



# Aplicações evolutivas (2020/2021)

## 1. Introdução

**1.1. A aplicação da Biologia Evolutiva na resolução de desafios à escala global**

**1.2. Adaptação como um processo de optimização**

## 2. Melhoramento de plantas e animais

**2.1. Perspetiva histórica**

**2.2. Seleção artificial – manipulação do diferencial de sucesso reprodutivo**

### Conceitos

Seleção natural e seleção artificial; pressão seletiva; gradiente seletivo; paisagens adaptativas; breeding value; evolução de características correlacionadas.



## A Biologia Evolutiva na resolução de desafios

→ Saúde

↗ **Evolução** Doenças infecciosas; resistência a antibióticos; cancro

↘ **Evolução** Doenças crónicas

→ Ambiente

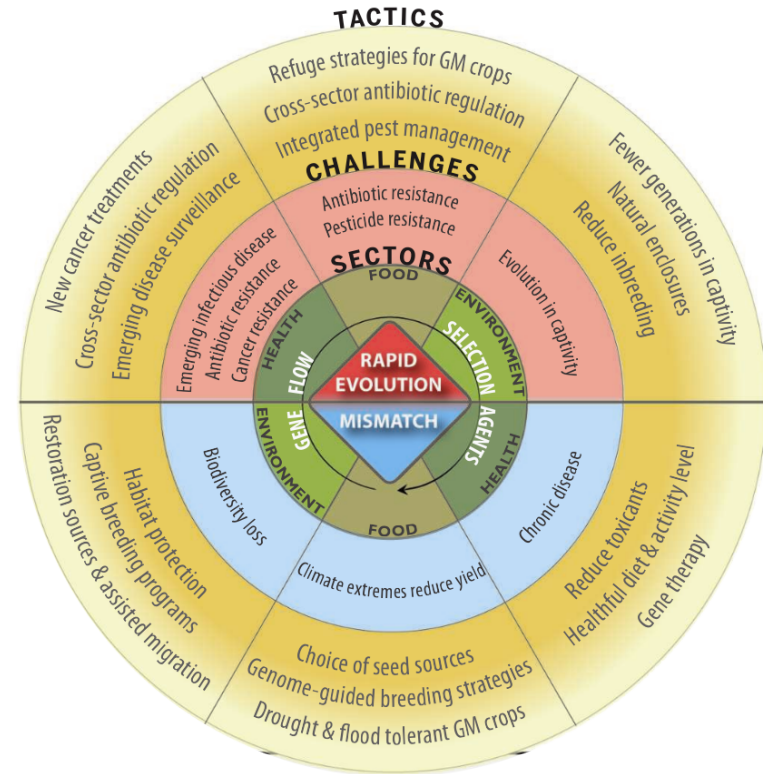
↗ **Evolução** Evolução em cativeiro

↘ **Evolução** Perda de biodiversidade

→ Alimentação

↗ **Evolução** Resistência a antibióticos e pesticidas

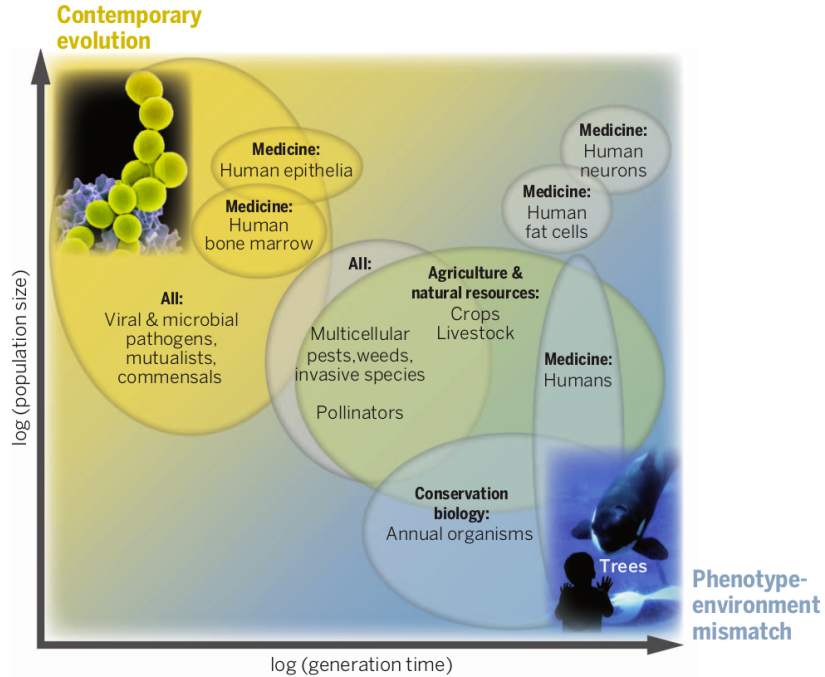
↘ **Evolução** Alterações climáticas



Carroll et al (2014). Applying evolutionary biology to address global challenges. Science



# A Biologia Evolutiva na resolução de desafios



## Evolução aplicada

- Controlo de evolução indesejada
- Promoção de adaptação

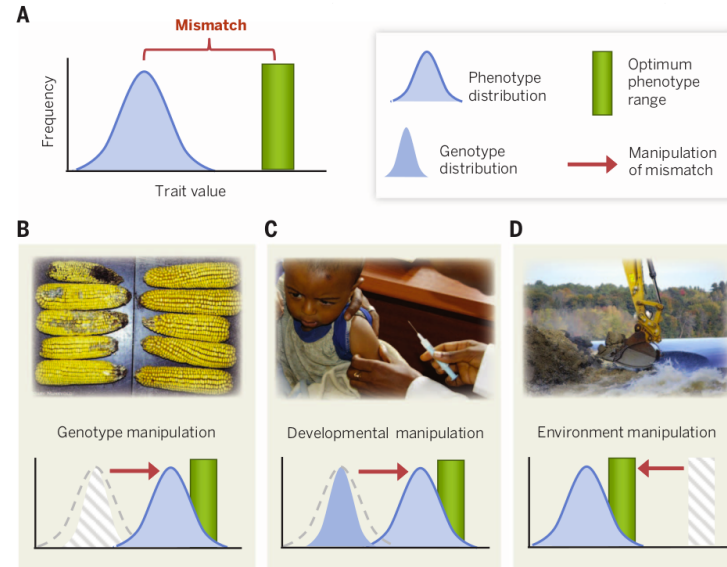


# A Biologia Evolutiva na resolução de desafios

## Otimização de fenótipos

→ por manipulação de genótipos, fenótipos ou ambiente

→ por evolução

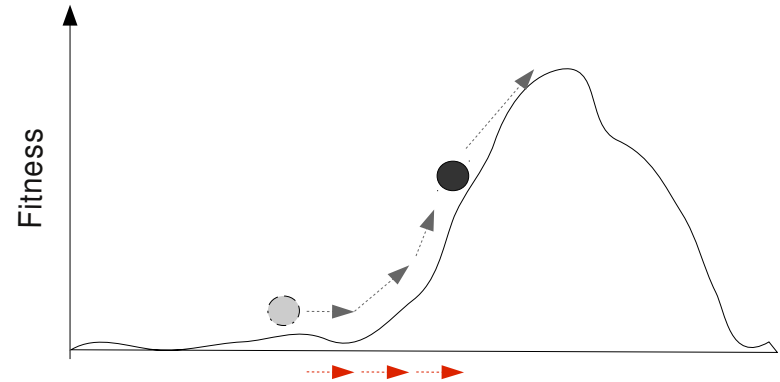
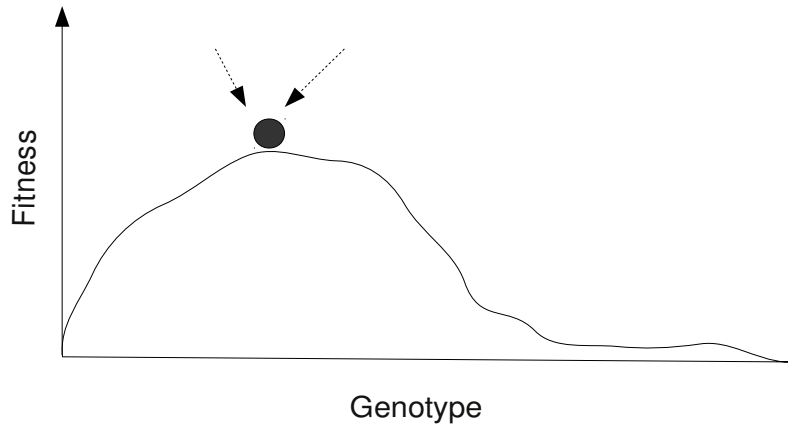


**Fig. 2. Phenotype-environment mismatch.** (A) Mismatch between phenotypes and an environment occurs when a population's phenotypic trait distribution differs from the optimum; greater mismatch increases selection for adaptation but also implies greater costs through reduced survival and reproduction. (B) Genotypic manipulations reduce mismatch by managing existing genetic variation or introducing new genes. For example, conventional corn is damaged by insect pests (left) that are killed by bacterial proteins produced by GE Bt corn (right). Alternatively, evolutionary mismatch can also be managed by (C) developmental manipulations of phenotypes, such as vaccination to enhance immunity against pathogens, or (D) environmental manipulations, such as habitat restoration. These examples demonstrate methods to reduce mismatch, but these same tactics can be reversed to impose greater mismatch where beneficial to human interests (e.g., pest eradication).





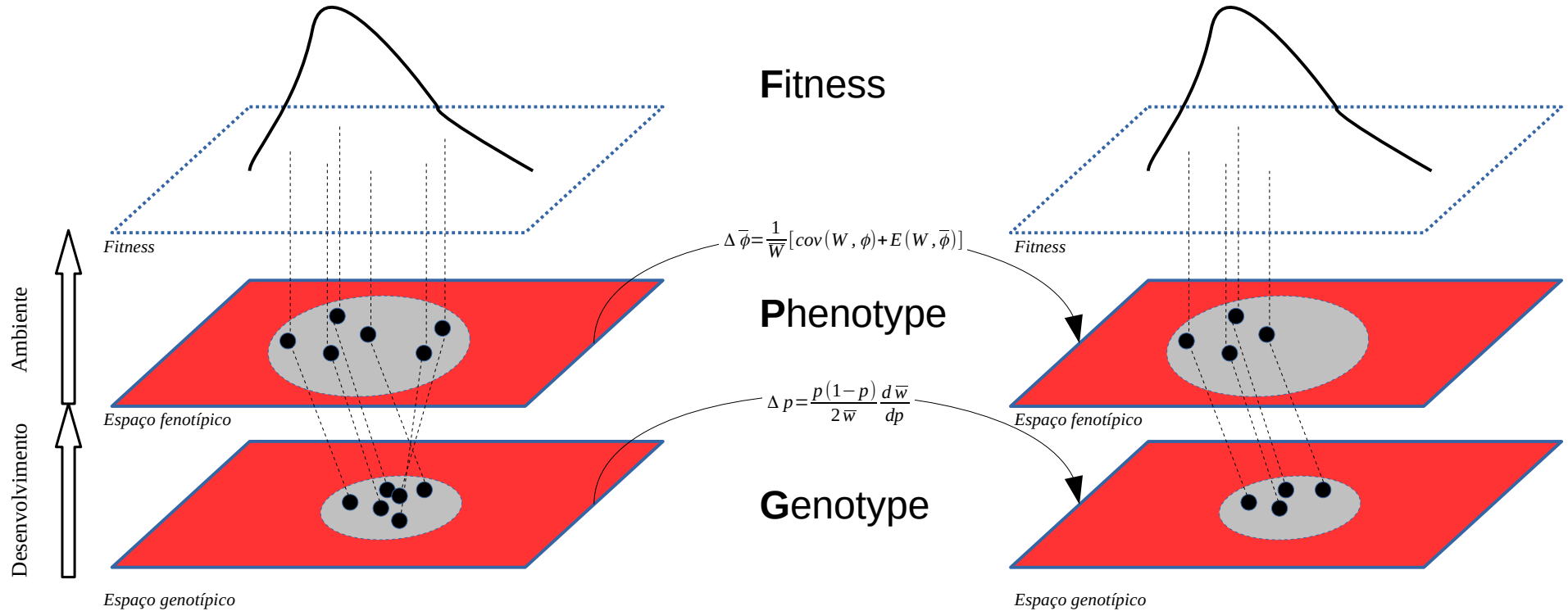
## Adaptação como processo de otimização



Optimização da constituição genotípica/fenotípica → Maximização fitness



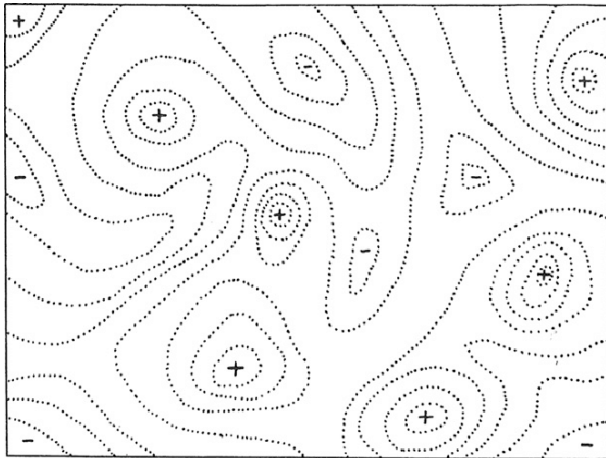
# Adaptação como processo de otimização





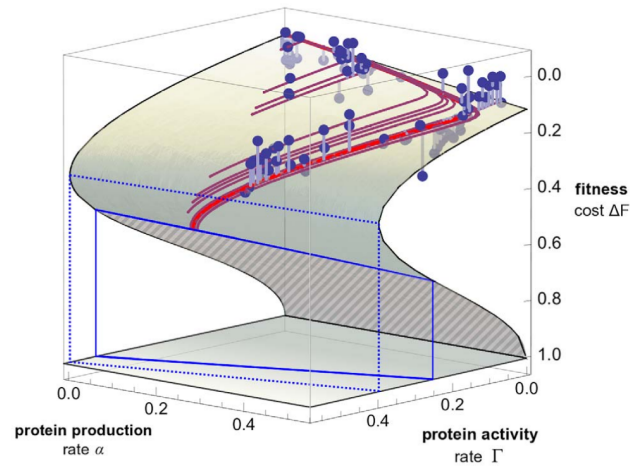
# Adaptação como processo de otimização

Adaptação - otimização do fitness médio de uma população (num espaço genotípico ou fenotípico)

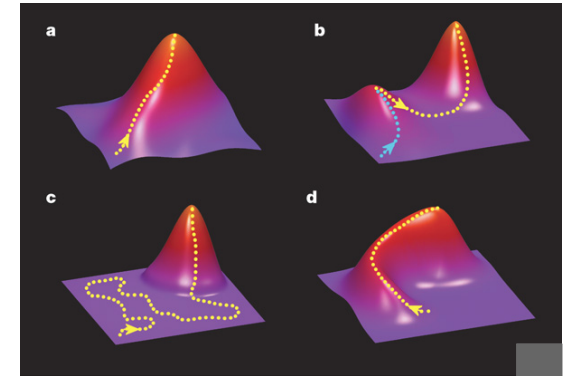


"Original" Wright's fitness landscape

## Paisagens adaptativas – mapeamento de genótipos/fenótipos em fitness

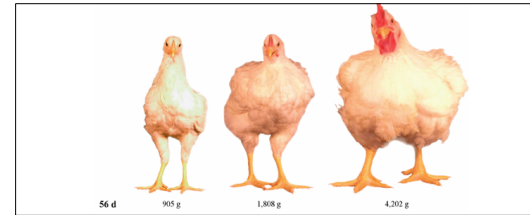
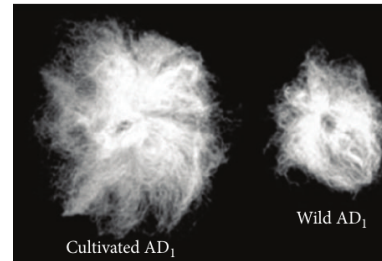
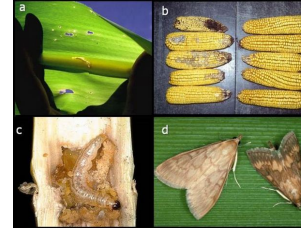
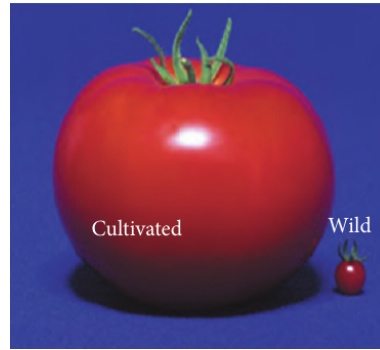
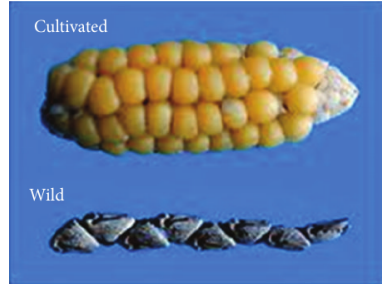


Perfeito et al (2011). Nonlinear Fitness landscape of a molecular pathway. PLOS Genetics





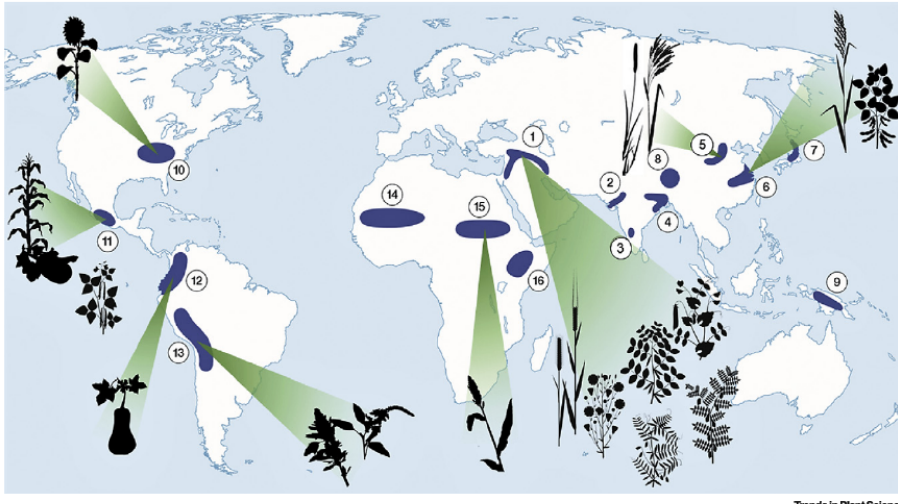
# Melhoramento de plantas e animais





# Melhoramento de plantas e animais

## História de domesticação



Spengler 2020 Anthropogenic seed dispersal, rethinking the origins of plant domestication

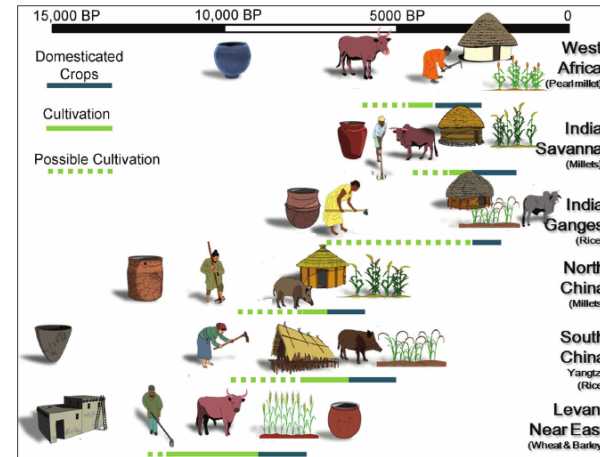


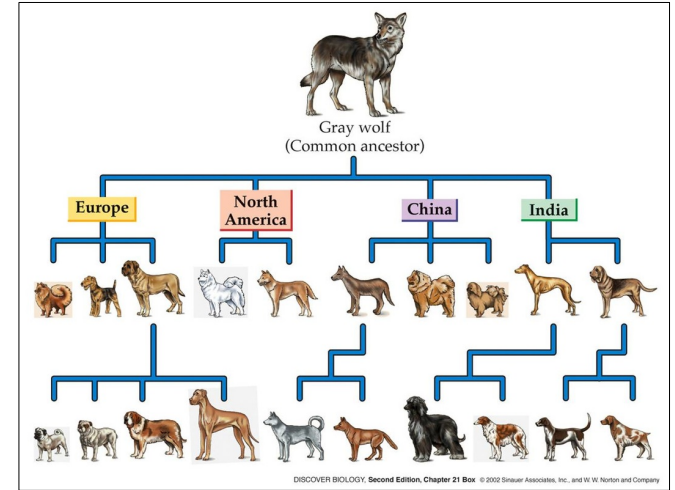
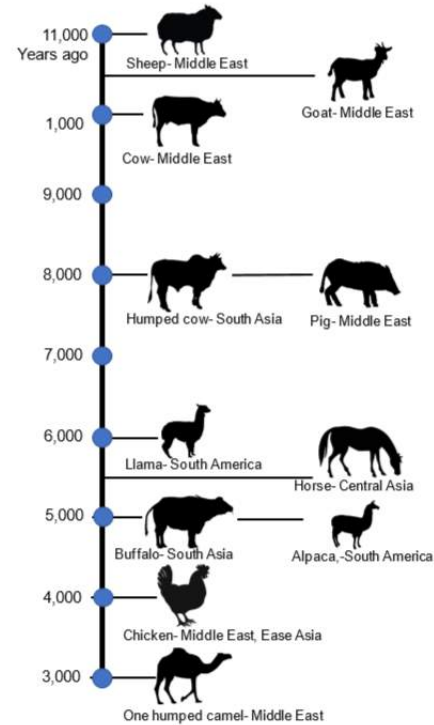
Figure 2: A comparative timeline of pathways to the 'Neolithic', indicating the advent of sedentism (hut icons), ceramics, animal husbandry, cultivation (pre-domestication cultivation), domestication and agricultural economies (indicated by crop icons) for selected regions of the Old World.

## Transição para o Neolítico



# Melhoramento de plantas e animais

## História de domesticação







# Melhoramento de plantas e animais

## Seleção artificial – ação humana

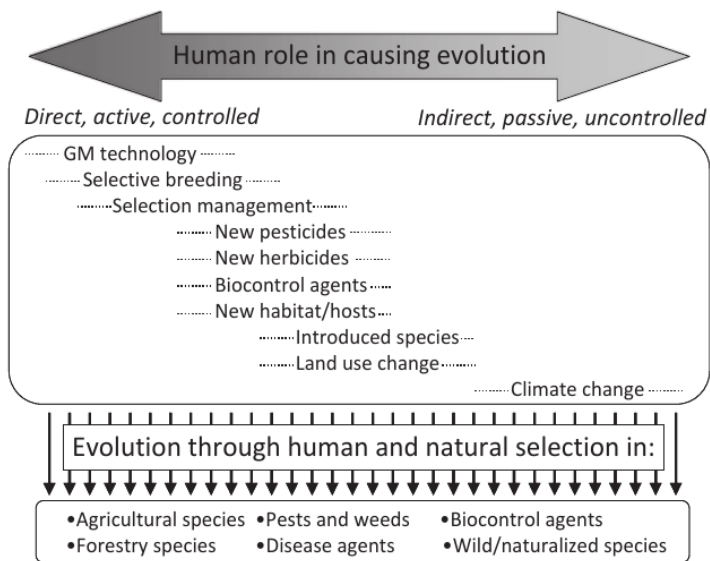


TABLE 1: Some centers of origin of crop domestication and the trait under selection.

Crop	Area of origin	Traits influenced under domestication
<b>Cereals</b>		
Rice	China	Reduction in grain shattering and seed dormancy; synchronization of seed maturation; reduction in tiller number; increase in tiller erectness; increase in panicle branches; Number of spikelets per panicle; reduction in hull and pericarp coloration and awn length
Barley	Fertile crescent, and Israel-Jordan area	Reduction in grain shattering; separation of seeds from hulls
Wheat	Southwest Asia (fertile crescent)	Reduction in shattering of grains (nonbrittle rachis); free-threshing trait
Maize	Mesoamerica	Increased apical dominance; production of seeds in relatively large numbers
<b>Brassicas</b>		
Cabbage	—	Large number of leaves surrounding the terminal bud
Cauliflower	—	Formation of inflorescence meristems
<b>Legumes</b>		
Lentil	Mesoamerica	Seed dormancy
Vigna	Southeast Asia	Increase in seed and pod size, nontwining growth habit, loss of seed dormancy, and seed dispersal ability
Pea	Southwest Asia (fertile crescent)	Indehiscent pods; lack of dormancy
		dwarfness; less basal branches; large seeds; good seed quality
		day neutral flowering
<b>Fibers</b>		
Cotton	Mexico and Peru	Fiber length and quality
<b>Vegetables</b>		
Tomato	Mesoamerica	Fruits' size, shape, and structure
Potato	Andes and Amazonia	Shorter stolons, larger tubers, (often) colored and variously shaped tubers, and reduction of bitter tuber glycoalkaloids
Squash	Mesoamerica	increased seed length and peduncle diameter, change in fruit shape and color

Chaudhary (2013). Plant domestication and resistance to herbivory. *Int J Plant Genomics*

Thrall et al. (2011). *Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches...* Evolutionary Applications



# Melhoramento de plantas e animais

## Seleção artificial – problemas

### Adaptação local

- Redução de variabilidade genética
- Inbreeding e outbreeding
- Trade-offs

Artificial propagation and viability of salmonids

McClure et al.

**Table 1.** Genetic issues potentially associated with artificial propagation management practices or outcomes of management practices.

Management practice	Evolutionary or genetic consequences			
	Domestication selection	Outbreeding depression	Homogenization	Reduced effective population size
<i>Within hatchery</i>				
Persistence of a stock in a hatchery setting for multiple generations	X			X (particularly for stocks with little input from natural populations)
Breeding strategies that randomly breed fish from more than one population or subpopulation		X	X	
Artificial selection for a particular phenotypic characteristic (e.g. broodstock consists of primarily early-returning fish)	X			X
Within-hatchery breeding strategies that rely heavily on a few individuals	X			X
<i>In wild or natural populations</i>				
Widespread straying or intentional release of artificially propagated fish to non-native areas		X	X	
Heavy representation of artificially propagated fish on the spawning grounds	X	X	X	X



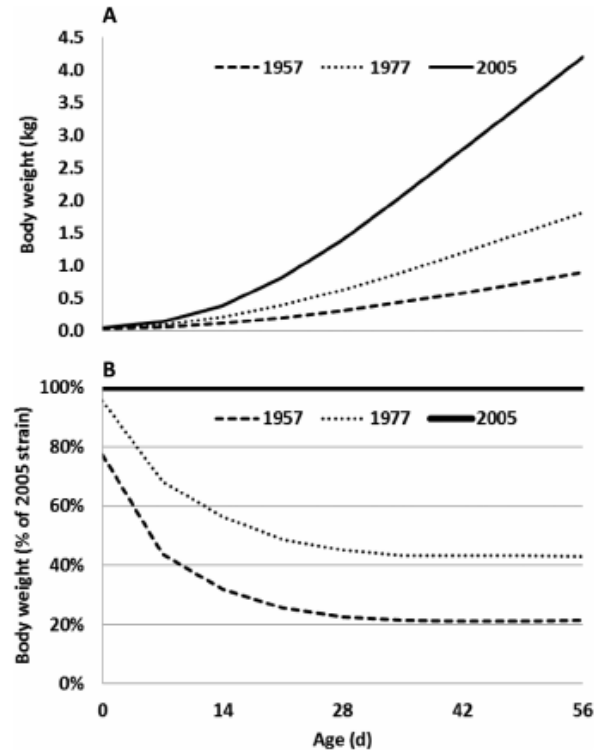


## Melhoramento de plantas e animais

### Seleção artificial – indústria avícola

### Fenótipos selecionados

- Peso
- Consumo de alimento
- Peso final
- FCR (feed conversion ratio)



Zuidhof et al. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005

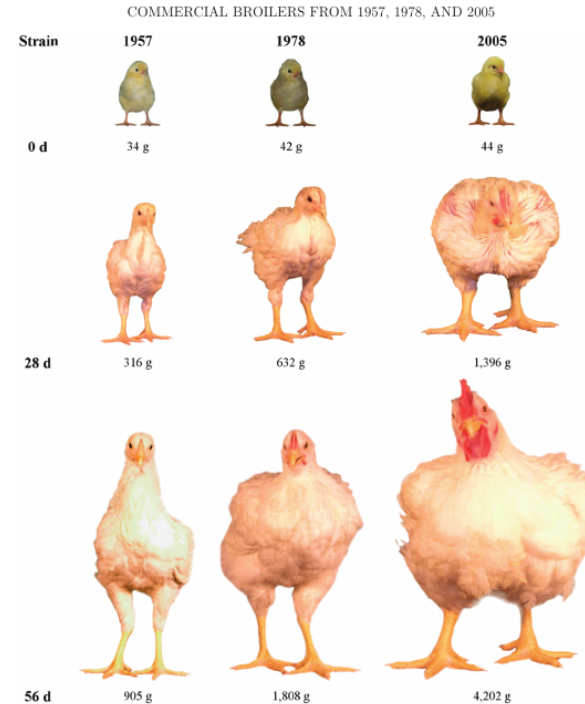


## Melhoramento de plantas e animais

### Seleção artificial – indústria avícola

#### Fenótipos selecionados

- Peso
- Consumo de alimento
- Peso final
- FCR (feed conversion ratio)



Zuidhof et al. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005



## Melhoramento de plantas e animais

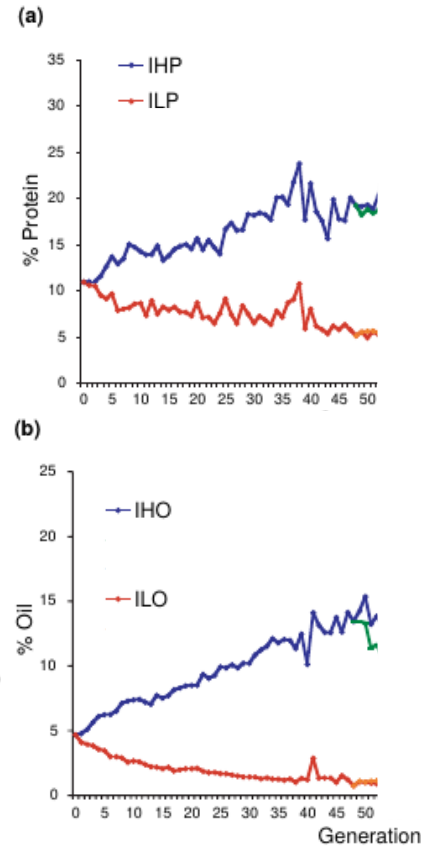
### Seleção artificial – Milho

#### *Illinois Long-Term Selection experiment*

→ Desde 1896

#### Fenótipos selecionados

- Conteúdo proteico
- Teor em óleo
- Seleção em direções opostas



Moose et al. (2004). Maize selection passes the century mark...  
*TRENDS in Plant Sciences*



## Melhoramento de plantas e animais

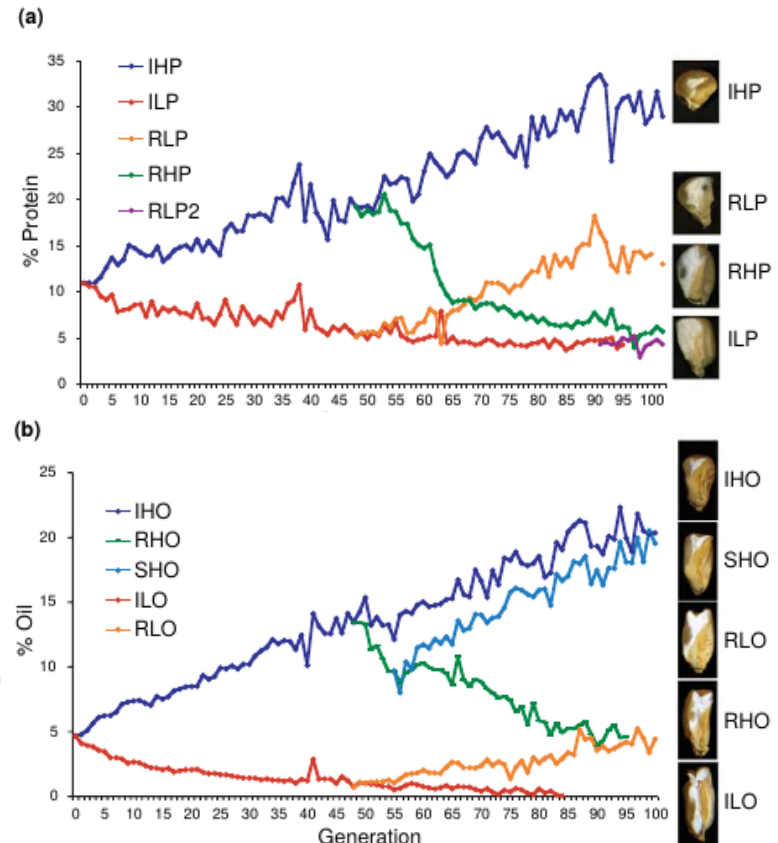
### Seleção artificial – Milho

#### *Illinois Long-Term Selection experiment*

→ Desde 1896

### Fenótipos selecionados

- Conteúdo proteico
- Teor em óleo
- Seleção em direções opostas



Moose et al. (2004). Maize selection passes the century mark...  
*TRENDS in Plant Sciences*



## Melhoramento de plantas e animais

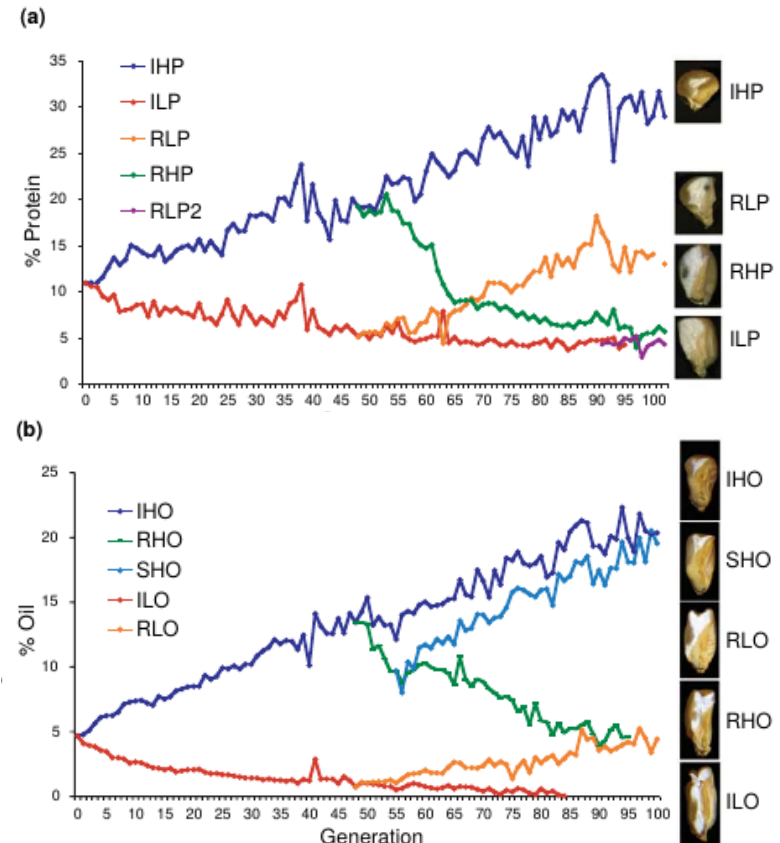
### Seleção artificial – Milho

#### *Illinois Long-Term Selection experiment*

→ Desde 1896

### Resultados

- Resposta > 20 SDs
- Manutenção de variabilidade genética
- Resposta poligénica



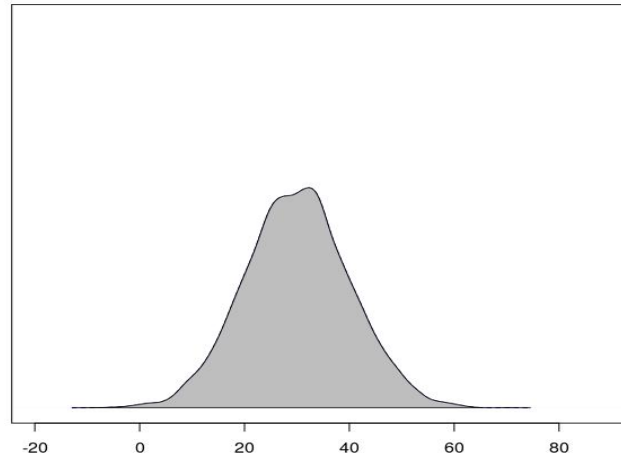
Moose et al. (2004). Maize selection passes the century mark...  
TRENDS in Plant Sciences



## Seleção artificial

### Seleção

#### 1. Variabilidade fenotípica

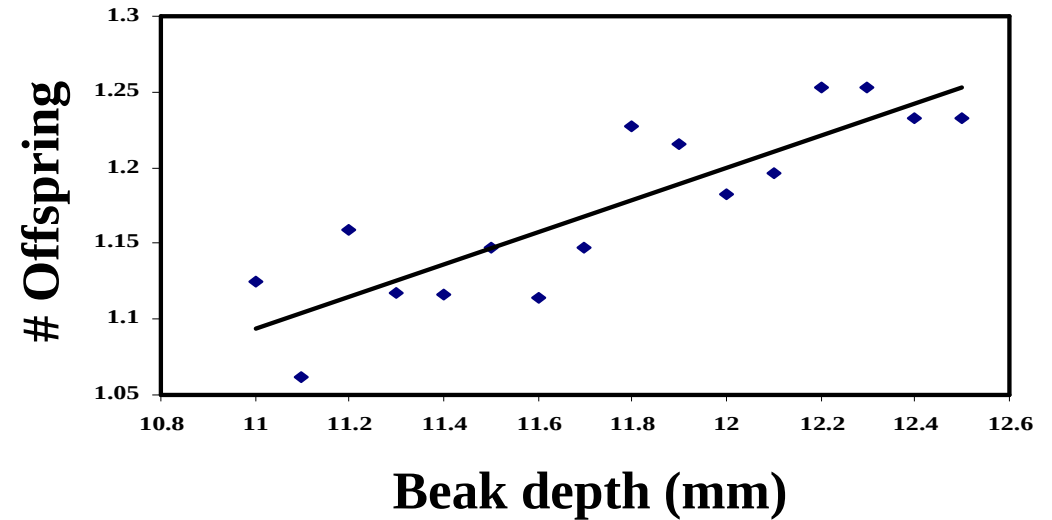




## Seleção artificial

### Seleção

1. Variabilidade fenotípica
2. Covariância entre fenótipo e fitness - cov (W, F)

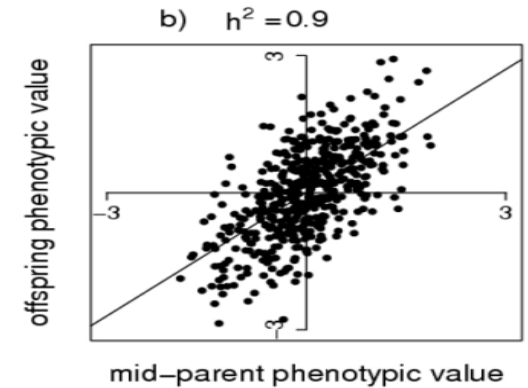
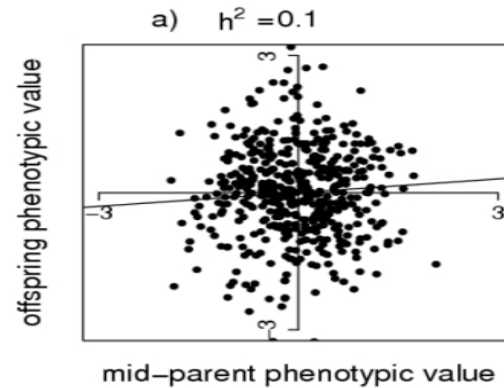




## Seleção artificial

### Seleção

1. Variabilidade fenotípica
2. Covariância entre fenótipo e fitness - cov (W, F)
3. Heritabilidade do fenótipo







## Seleção artificial

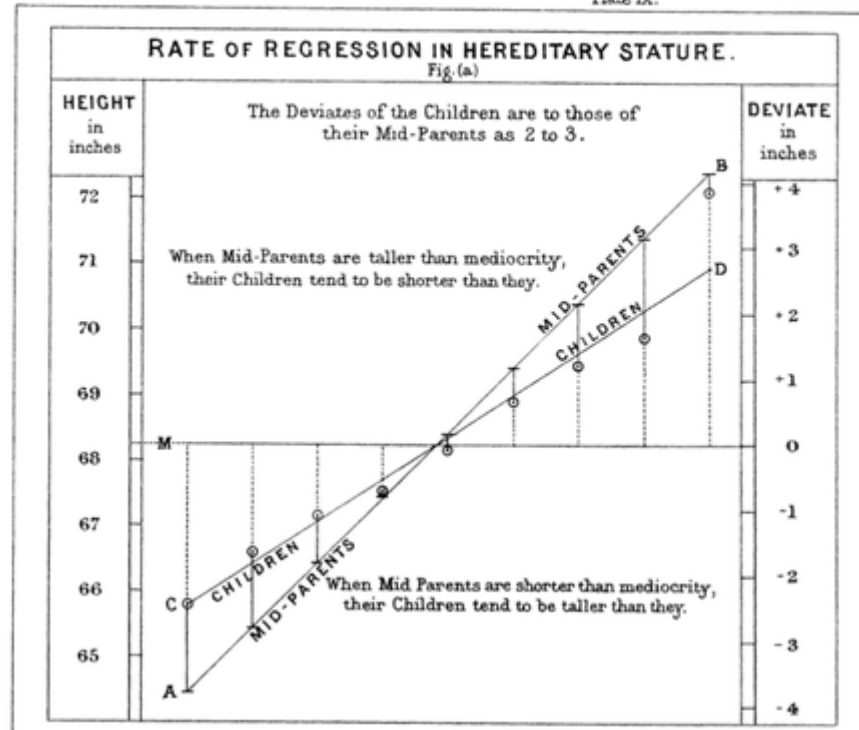
### Heritabilidade

(narrow sense)

*Regressão do fenótipo dos descendentes no  
fenótipo parental*

$$\dots h^2 = V_A/V_P$$

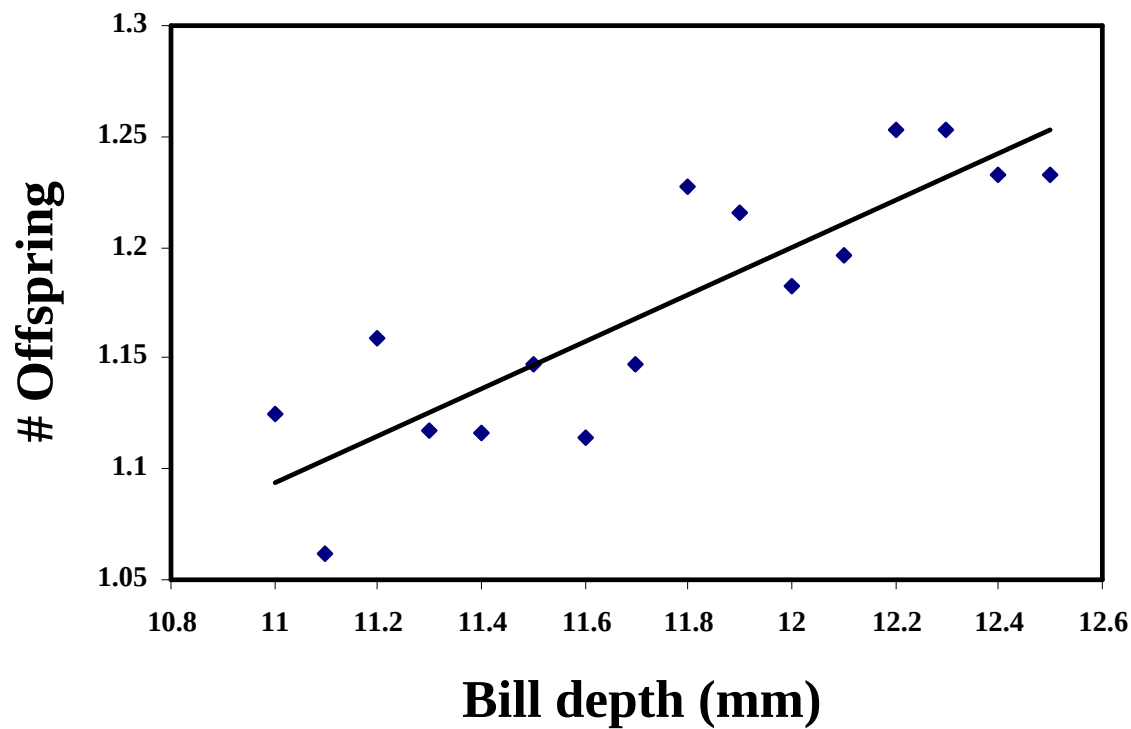
Plate IX.





## Seleção natural

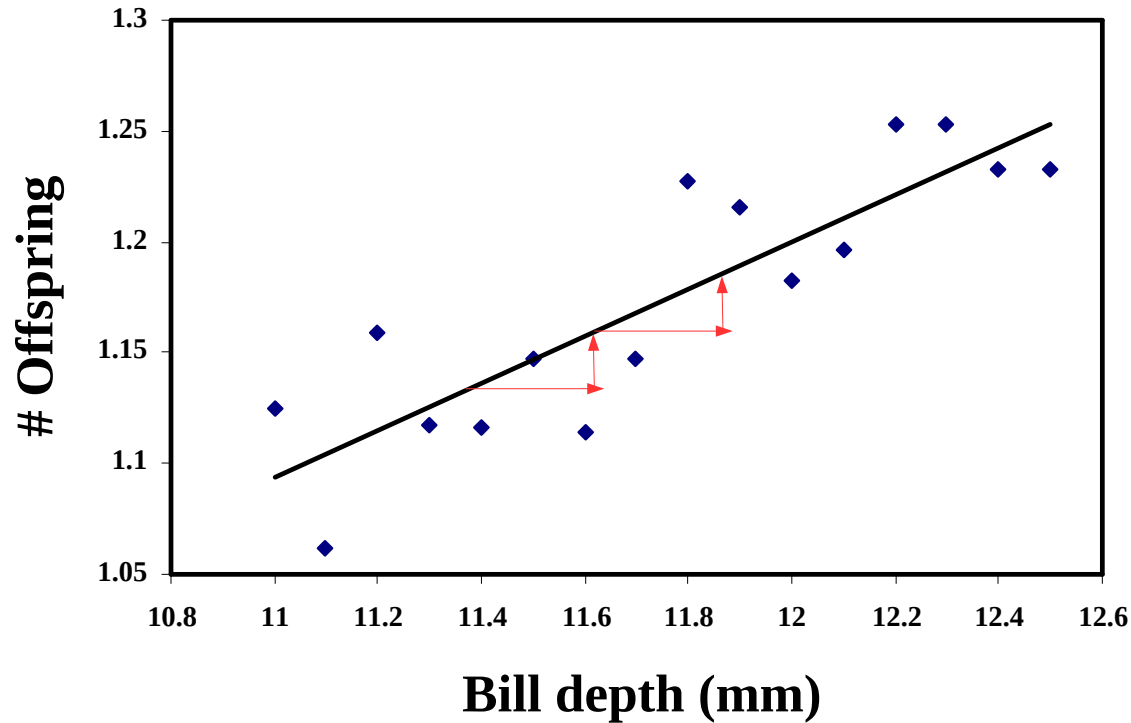
Alteração fenotípica em caracteres quantitativos





## Seleção natural

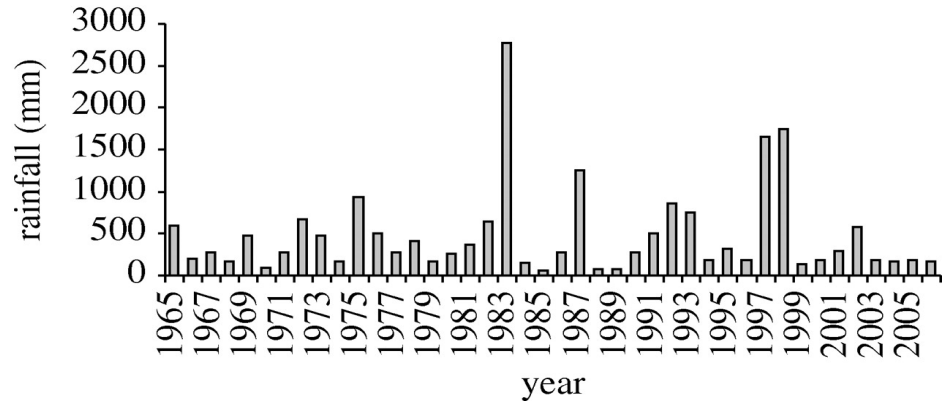
Alteração fenotípica em caracteres quantitativos





## Seleção natural

### Alterações direcionais associadas a alterações ambientais - Galápagos

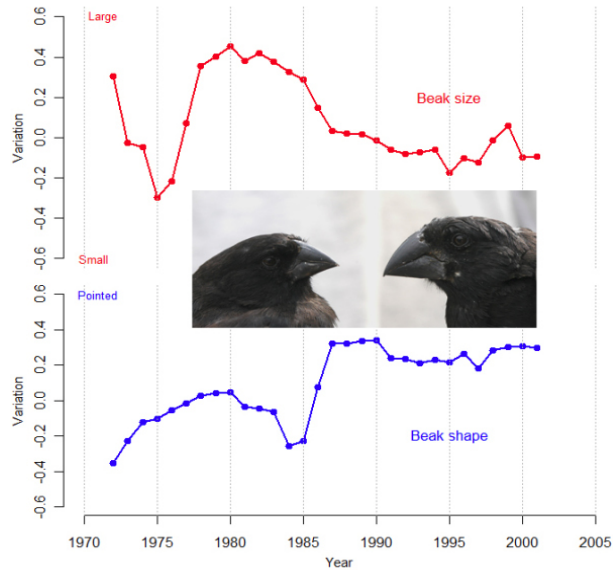


Daphne Major

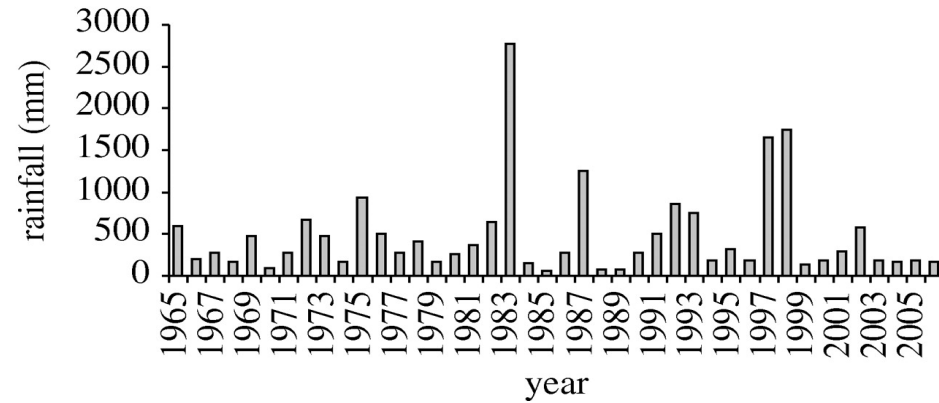


## Seleção natural

### Alterações direcionais associadas a alterações ambientais - Galápagos



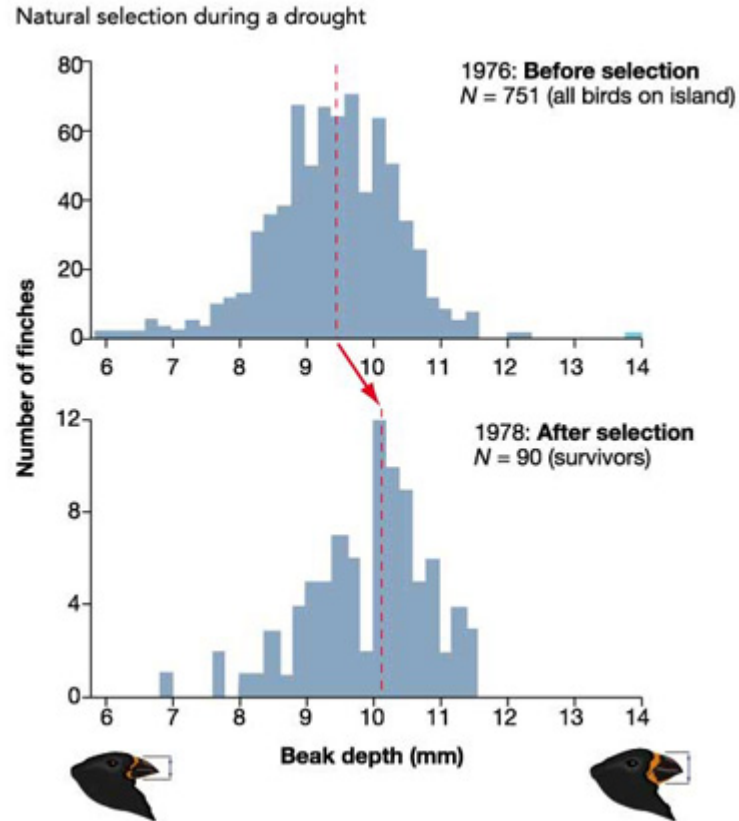
*Geospiza fortis*





## Seleção natural

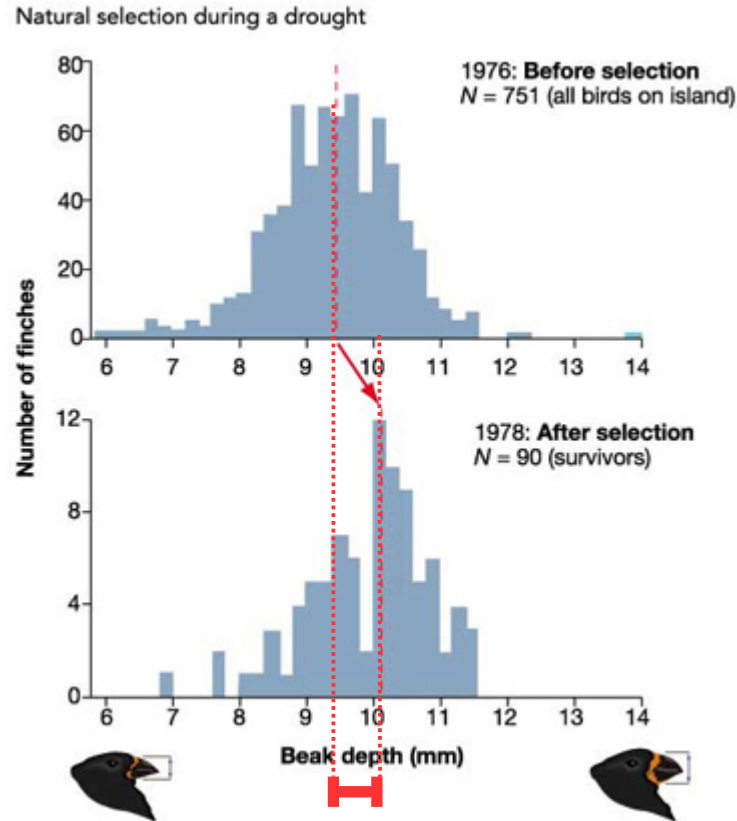
### Mudança na distribuição de fenótipos quantitativos





# Seleção natural

## Mudança na distribuição de fenótipos quantitativos





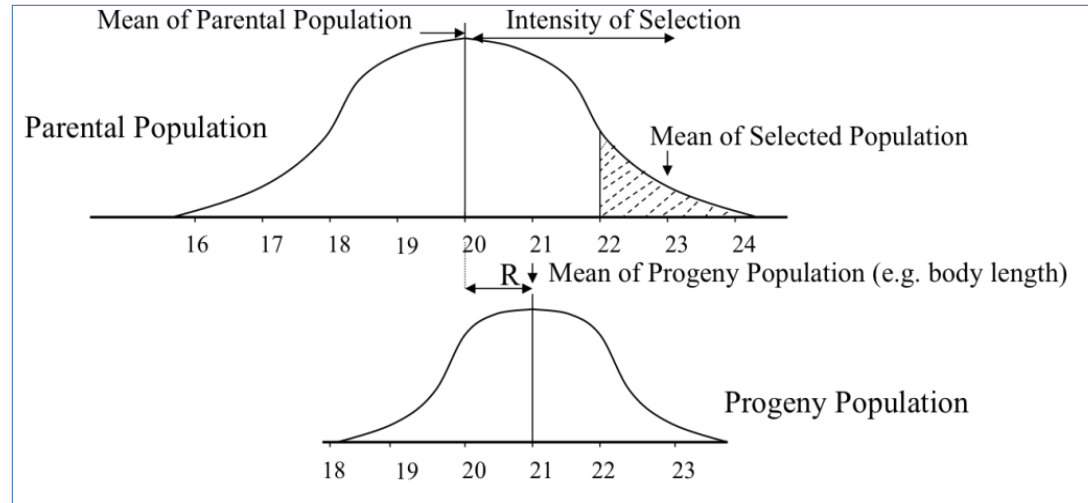
## Seleção – *Breeder's equation*

Resposta adaptativa por seleção em fenótipos quantitativos

$S$  → Diferencial de seleção

$h^2$  → Heritabilidade

$$R = h^2 S$$









# Evolução em fenótipos correlacionados

## Seleção artificial – Milho

### *Illinois Long-Term Selection experiment*

→ Desde 1896

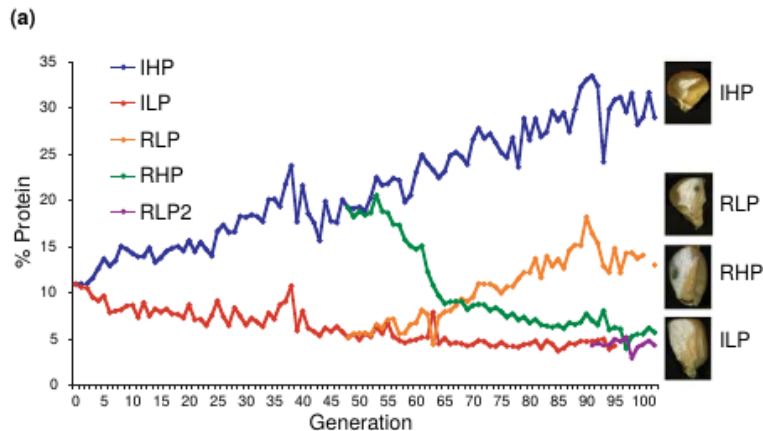


Table 2. Correlated traits altered in the Illinois oil and protein selection strains

Trait	Correlation with grain protein concentration <sup>a</sup>	Correlation with grain oil concentration <sup>a</sup>	Refs
Grain starch concentration	–	–	[3]
Seed size	–	–	[3]
Proportion of embryo scutellar tissue	No correlation	+	[3]
Endosperm storage protein synthesis, particularly $\alpha$ -zeins	+	No correlation	[17,35,46]
Nitrogen assimilation, translocation and remobilisation	+	No correlation	[37,47,48]
Activity of nitrogen and carbon metabolism enzymes	+	No correlation	[35,49–51]
Leaf senescence or 'staygreen'	–	No correlation	[6]
Seed phytate content	+	–	[52]
Endoreduplication in leaf epidermis and endosperm	+	No correlation	[53,54]
Duration of juvenile vegetative phase	Reduced in Illinois Low Protein	No correlation	<sup>b</sup>
Relative maturity	Delayed in Illinois High Protein, Reverse High Protein, REVERSE LOW PROTEIN	Delayed in Illinois Low Oil and Reverse Low Oil	[3]
Tassel branching	No correlation	High in Illinois High Oil	[55]
Resistance to foliar fungal pathogens and insect pests	Poor in Illinois High Protein and Reverse High Protein	Poor in Illinois High Oil and Illinois Low Oil	<sup>c</sup>

<sup>a</sup> +, positive correlation; –, negative correlation.

<sup>b</sup>S. Moose, unpublished.

<sup>c</sup>J. Dudley and S. Moose, unpublished.



## Evolução em fenótipos correlacionados

### Domesticação da raposa prateada (*Vulpes vulpes*)

*Todo o processo de domesticação resultará de seleção para “mansidão”?*



*Dmitry Belyaev*

- 1959** - 30 machos e 100 fêmeas;
- Seleção para um fenótipo comportamental: mansidão – comportamento amigoso para com os humanos



## Evolução em fenótipos correlacionados

### Domesticação da raposa prateada (*Vulpes vulpes*)

*Todo o processo de domesticação resultará de seleção para “mansidão”?*



*Dmitry Belyaev*

**1959** - 30 machos e 100 fêmeas;

<b>Valor fenotípico</b>		
<b>Classe I</b>	<b>Classe II</b>	<b>Classe III</b>
<b>Bastante domesticado</b>	<b>Algo domesticado</b>	<b>Pouco domesticado</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Amigável para os humanos (abana cauda, gemido)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Festas</li><li>- Sem resposta para com os humanos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Foge dos humanos</li><li>- Morde</li></ul>



## Evolução em fenótipos correlacionados

### Domesticação da raposa prateada (*Vulpes vulpes*)

*Todo o processo de domesticação resultará de seleção para “mansidão”?*



*Dmitry Belyaev*

- 1959** - 30 machos e 100 fêmeas;
- Seleção para um fenótipo comportamental: mansidão – comportamento amistoso para com os humanos;
- Menos de 20% reproduziam-se.



## Evolução em fenótipos correlacionados

Domesticação da raposa prateada (*Vulpes vulpes*)





## Domesticação da raposa prateada

### Evolução fenotípica

#### Comportamento

- 4ª geração (1964)– abanar a cauda
  - lambar a cara e saltar para os braços dos tratadores
  - 8ª geração (1970) – respondiam ao chamamento dos tratadores
  - 18% das raposas na categoria de elite mais elevada à geração 10, 35% à geração 20, em 2009 (76%)
- Categoria de elite - ansiosas por estabelecer contacto: gemidos para chamar atenção, cheirar e lambar os tratadores.

#### Fisiologia e morfologia

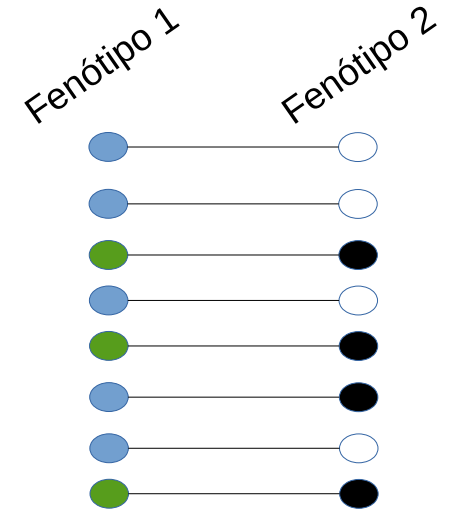
- níveis de adrenalina mais baixos
- manchas na pele (geração 8 a 10)
- orelhas baixas e caudas encurvadas
- caudas e pernas menores (geração 15 a 20)
- crâneos menores





## Evolução em fenótipos correlacionados

Correlação fenotípica



Correlação – medida da relação linear entre 2 variáveis

$$\rho_{X,Y} = \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

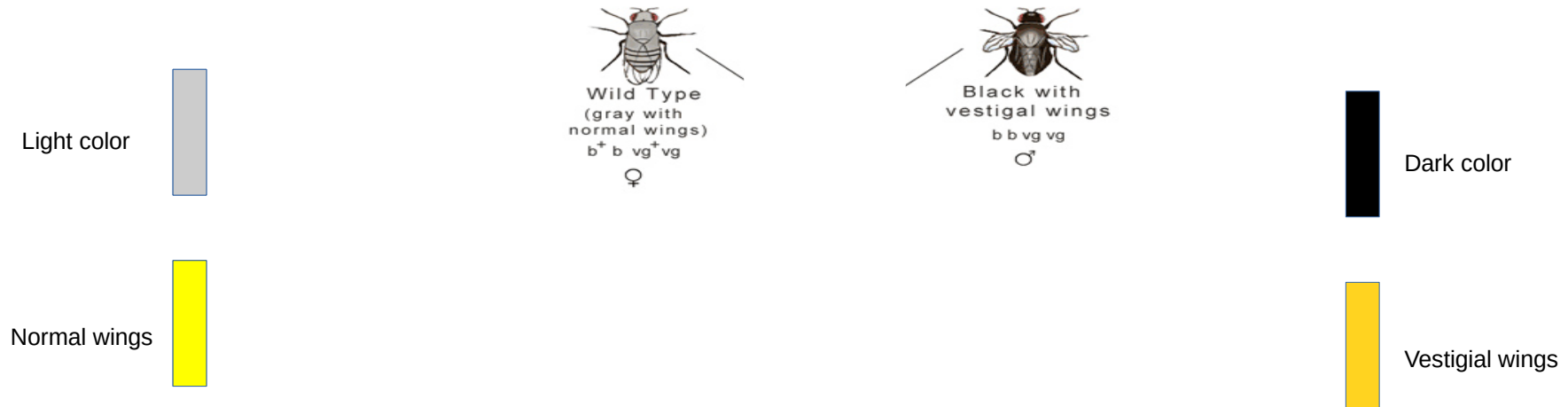




## Evolução em fenótipos correlacionados

### Correlação fenotípica

**Desequilíbrio gamético (linkage)** – A variação correlacionada de fenótipos vem da variação em *loci* do mesmo cromossoma

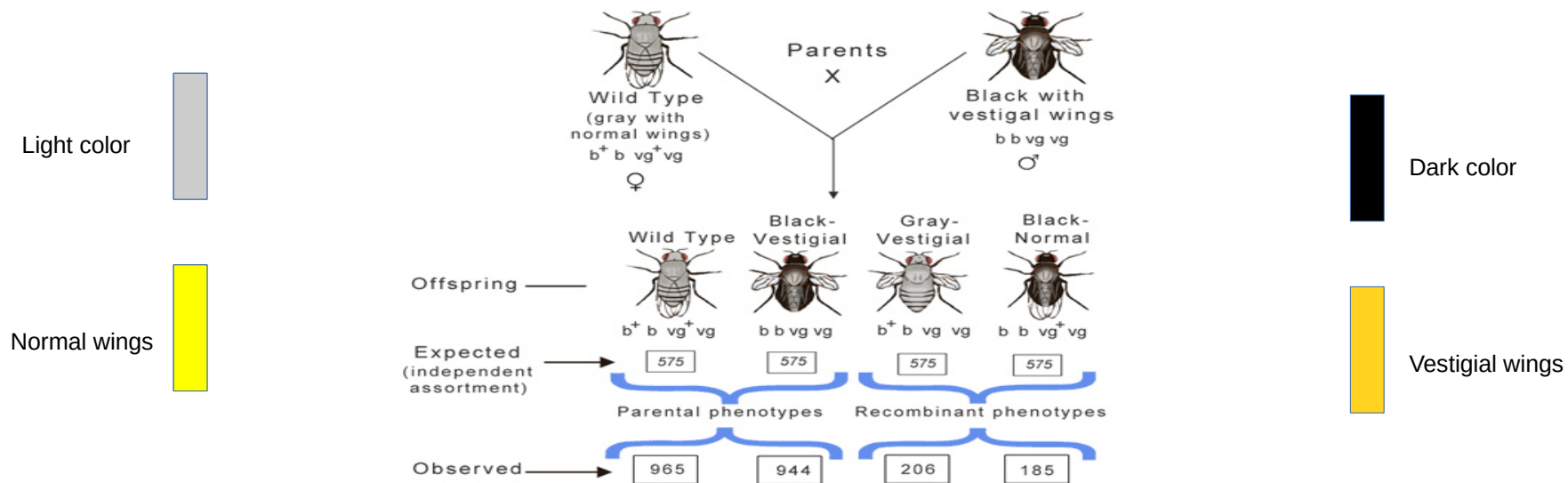




# Evolução em fenótipos correlacionados

## Correlação fenotípica

**Desequilíbrio gamético (linkage)** – A variação correlacionada de fenótipos vem da variação em *loci* do mesmo cromossoma

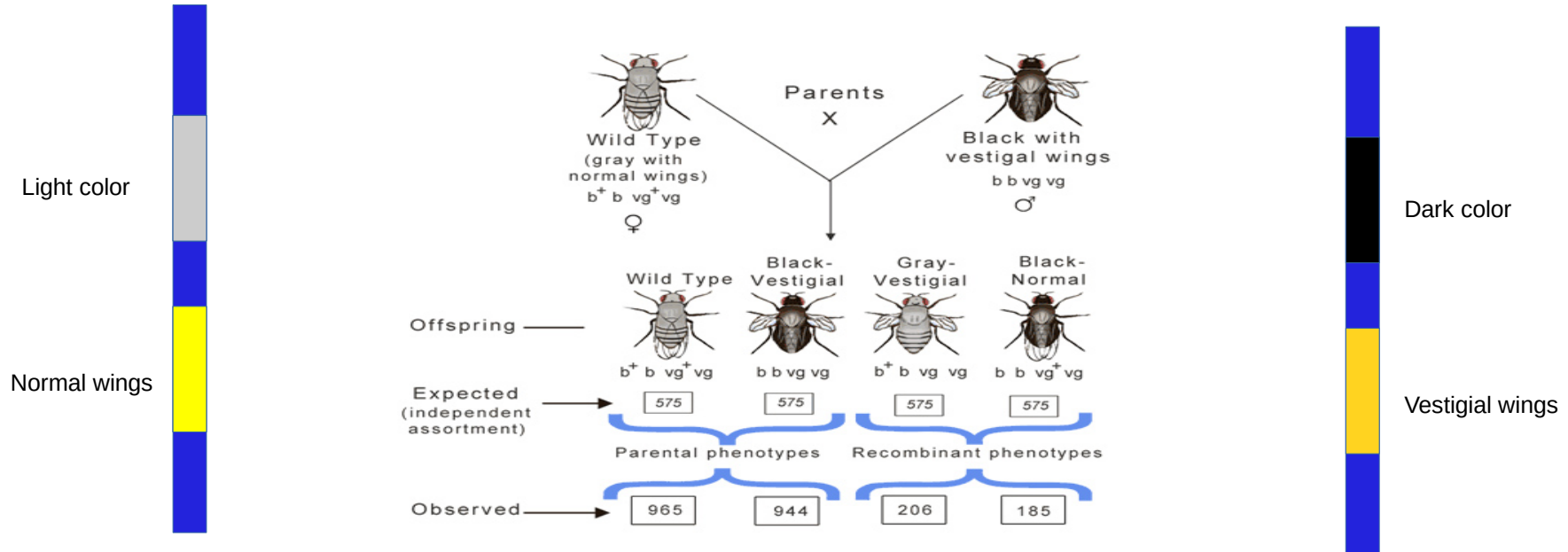




# Evolução em fenótipos correlacionados

## Correlação fenotípica

**Desequilíbrio gamético (linkage)** – A variação correlacionada de fenótipos vem da variação em *loci* do mesmo cromossoma

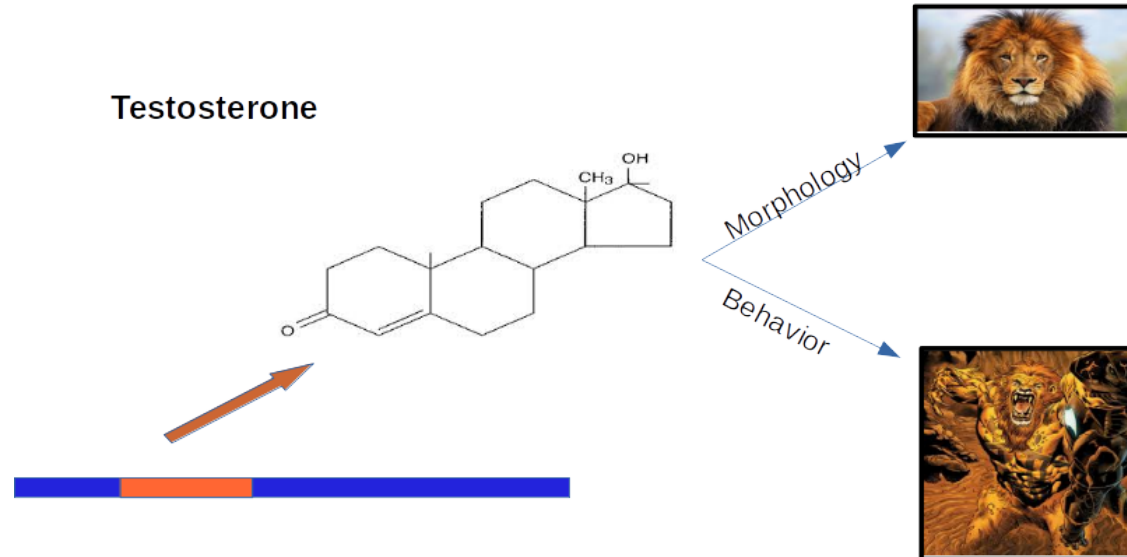




## Evolução em fenótipos correlacionados

### Correlação fenotípica

**Pleiotropia** – Um gene afeta mais do que um fenótipo

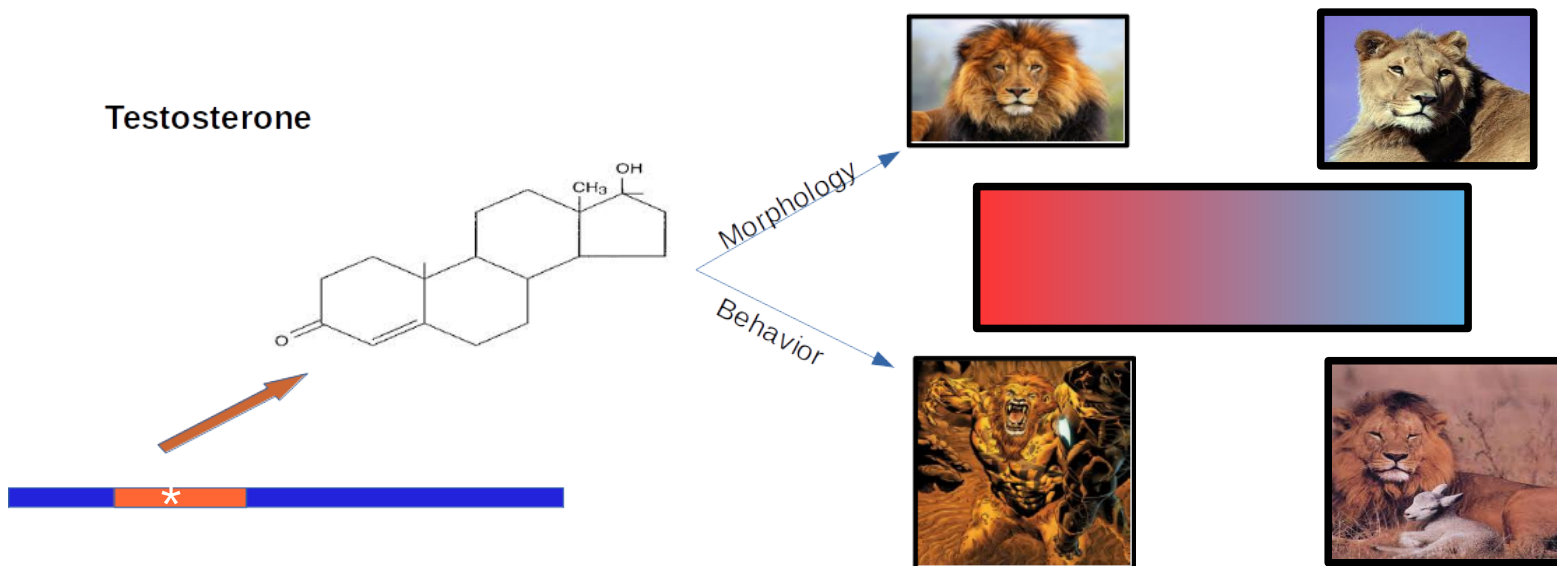




# Evolução em fenótipos correlacionados

## Correlação fenotípica

**Pleiotropia** – Um gene afeta mais do que um fenótipo

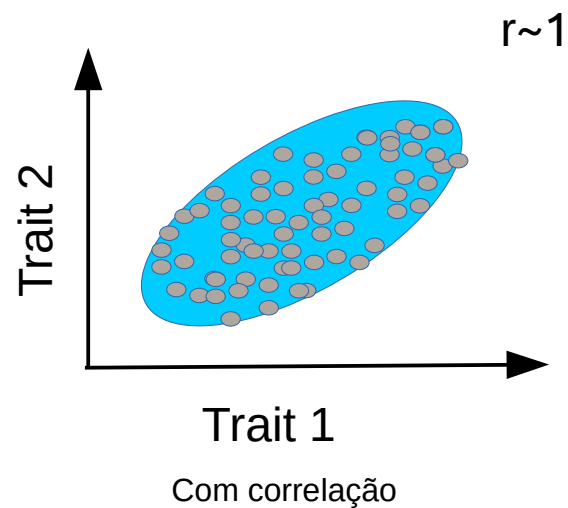
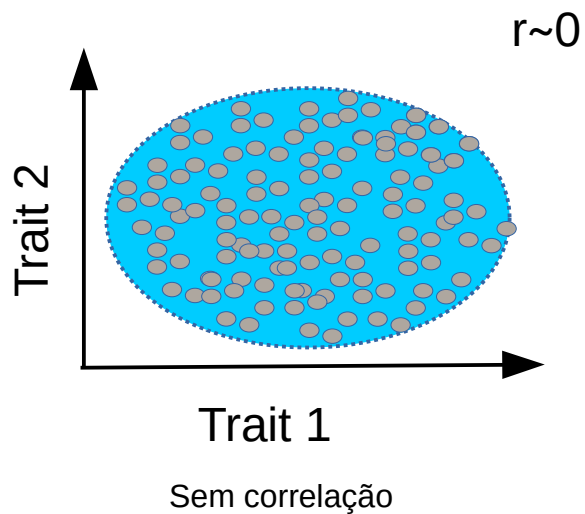




## Evolução em fenótipos correlacionados

Como funciona a seleção em fenótipos correlacionados?

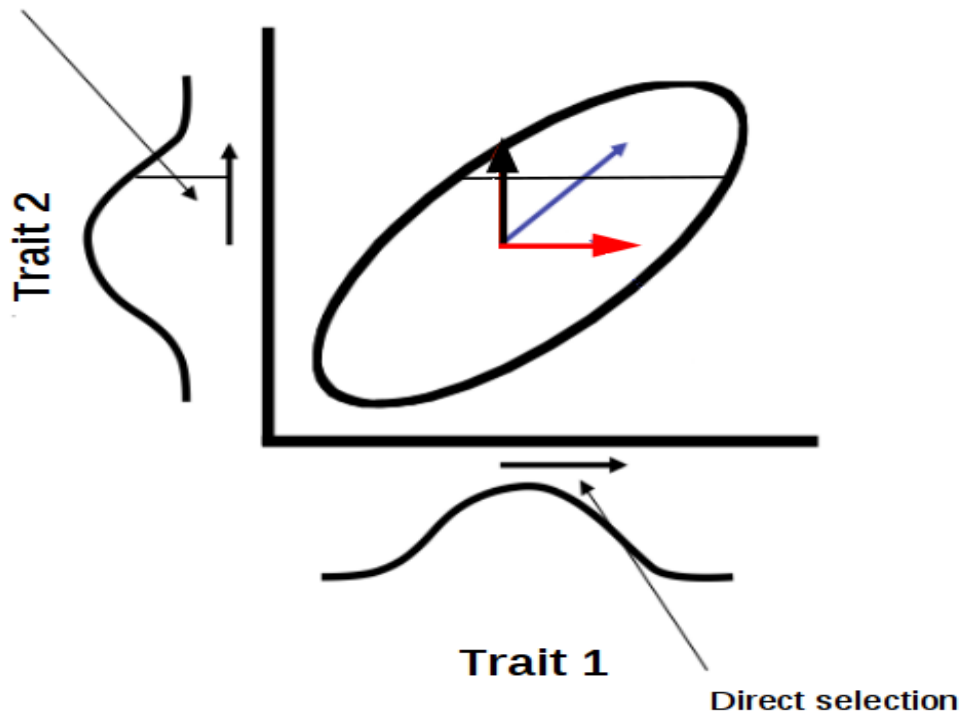
Distribuições fenotípicas





## Evolução em fenótipos correlacionados

Indirect selection

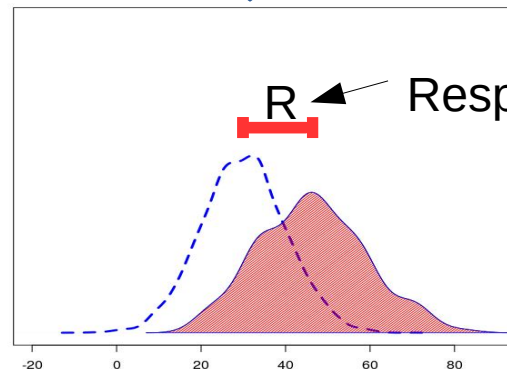
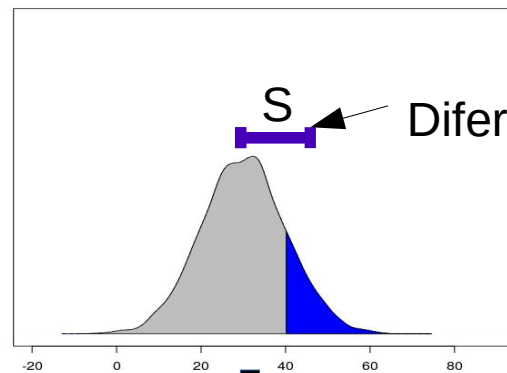
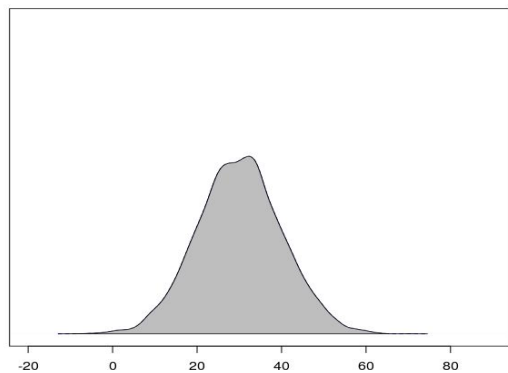


A ação da seleção no fenótipo 1  
conduz a alterações no fenótipo 2



# Evolução em fenótipos correlacionados

## Seleção direta



Fenótipo 1

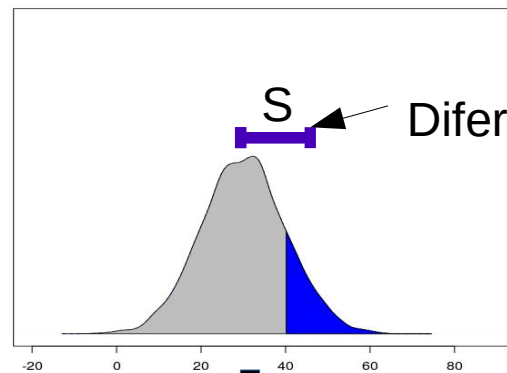
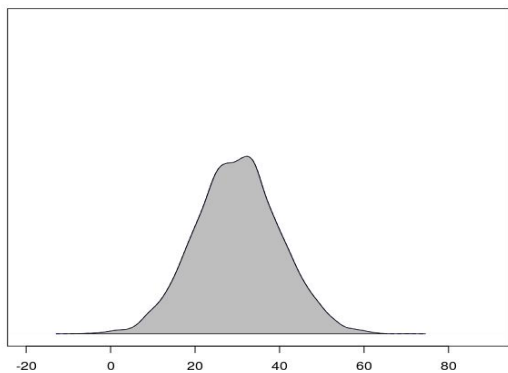




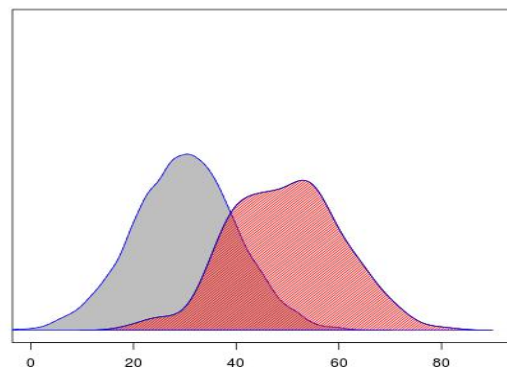
# Evolução em fenótipos correlacionados

## Seleção direta

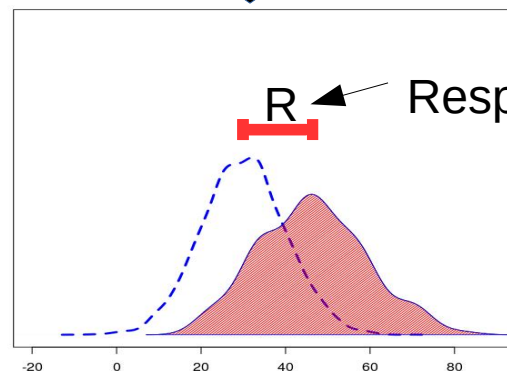
Seleção indireta



Diferencial seletivo



Fenótipo 2



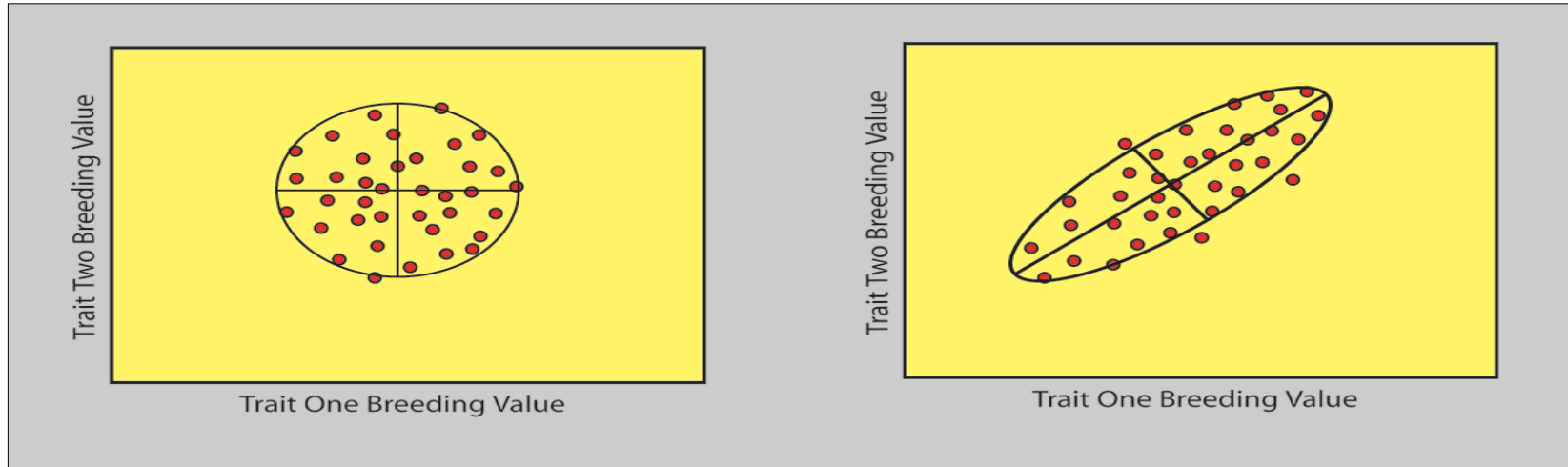
Resposta seletiva

Fenótipo 1



## Evolução em fenótipos correlacionados

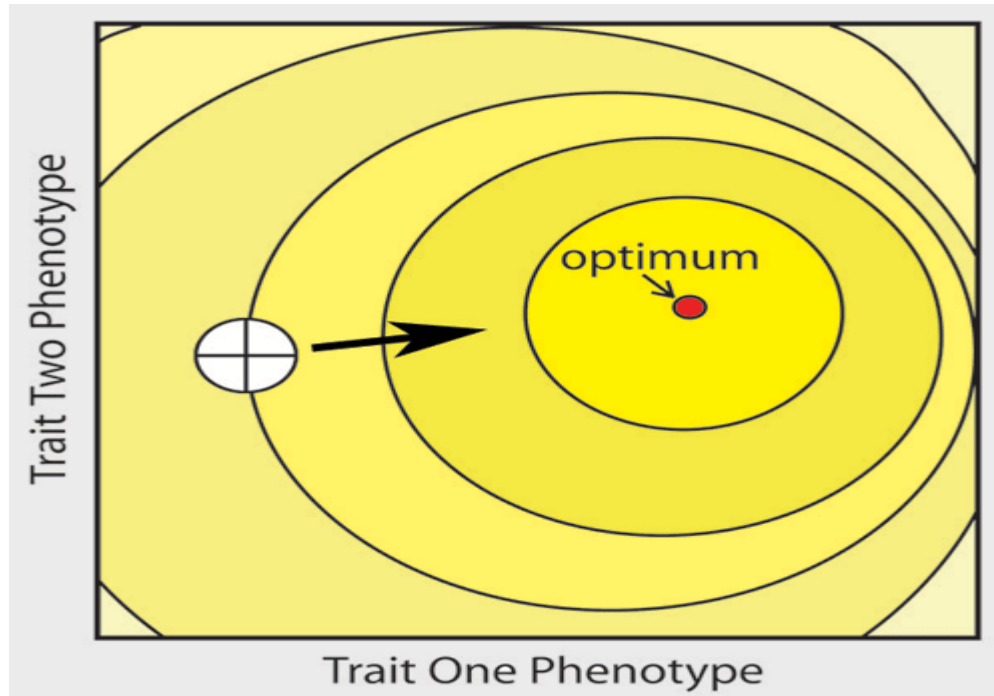
### Adaptação em fenótipos correlacionados – paisagens adaptativas





## Evolução em fenótipos correlacionados

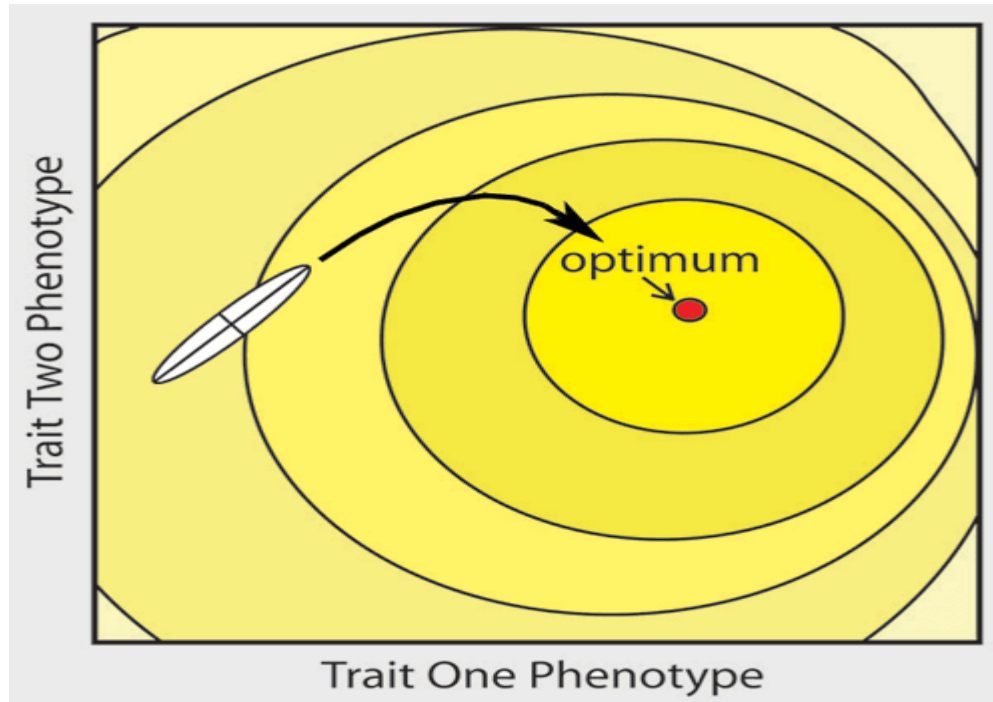
### Adaptação em fenótipos correlacionados – paisagens adaptativas





## Evolução em fenótipos correlacionados

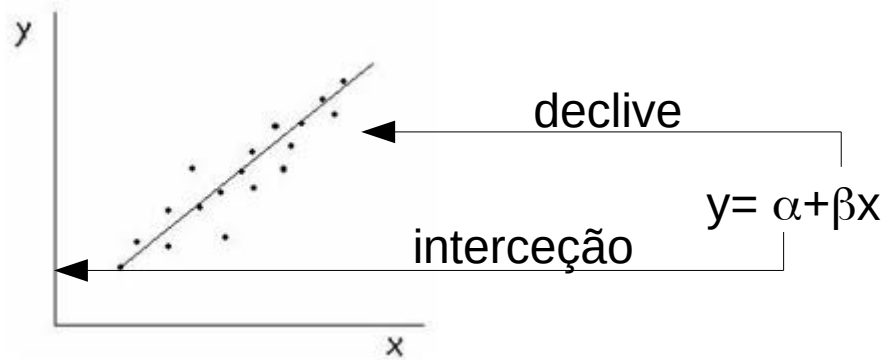
### Adaptação em fenótipos correlacionados – paisagens adaptativas





## Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

Regressão linear

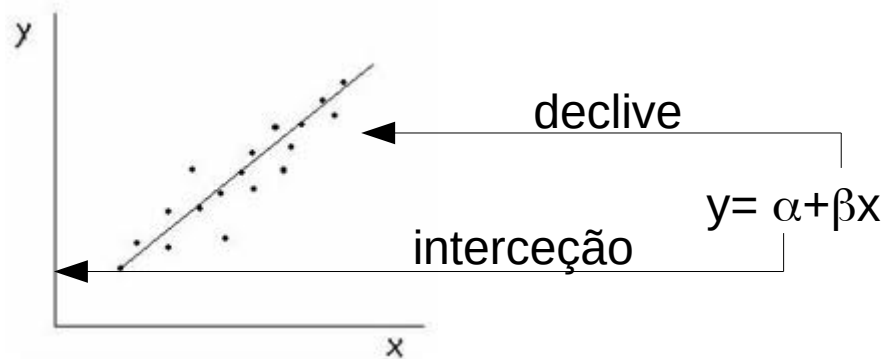


Ex:  $y$  = sobrevivência, nº de ovos, etc.  
 $x$  = fenótipo teste: peso



## Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

Regressão linear



Ex:  $y$  = sobrevivência, nº de ovos, etc.  
 $x$  = fenótipo teste: peso

Regressão linear múltipla

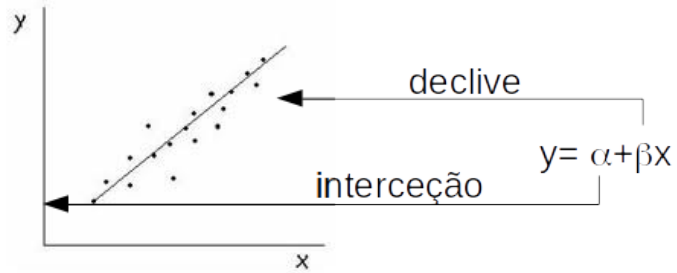
$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

Ex:  $y$  = sobrevivência, nº de ovos, etc.  
 $x_1$  = fenótipo teste 1 : peso  
 $x_2$  = fenótipo teste 2 : altura



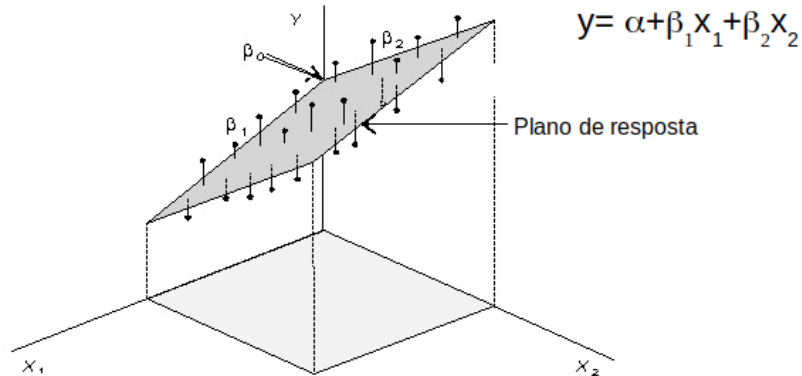
## Evolução em fenótipos correlacionados

Regressão linear



Ex:  $y$  = sobrevivência, nº de ovos, etc.  
 $x_1$  = fenótipo teste 1 : peso  
 $x_2$  = fenótipo teste 2 : altura

Regressão linear múltipla





## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Lande & Arnold (1983) *Evolution*.





## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Lande & Arnold (1983) *Evolution*.

Lago Michigan



Amostra de 94 indivíduos

39 vivos



55 mortos

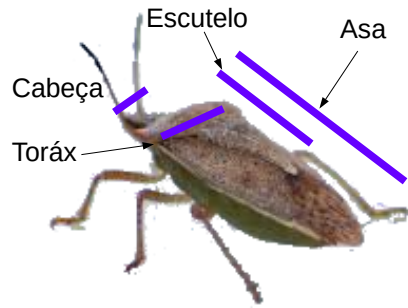




## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Lago Michigan



Amostra de 94 indivíduos

39 vivos



55 mortos

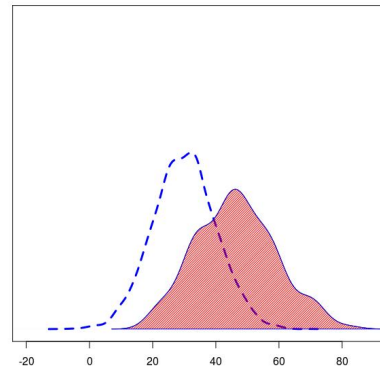
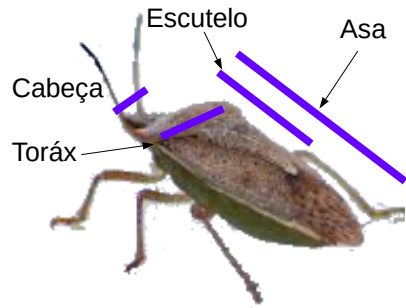




## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Lago Michigan



Amostra de 94 indivíduos

39 vivos



55 mortos

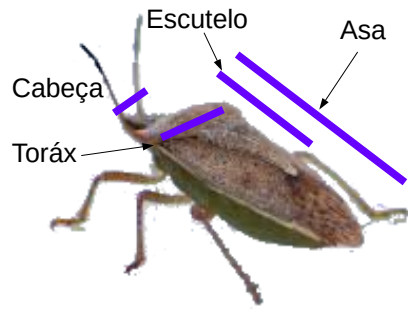




## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Character	Selection Differential	Phenotypic Correlations			
		H	T	S	F
$z_i$	$S_i$				
Head (H)	-0.11	1.00	0.72	0.50	0.60
Thorax (T)	-0.06		1.00	0.59	0.71
Scutellum (S)	-0.28*			1.00	0.62
Forewing (F)	-0.43**				1.00

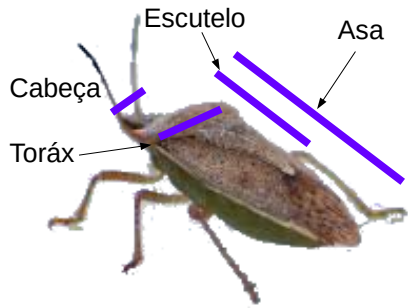
- Seleção direcional aparentemente forte na dimensão do escutelo e da asa



## Evolução em fenótipos correlacionados

### Como detectar/medir seleção em fenótipos correlacionados?

*Euschistus variolarius*



Character	Selection Differential	Partial Regression Coef. of Fitness	Phenotypic Correlations			
			H	T	S	F
$z_i$	$S_i$	$b_i$				
Head (H)	-0.11	-0.7	1.00	0.72	0.50	0.60
Thorax (T)	-0.06	11.6**		1.00	0.59	0.71
Scutellum (S)	-0.28*	-2.8			1.00	0.62
Forewing (F)	-0.43**	-16.6**				1.00

- Seleção direcional aparentemente forte no comprimento do escutelo e da asa.
- Seleção direta no torax, “disfarçada” por seleção na asa em sentido oposto.
- Seleção na asa + correlação positiva com o escutelo levará ao aumento da dimensão do escutelo



## Questões

