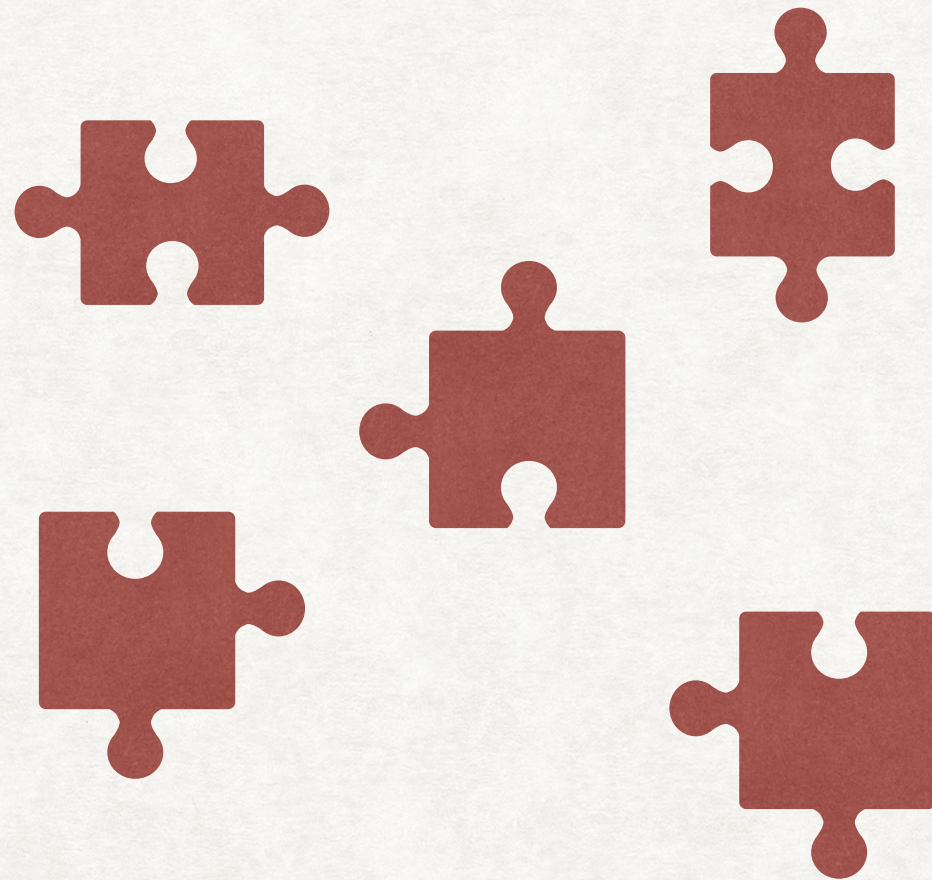
Heterotopia

- Mudança evolutiva na posição espacial de um caractere em um organismo:
 - Ex: Osteodermas (placas ósseas);



EVO-DEVO

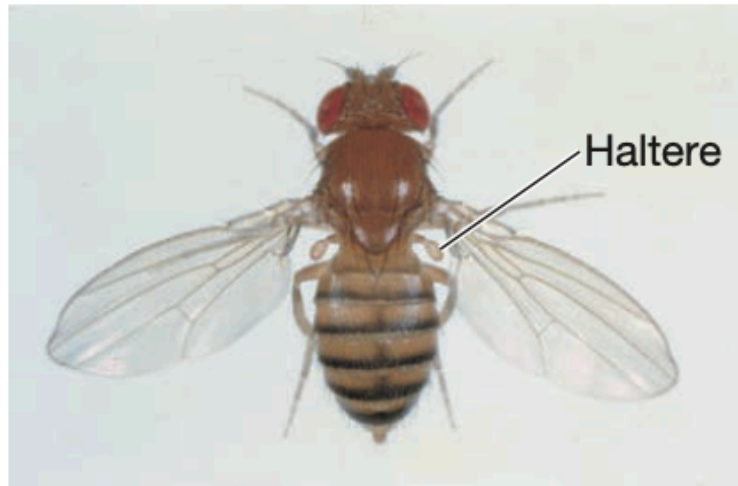
Grandes mudanças na morfologia dos organismos se dão por mudanças na regulação do desenvolvimento



As peças (genes) que regulam o desenvolvimento dos organismos são muito parecidas, o que muda é como e quando eles são ligados/desligados!

MUTAÇÕES HOMEÓTICAS

(A)



Haltere

(B)

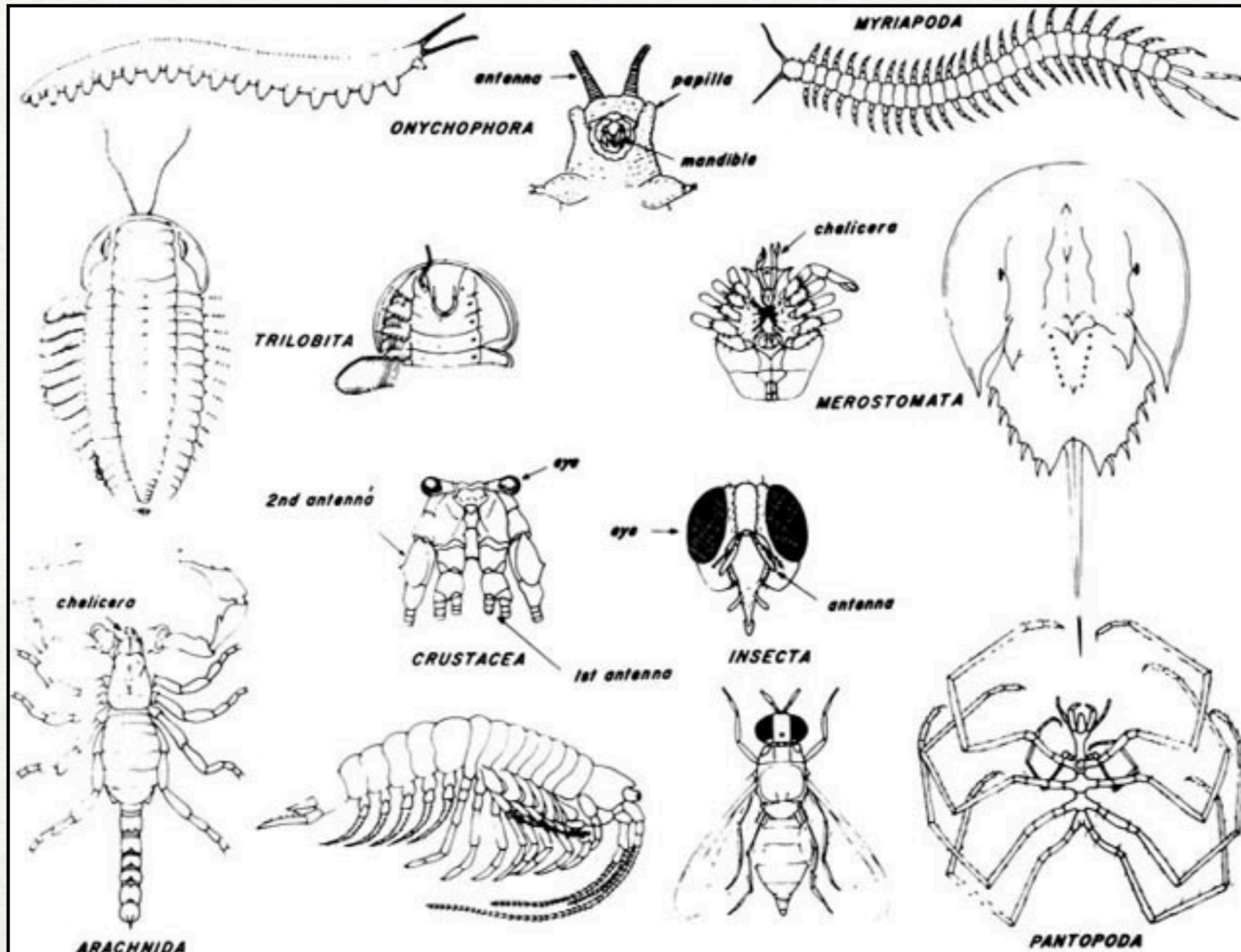


Ultrabithorax



Antennapedia

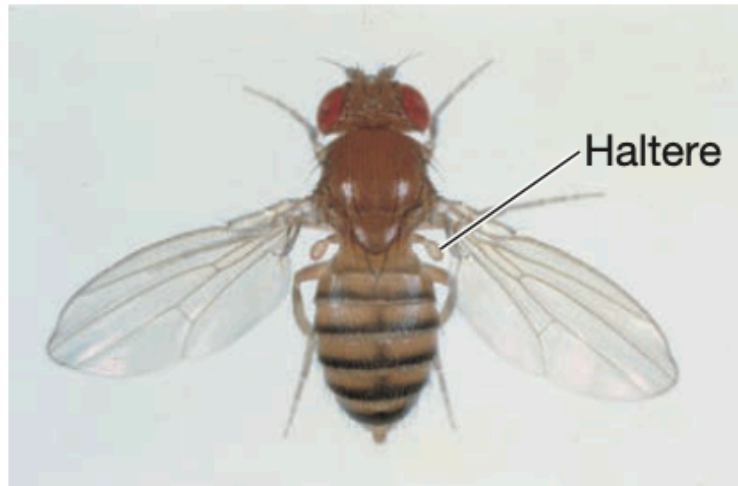
Ártrópodes são divididos em diferentes segmentos



MUTAÇÕES HOMEÓTICAS

Mutações que mudam a identidade de um segmento

(A)



Haltere

(B)

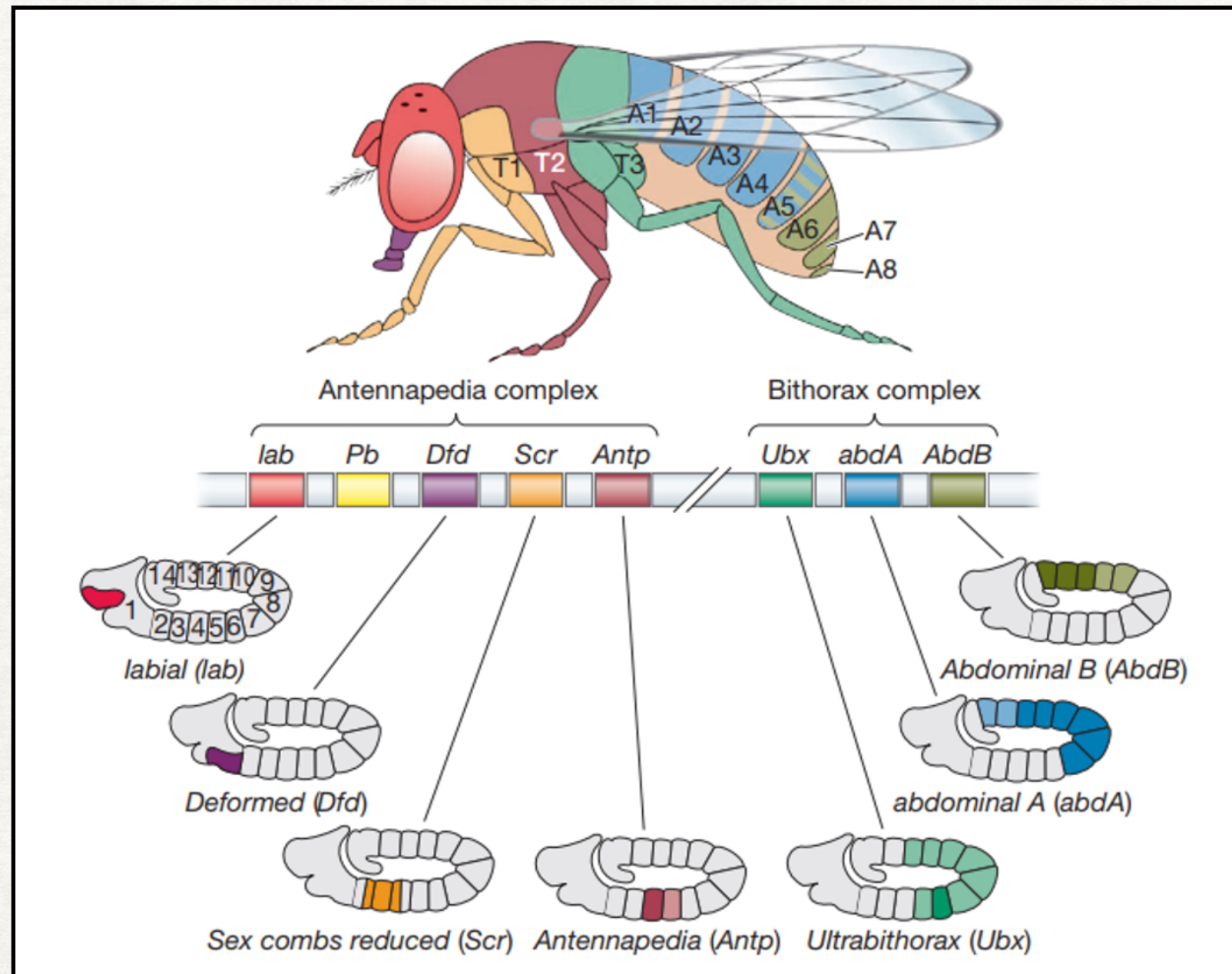


Ultrabithorax



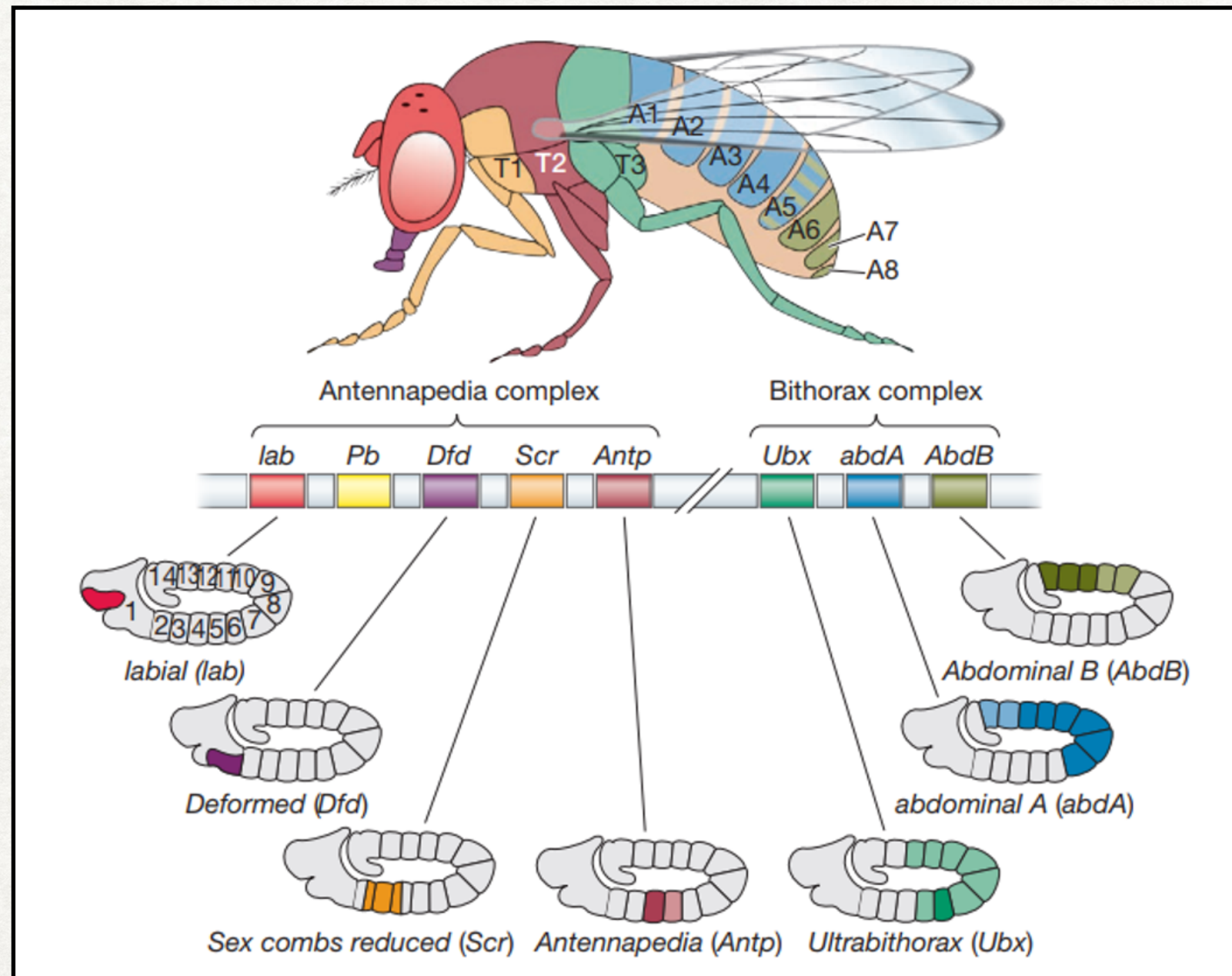
Antennapedia

GENES HOMEÓTICOS



GENES HOMEÓTICOS

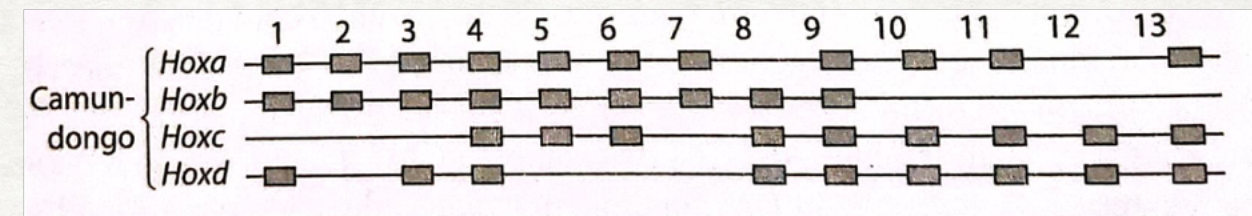
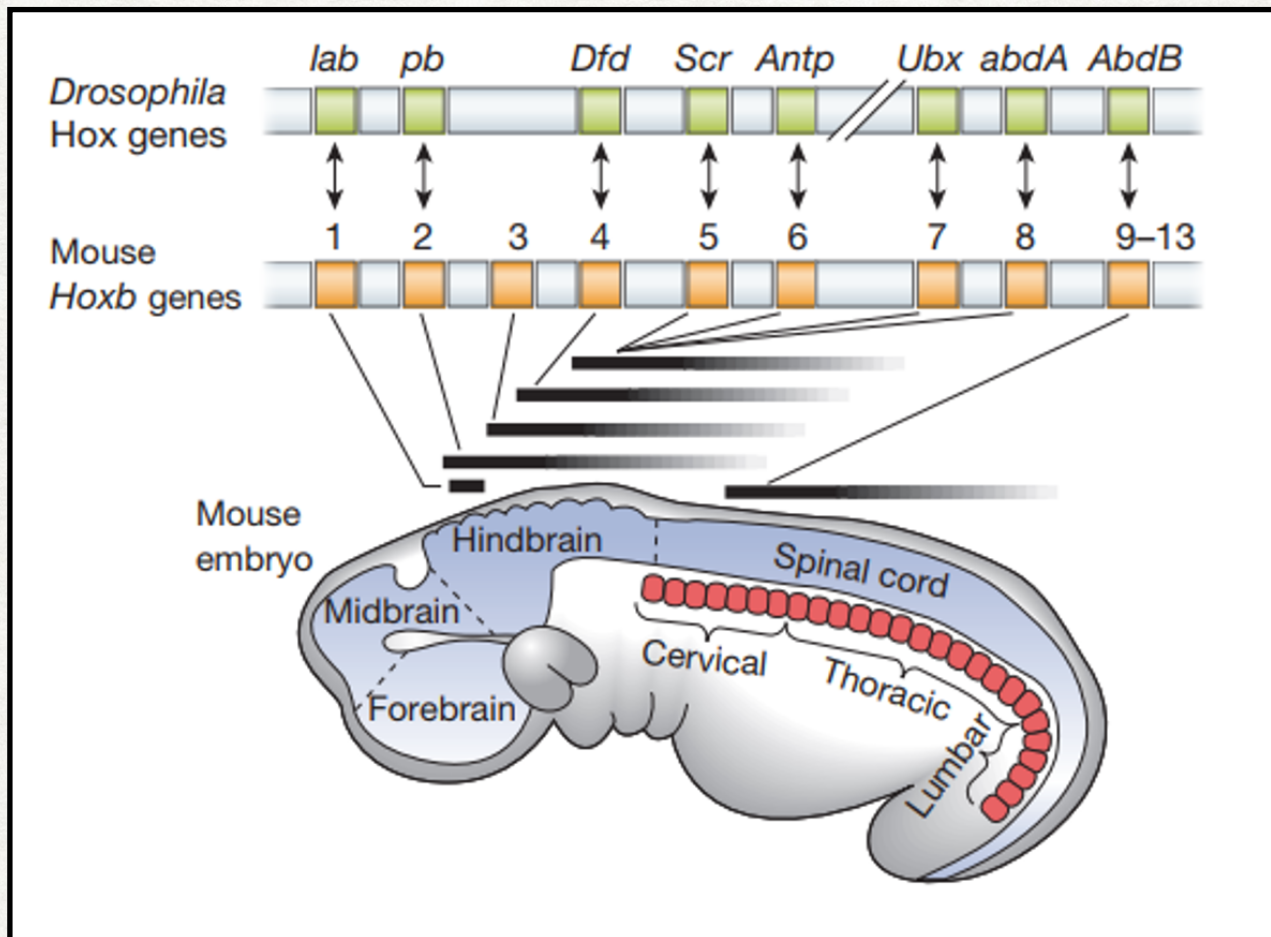
Genes Hox: genes que transcrevem fatores de transcrição responsável pela determinação Antero-posterior de animais. ALTAMENTE CONSERVADO

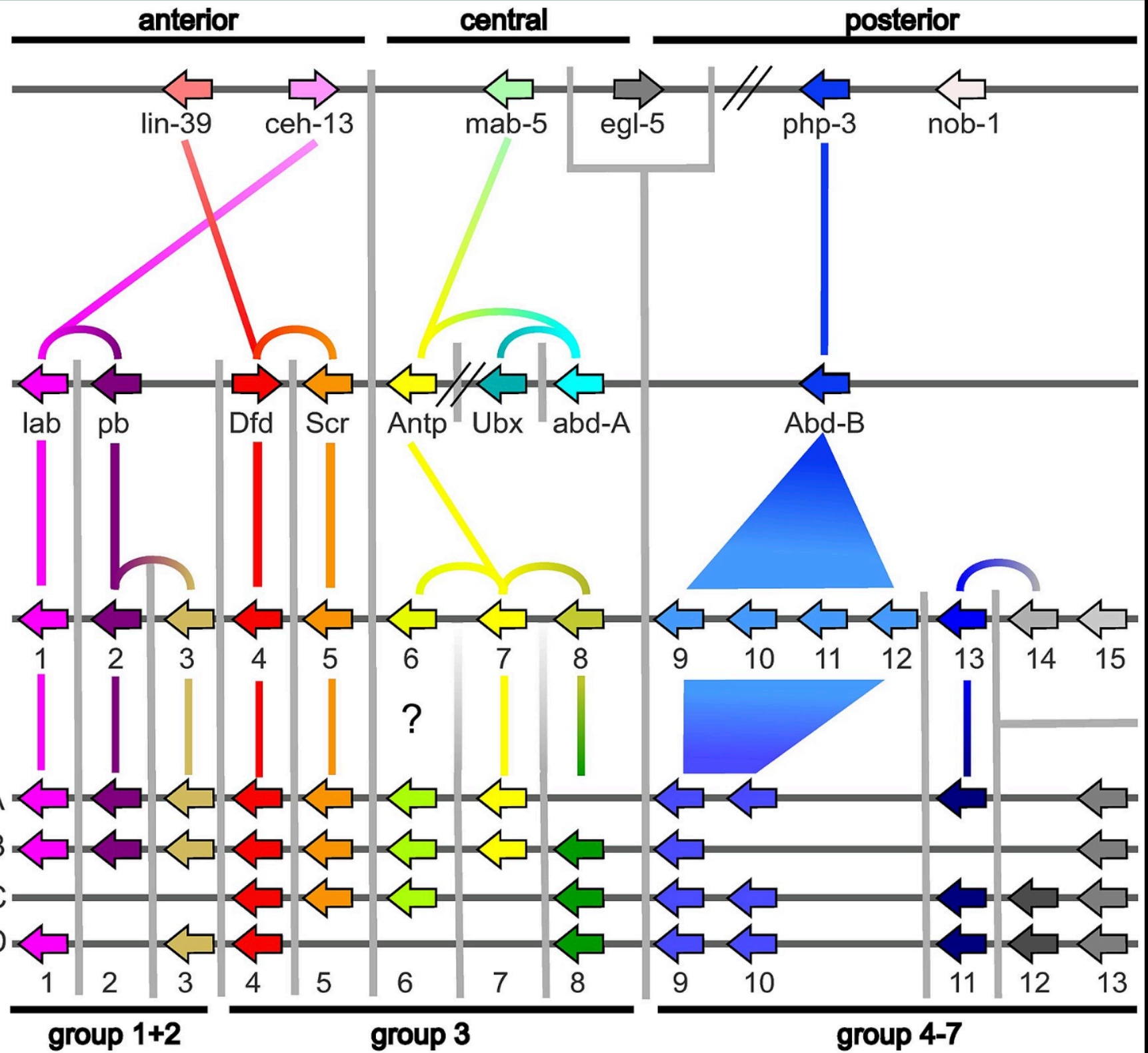
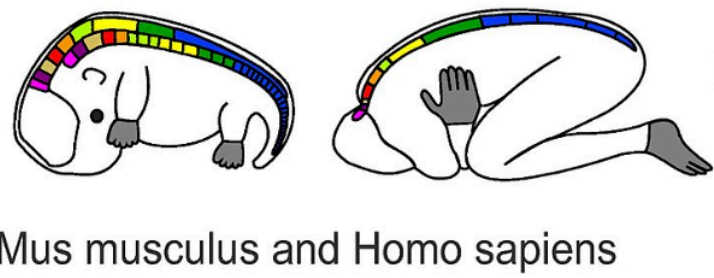
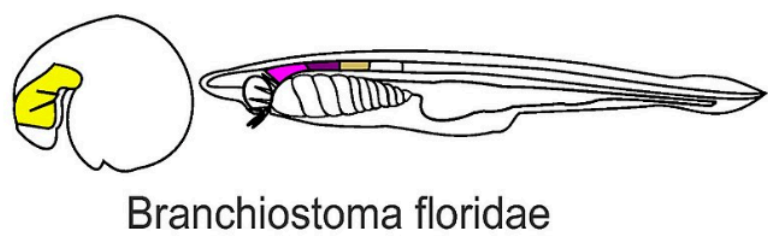
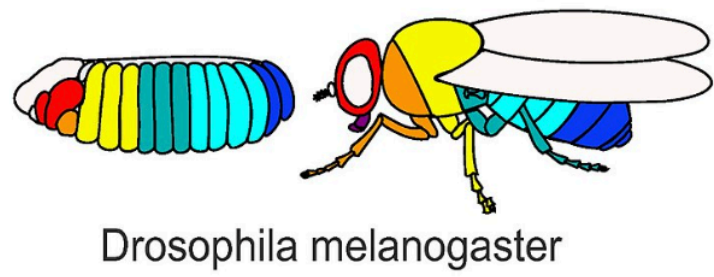
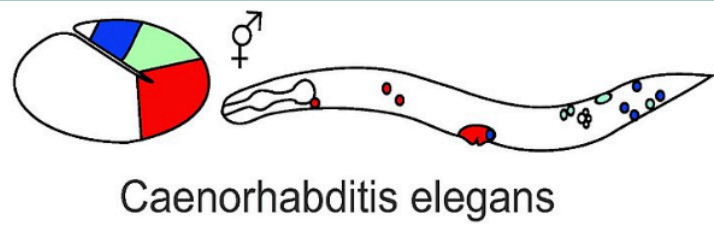


Fatores de transcrição: responsável por ligar/desligar cascatas de genes

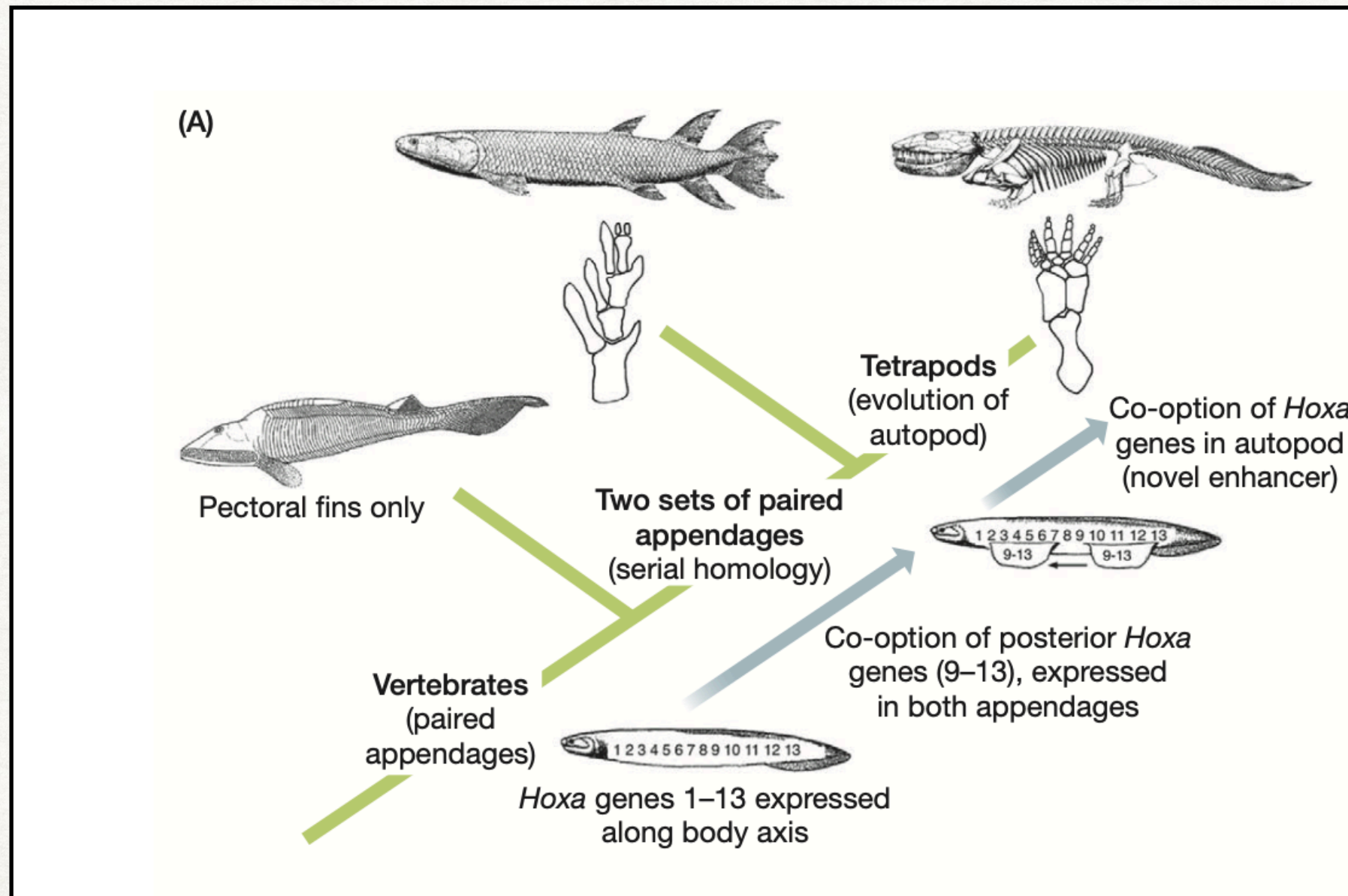
Genética do desenvolvimento

- Genes homeóticos de vertebrados:

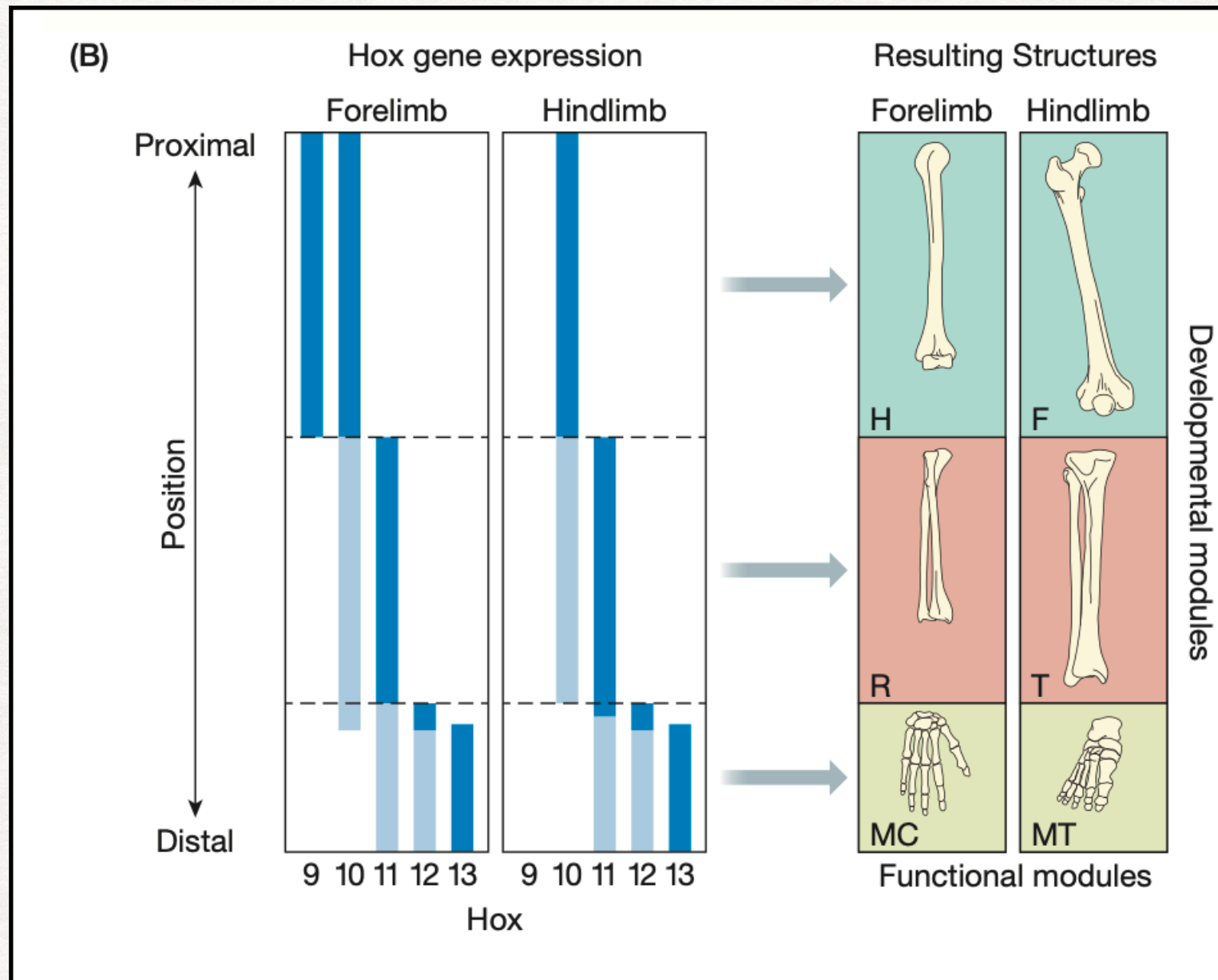


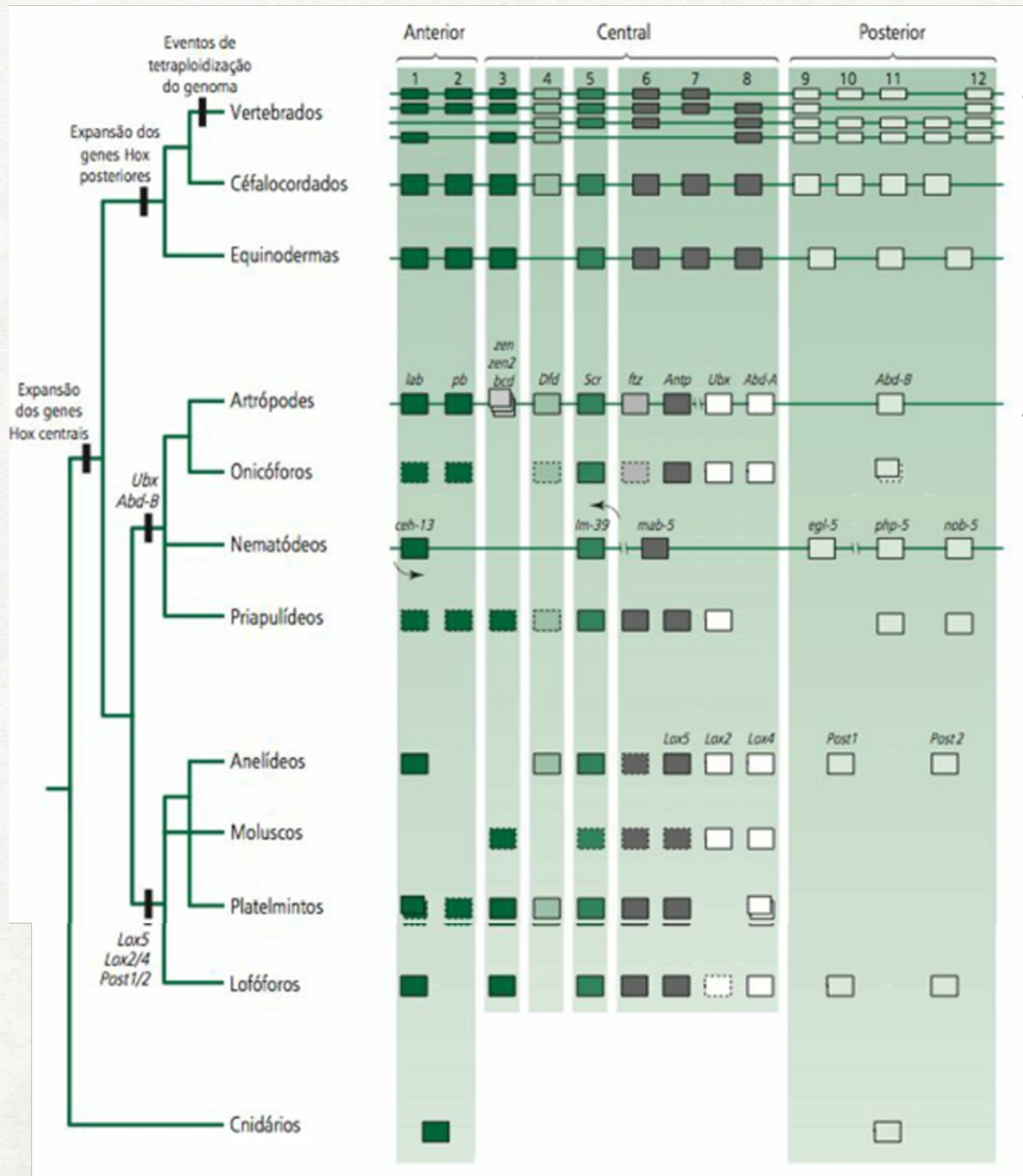


UM JEITO FÁCIL DE REALIZAR GRANDES MUDANÇAS!



UM JEITO FÁCIL DE REALIZAR GRANDES MUDANÇAS!





Vertebrados



Cefalocordados



Equinodermas



Artrópodes

Onicóforos



Nematódeos

Priapulídeos



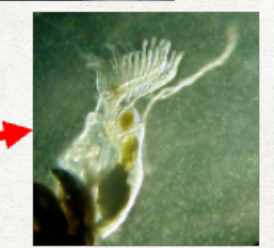
Anelídeos

Moluscos



Platelmintos

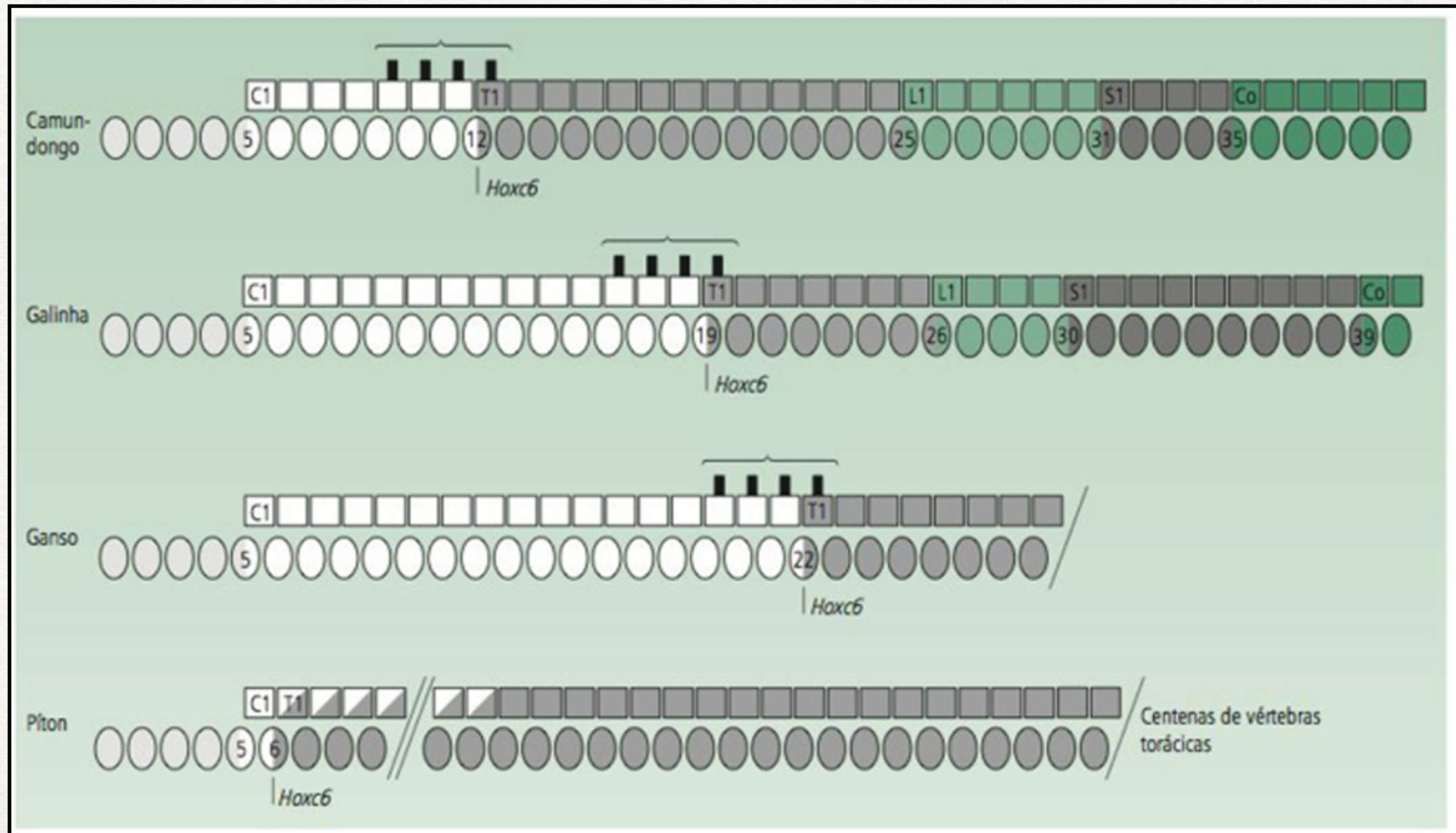
Lofóforados



Cnidários



- Mudança na expressão gênica associada a evolução morfológica:
 - *Hoxc6*: vértebras cervicais e torácicas;



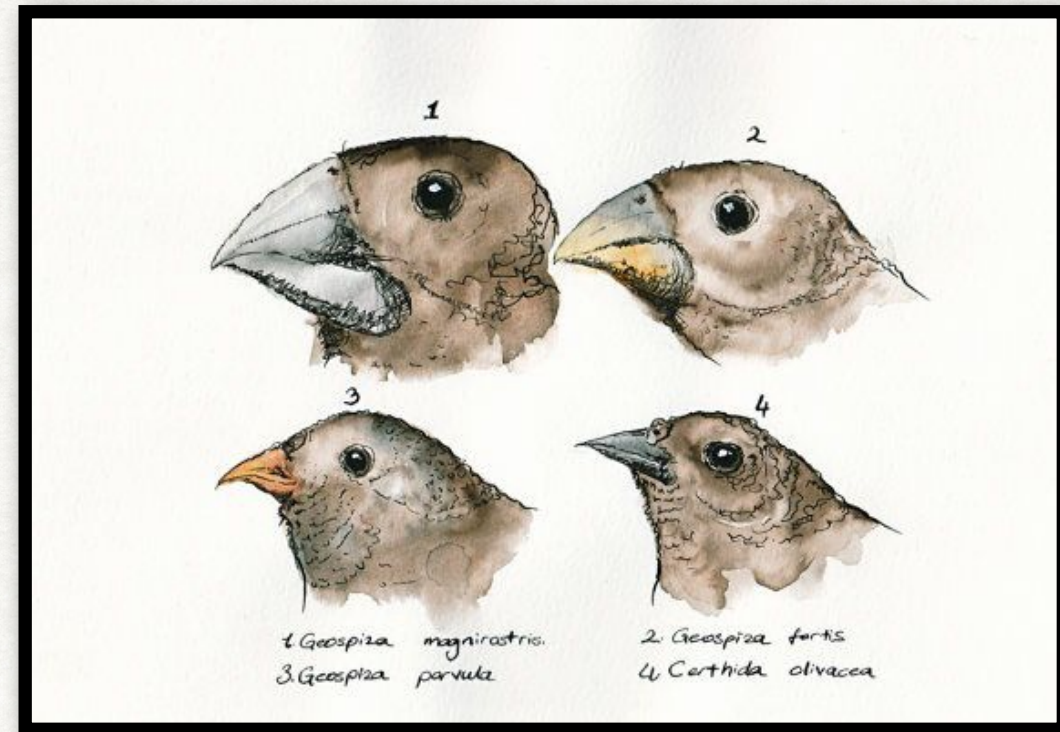
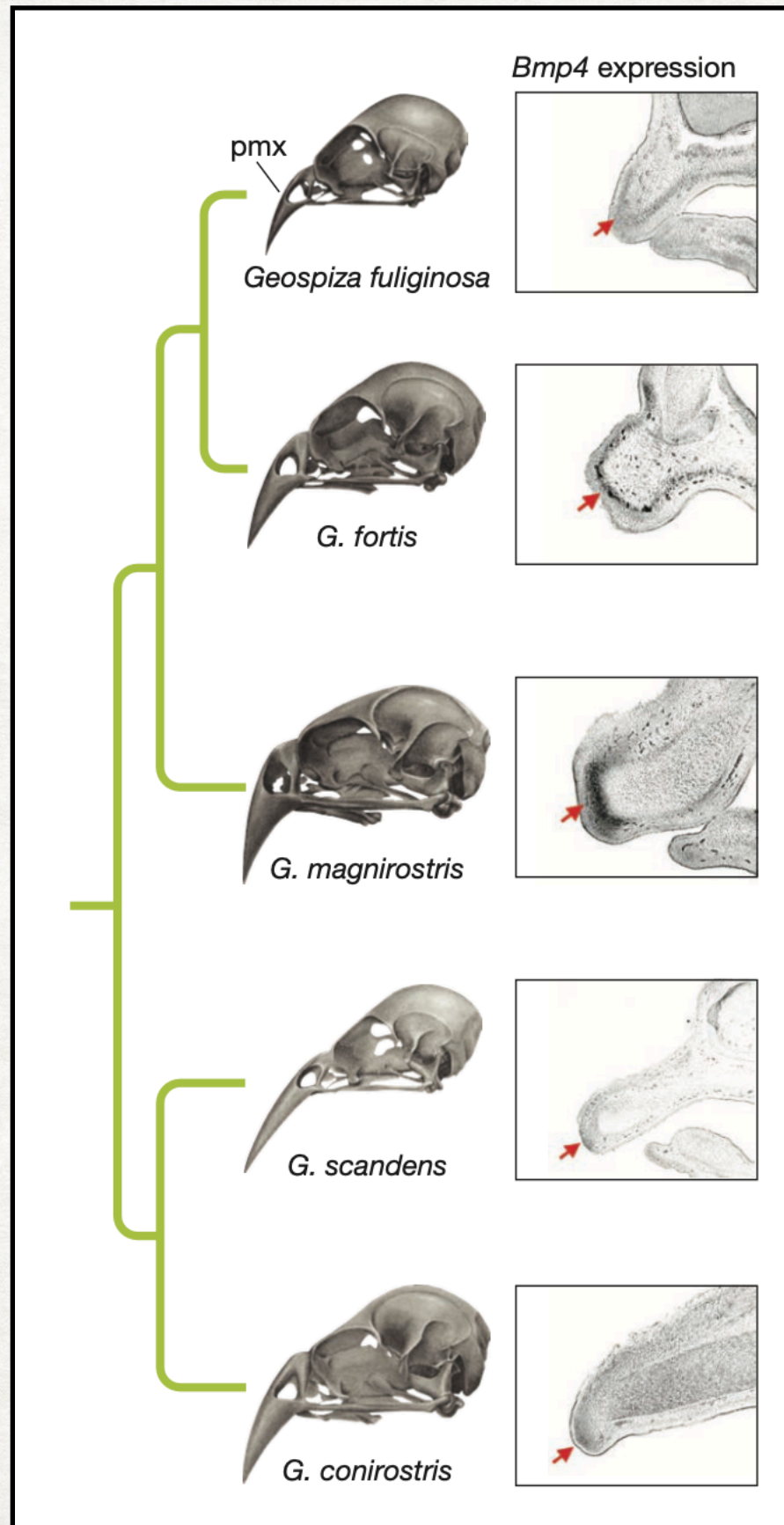
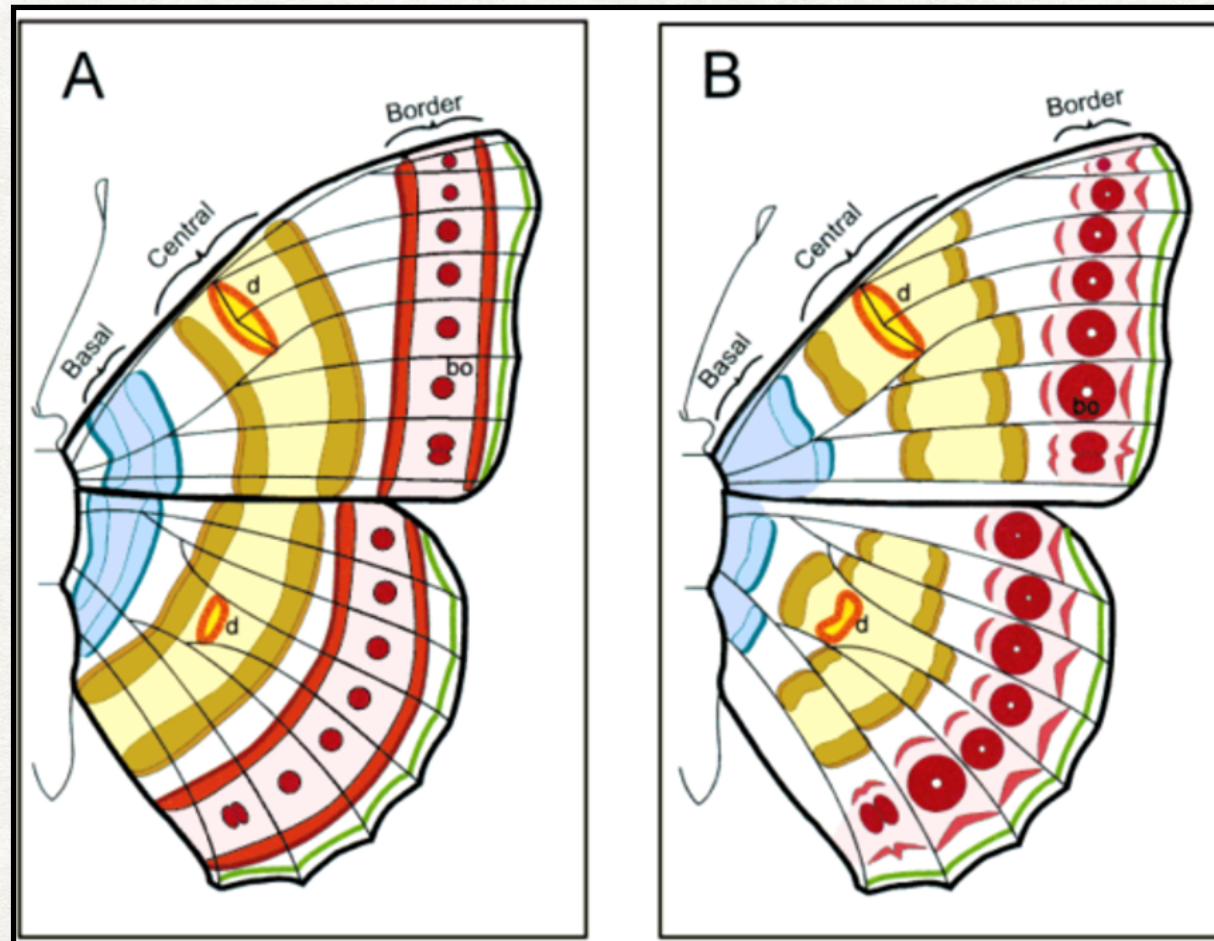
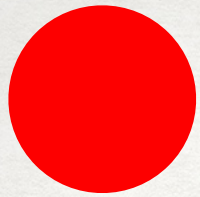


FIGURE 15.14 Among species of Galápagos finches (*Geospiza*), differences in the depth and length of the premaxilla (pmx) are determined largely by differences in the expression the gene *Bmp4* at a critical stage in development. Darker staining in the region indicated by red arrows shows higher gene expression. The gene shows lower expression in species with more slender, pointed bills (*G. fuliginosa*, *G. scandens*, and *G. conirostris*) at the same stage of development. (From [1]; skull images from [7], reproduced with permission of University of California Press.)

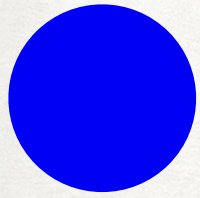
Alan Turing

- Formação de padrões de coloração:
 - Padrão espacial da diferenciação celular é especificado;
 - Padrões de Turing;





Ativador - ativa a si próprio e inibidor

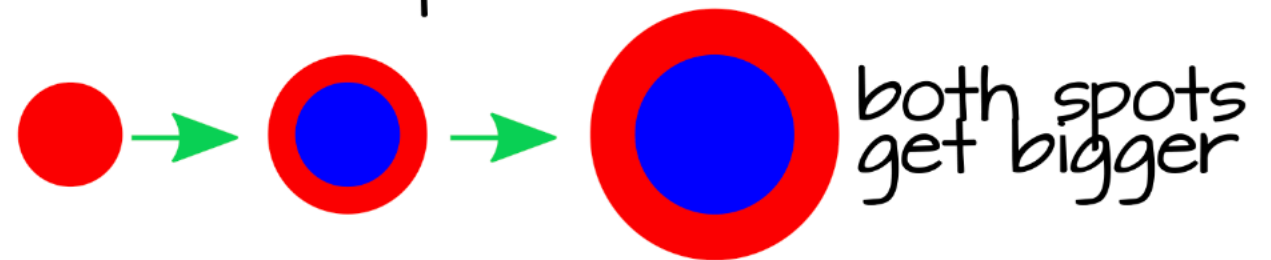


Inibidor -
inibe o
ativador

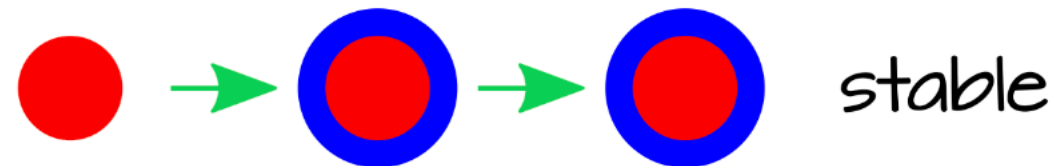
No diffusion



Both diffuse at equal rates



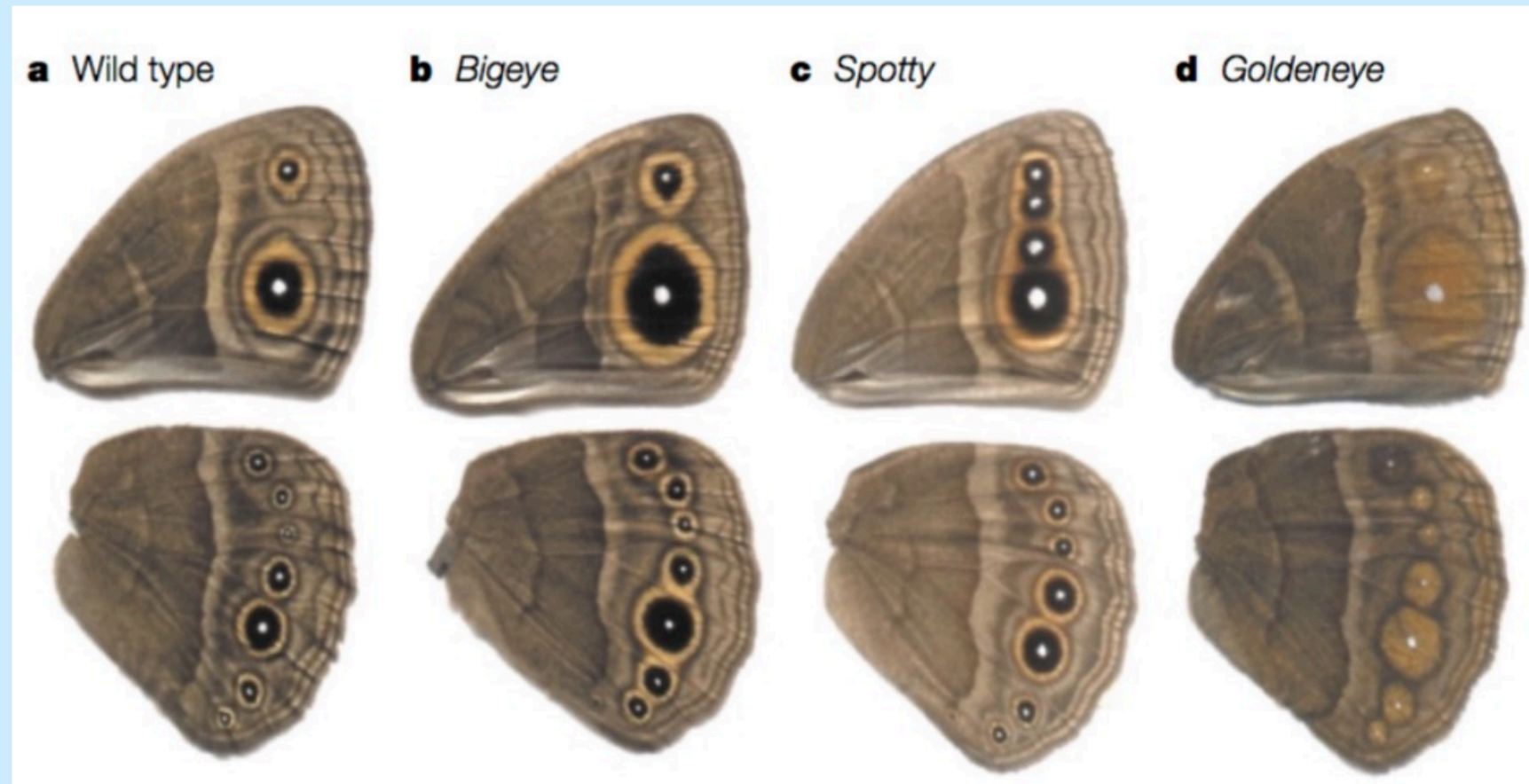
Inhibitor diffuses fast,
Activator diffuses slow



Activator activates the Inhibitor, which quickly diffuses away. This maintains the spot of Activator. The Inhibitor stops the production of Activator around the initial spot



Padrões Turing de coloração

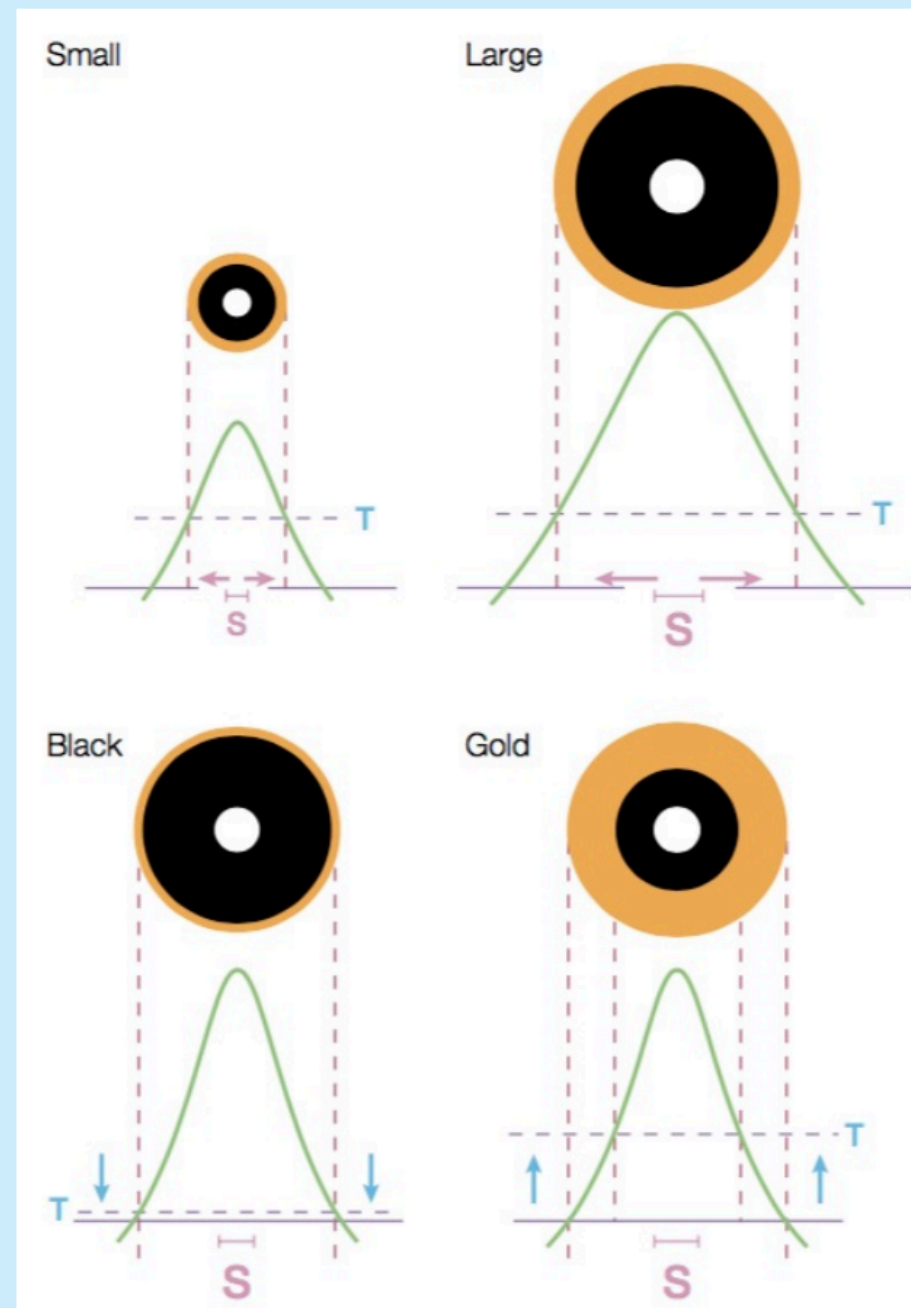


Mutantes de *Bicyclus anyanana* isolados em laboratório



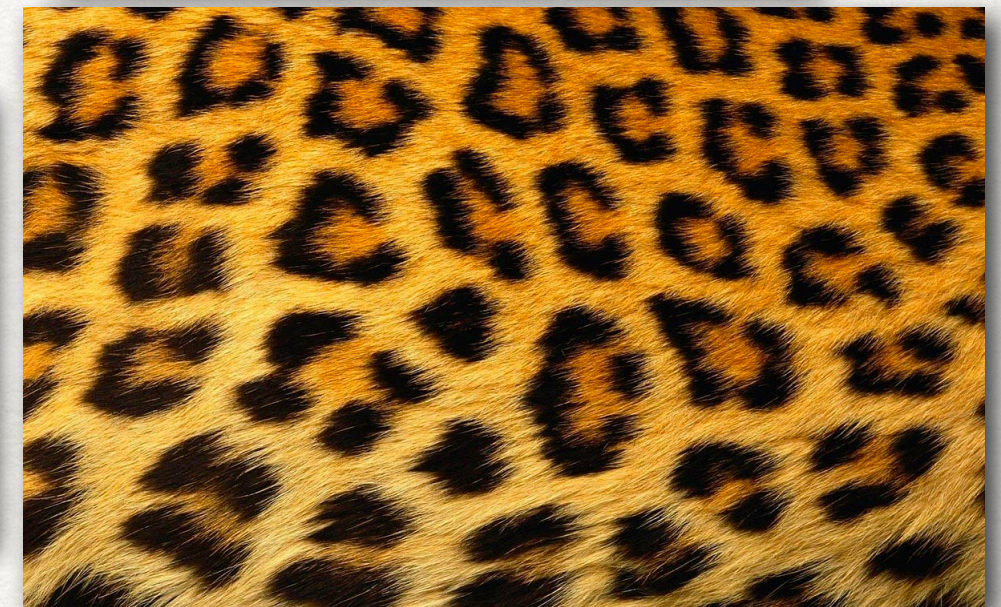
Beldade, P. & Brakefield. (2002) The genetics and evo-devo of butterfly wing patterns. *Nature Rev. Genet.* 3:443-452

Padrões Turing de coloração



Beldade, P. & Brakefield. (2002) The genetics and evo-devo of butterfly wing patterns. *Nature Rev. Genet.* 3:443-452

PUBLISHING



[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Evolutionary_Developmental_Biology/
Evolutionary_Developmental_Biology_\(Rivera\)/07%3A_Patterning/
7.1%3A_Turing_Patterns_to_Generate_Stripes_and_Spots](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Evolutionary_Developmental_Biology/Evolutionary_Developmental_Biology_(Rivera)/07%3A_Patterning/7.1%3A_Turing_Patterns_to_Generate_Stripes_and_Spots)

Sugestão (forte) de leitura

