

# GENÉTICA QUANTITATIVA I

Herança Mendeliana x herança poligênica

Interações gênicas (alélicas)

Ação aditiva

Ação dominante

Ação sobredominante

Heterose



## Caracteres:

- => atributos de um organismo (planta, animal, microorganismo) submetidos a seleção;
- => representam componentes do fenótipo global do indivíduo e a seleção pode ser aplicada em um único caráter ou em vários simultaneamente.
- => Ex: cor da flor; altura da planta; produção de grãos; comprimento da espiga; etc...

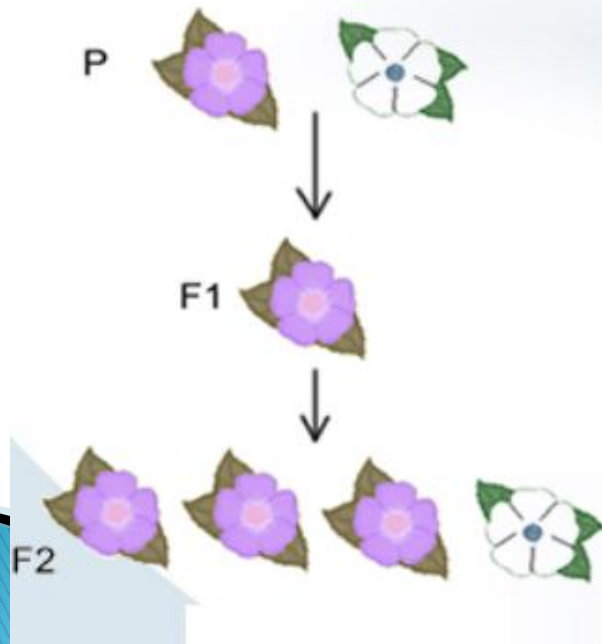
# Tipos de caracteres:

**Caracteres qualitativos**

**Caracteres quantitativos**

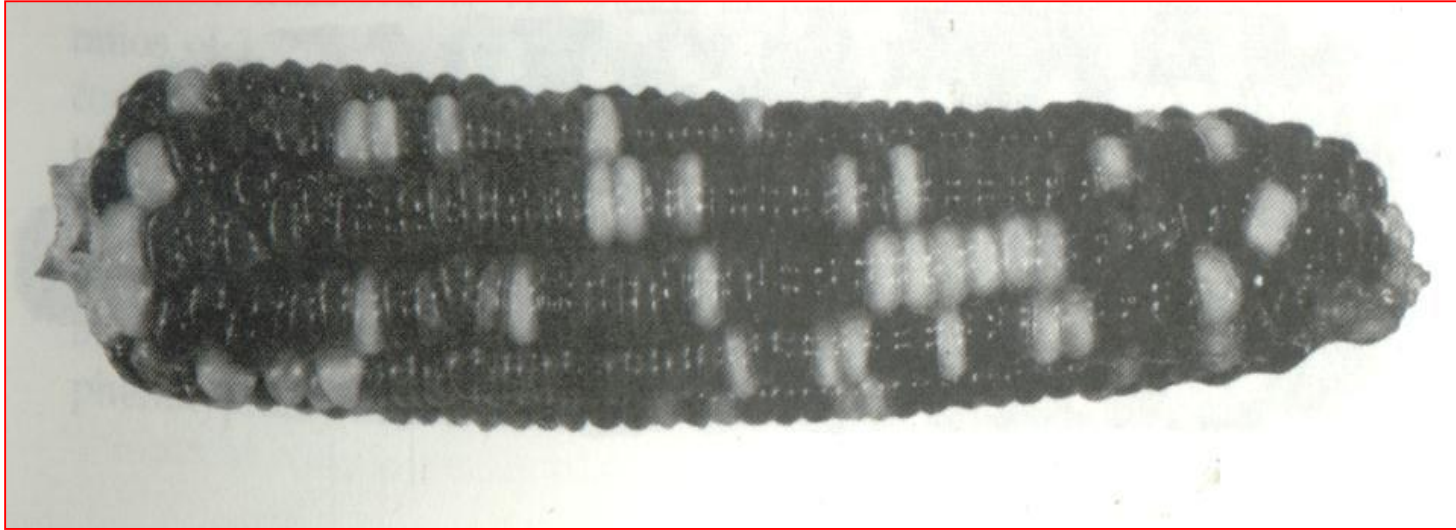
→ Caracteres qualitativos: herança simples, controlados por poucos genes, de fácil avaliação visual, pequena influência do ambiente.

-> Segregações conhecidas: 3:1, 1:2:1, 9:3:3:1, para 1 ou 2 locos, respectivamente.





		pollen ♂	
		B	b
pistil ♀	B	BB	Bb
	b	Bb	bb

# Ex: segregação 3:1 para cor do grão do milho



## Caracteres qualitativos avaliados por Mendel

FLOWER COLOR	 Purple	 White
FLOWER POSITION	 Axial	 Terminal
SEED COLOR	 Yellow	 Green
SEED SHAPE	 Round	 Wrinkled
POD SHAPE	 Inflated	 Constricted
POD COLOR	 Green	 Yellow
STEM LENGTH	 Tall	 Dwarf

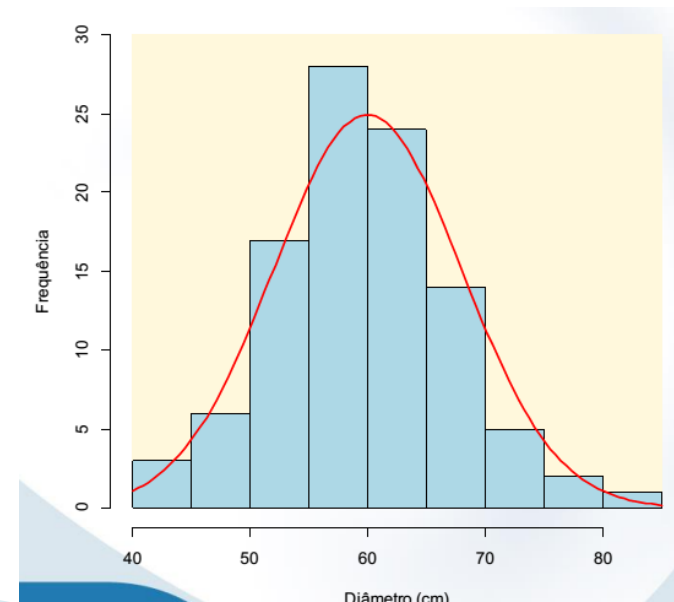
→ Caracteres quantitativos: também denominados de caracteres poligênicos; herança complexa, controlados por muitos genes, a avaliação depende de mensurações quantitativas (pesos, volumes, medidas: kg, m, cm, g, m<sup>2</sup>, etc...).

→ São muito influenciados pelo ambiente

Porque??

Como cada loco (gene) é influenciado pelo ambiente, e como são muitos os genes controlando esses caracteres, a influência total do ambiente é alta.

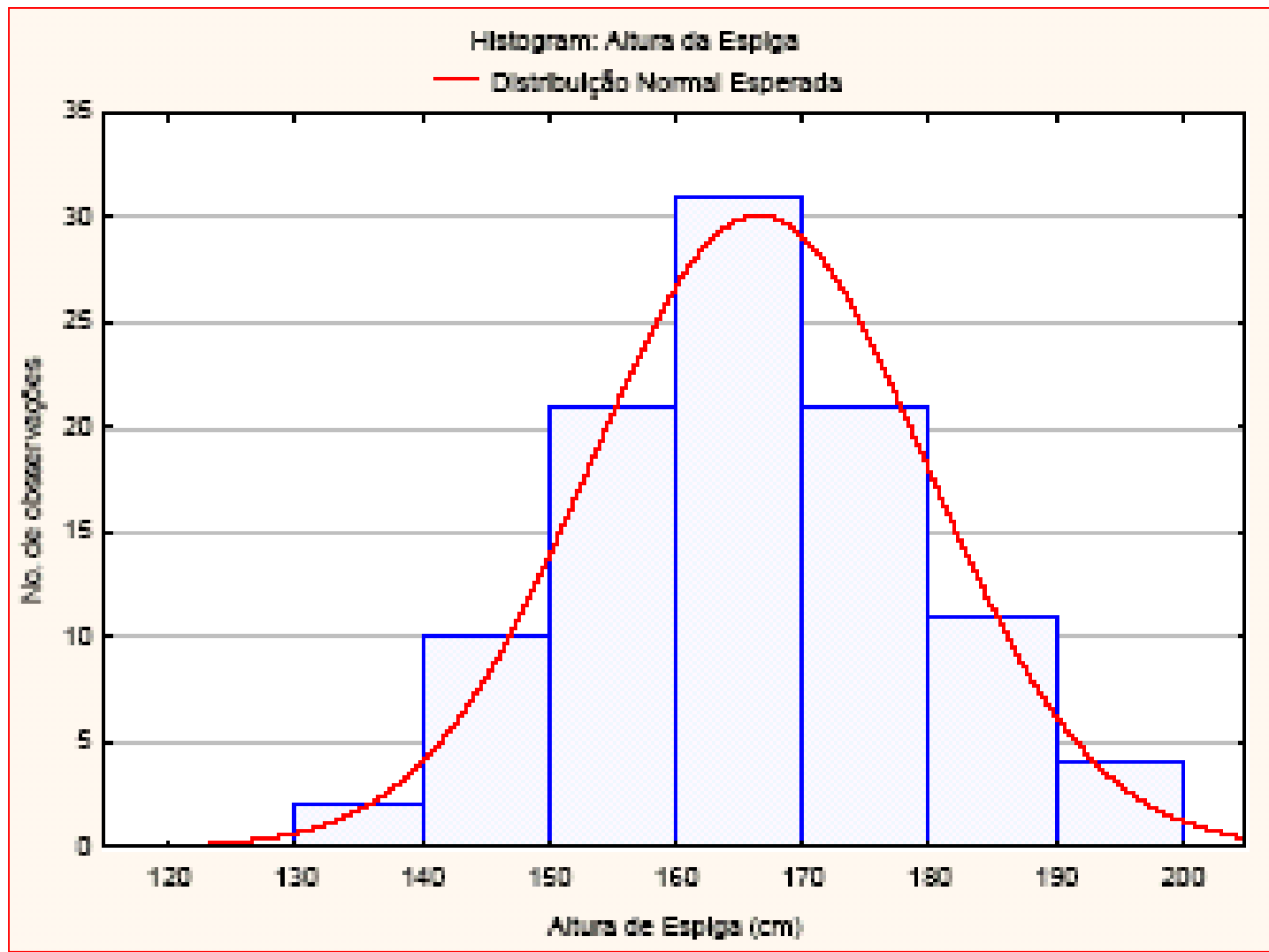
- > Devido à segregação de um grande número de genes, não há possibilidade de serem classificados em grupos fenotípicos distintos.
- > Portanto, caracteres quantitativos apresentam variação contínua e se ajustam a uma curva de distribuição normal.

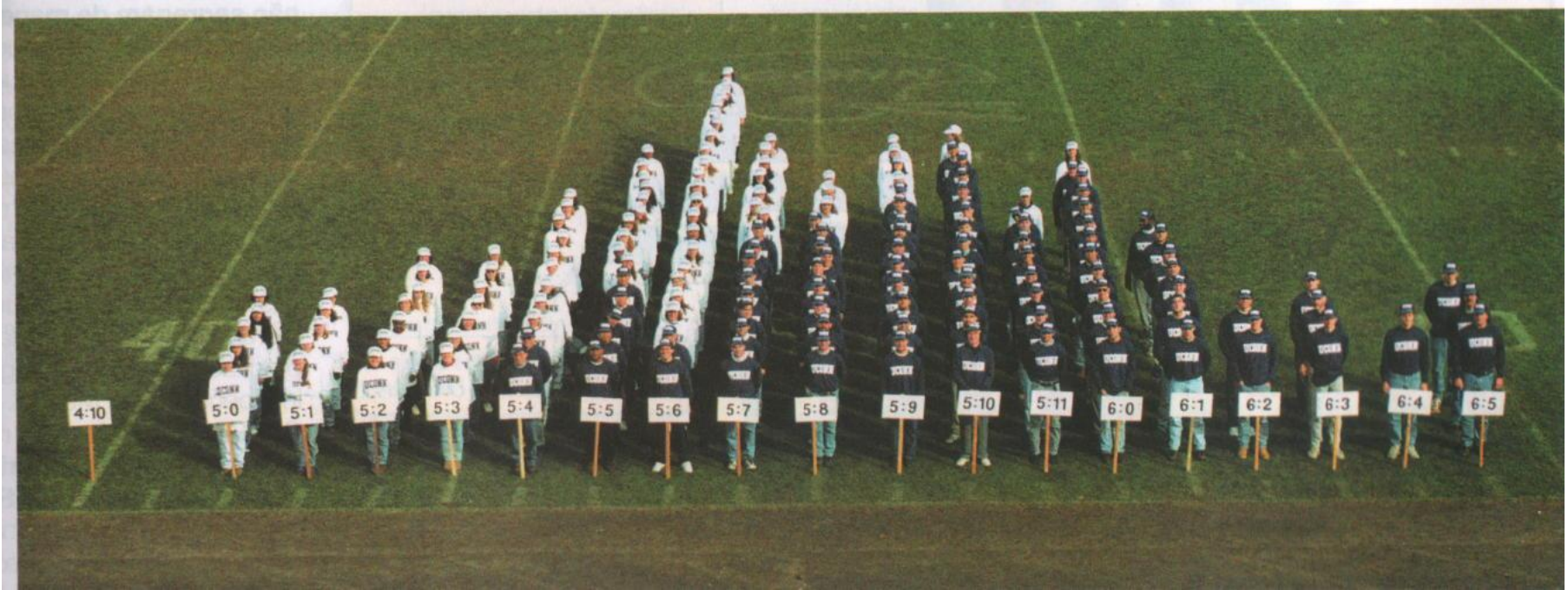


## Ex: altura da espiga de 100 plantas F2 de milho

154	174	160	194	158
191	156	160	181	156
152	162	156	135	169
145	158	162	172	161
156	169	156	162	184
166	168	166	176	180
169	160	174	179	164
144	165	180	145	150
172	175	164	174	180
154	171	159	154	165
190	182	190	194	179
175	146	186	174	168
140	184	148	165	161
170	164	162	175	160
144	148	195	164	161
171	164	180	168	172
167	151	184	171	154
159	169	170	146	160
165	148	166	165	168
155	190	189	178	186

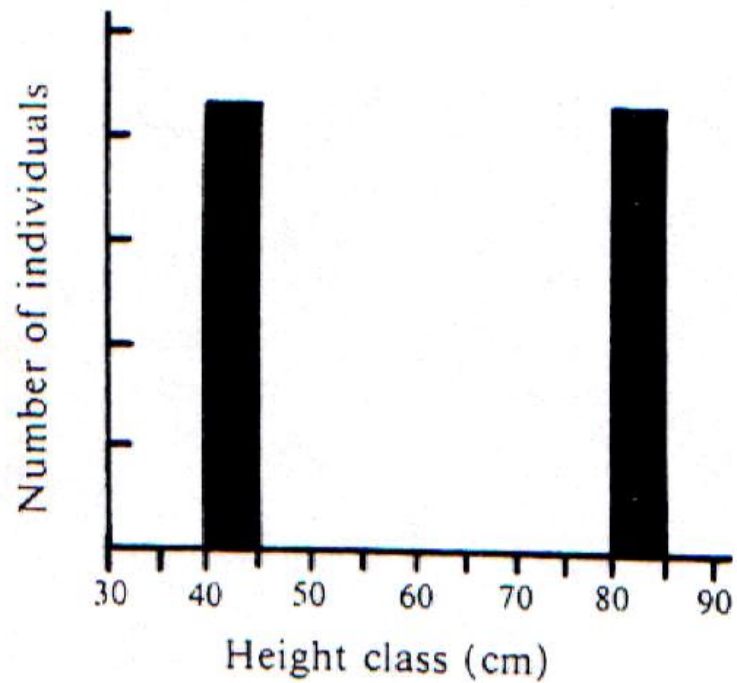




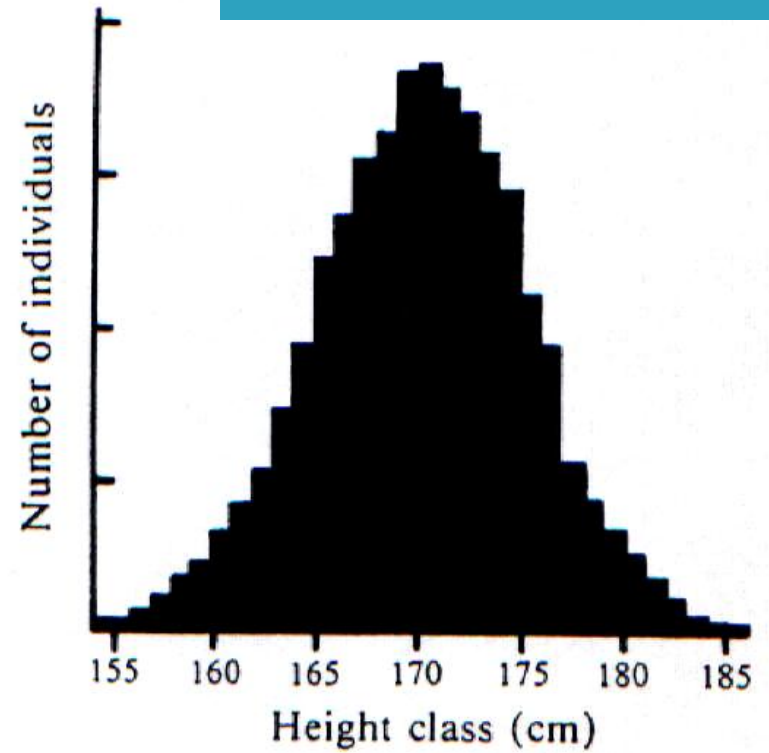


Diferenças na altura na mesma população, de mulheres (branco) e homens (preto)

(a) Carácter descontinuo



(b) Carácter continuo



# Distinção entre caracteres qualitativos e quantitativos

<b>Caracteres qualitativos</b>	<b>Caracteres quantitativos</b>
➤ Controlados por um ou poucos genes de efeitos pronunciados	➤ Controlados por muitos genes de efeitos menores e cumulativos
➤ Têm distribuição discreta em uma geração segregante, isto é, os indivíduos podem ser agrupados em classes fenotípicas distintas	➤ Têm distribuição contínua em uma geração segregante. Medidas individuais podem ter qualquer valor dentro da amplitude de variação
➤ São pouco influenciados pela variação do ambiente	➤ Geralmente são muito influenciados pelo ambiente
➤ A variação genética é explicável pelas leis mendelianas	➤ A variação é explicável por meio de parâmetros estatísticos

## Qualitativos

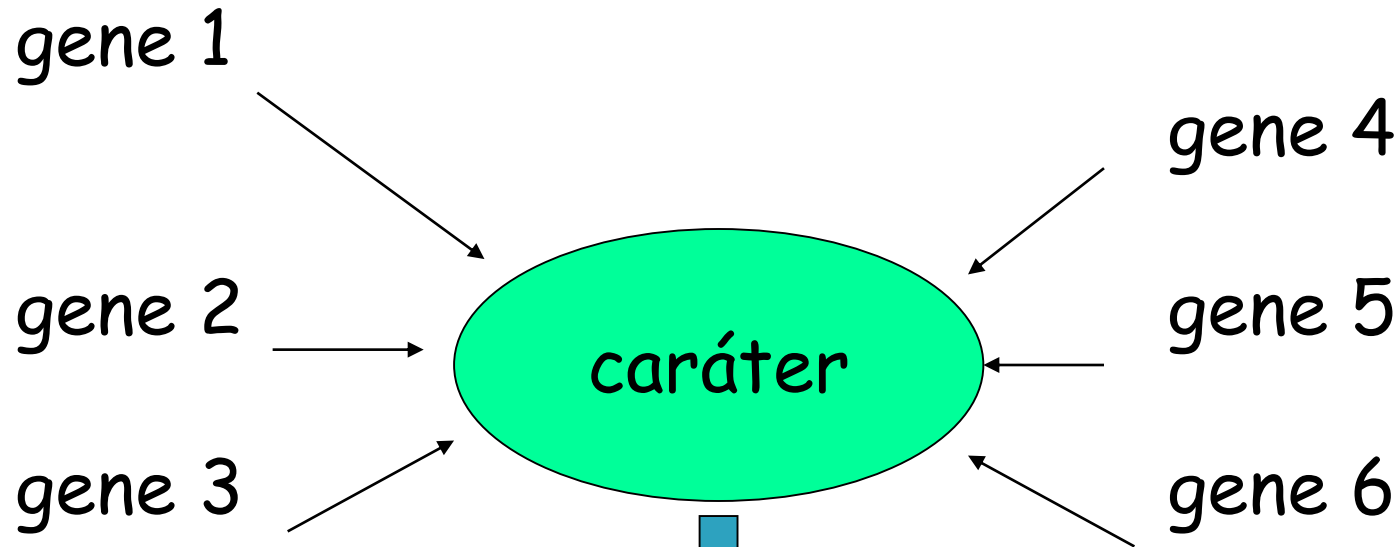
## Quantitativos

Exemplos	Exemplos
◆ cor da flor	◆ produção de grãos
◆ cor dos grãos	◆ produção de açúcar
◆ cor da pelagem	◆ produção de látex
◆ nanismo ou braquismo	◆ produção de forragem
◆ crescimento determinado	◆ altura da planta
◆ caráter opaco em milho	◆ comprimento da espiga
◆ textura da semente de ervilha (lisa vs enrugada)	◆ nº de ramificações do pendão
◆ resistência vertical	◆ resistência horizontal

## Número de genes, genótipos e fenótipos (com dominância completa)

Número de pares de alelos	Número de genótipos	Número de fenótipos
1 (A, a)	3	2
2 (A, a; B, b)	9	4
:	:	:
n	$3^n$	$2^n$
Ex: n = 20	3.486.784.401	1.048.576

# Número de genes e genótipos:

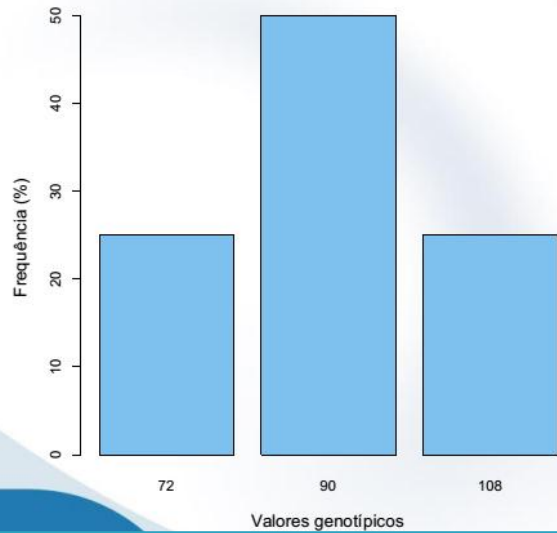


número grande de genótipos

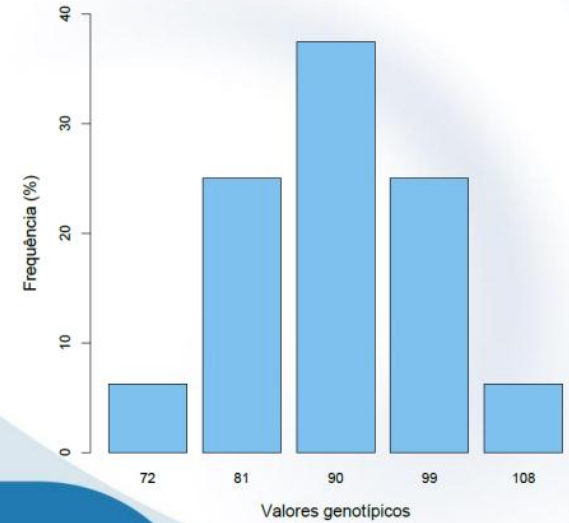
número grande de fenótipos

certas dificuldades para o melhoramento

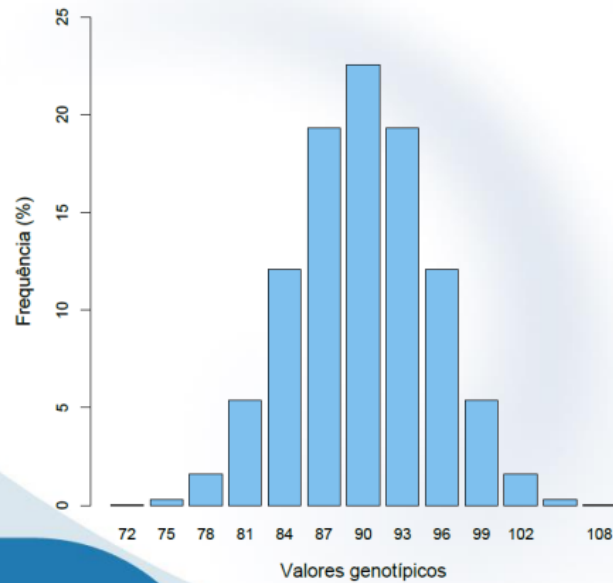
- Um gene



- Dois genes



- Seis genes



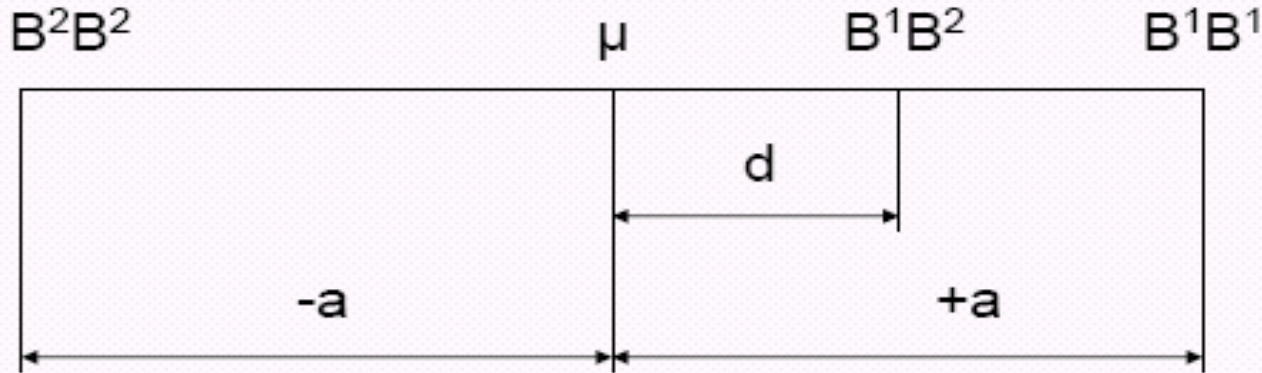


=> A **variação contínua** de um **caráter quantitativo** é devida ao **grande número de genótipos** e à **influência do ambiente** na expressão fenotípica.

=> É preciso se trabalhar com **populações grandes** e usar **parâmetros estatísticos** para lidar com caracteres quantitativos.

=> Objetivos vão sendo alcançados gradativamente => através do acúmulo dos poucos genes favoráveis nos indivíduos nas diferentes gerações.

# TIPOS DE AÇÃO GÊNICA



• Interação aditiva:

$$d/a = 0$$

• Interação dominante:

$$d/a = 1$$

• Interação sobredominante

$$d/a > 1$$

• Interação dominância parcial

$$0 < d/a < 1$$

## 1) Interação aditiva

Ausência de dominância => *cada alelo contribui com um pequeno efeito fenotípico, que é somado aos efeitos dos demais alelos para produzirem o efeito total (fenótipo).*

Ex: Dois genes A e B ( $A_1 = B_1 = 30$  unidades)  
( $A_2 = B_2 = 5$  unidades)

Os efeitos dos alelos são somados:

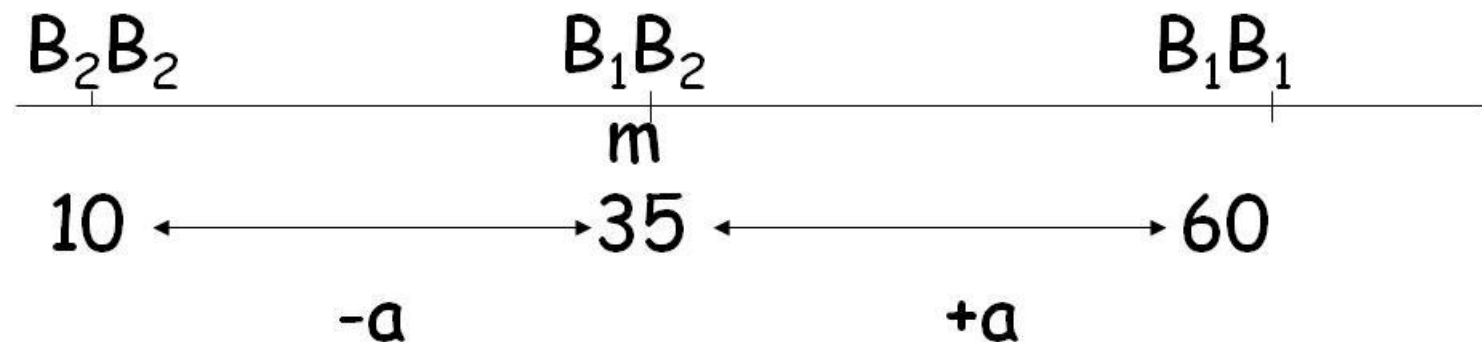
$$A_1A_1B_1B_1 = 30 + 30 + 30 + 30 = 120 \text{ unidades}$$

$$A_2A_2B_2B_2 = 5 + 5 + 5 + 5 = 20 \text{ unidades}$$

a) Média de  $F_1$ :

A média da geração  $F_1$  é igual à média dos pais:

$$F_1 = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{120 + 20}{2} = 70 \text{ unidades}$$



Neste caso,  $d = 0 \rightarrow d/a = 0$  (ação aditiva)

b) Média de  $F_2$ :  $F_2 = F_1$

**Quadro 11.4**

Genótipos da  $F_2$  com respectivas freqüências e valores fenotípicos, assumindo interação alélica aditiva

Genótipos	Freqüência (Fe)	Valor fenotípico (F)	Fe . F
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	1/16	120	7,500
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	2/16	95	11,875
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>2</sup> B <sup>2</sup>	1/16	70	4,375
A <sup>1</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	2/16	95	11,876
A <sup>1</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	4/16	70	17,500
A <sup>1</sup> A <sup>2</sup> B <sup>2</sup> B <sup>2</sup>	2/16	45	5,625
A <sup>2</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	1/16	70	4,375
A <sup>2</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	2/16	45	5,625
A <sup>2</sup> A <sup>2</sup> B <sup>2</sup> B <sup>2</sup>	1/16	20	1,250

Média da  $F_2 = 70,000$

c) Média das progênies = média dos pais  
(ou do grupo)

Se forem selecionados da geração F<sub>2</sub>, somente os indivíduos com valor fenotípico acima de 95 unidades, isto é: 1 A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub> (120); 2 A<sub>1</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>2</sub> (95); 2 A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub> (95),

=> a média dos três genótipos selecionados e de seus descendentes é a mesma = 100 unidades.

Quadro 11.6

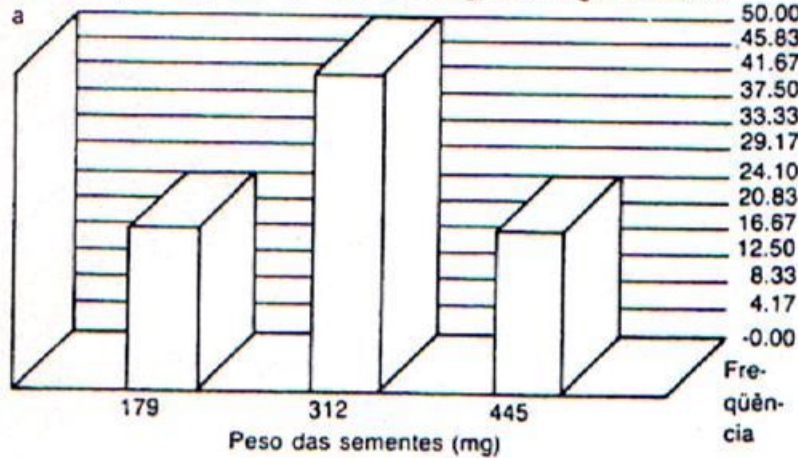
Genótipos dos descendentes obtidos pelo inter cruzamento dos indivíduos 1 A<sup>1</sup>A<sup>1</sup>B<sup>1</sup>B<sup>1</sup>,  
2 A<sup>1</sup>A<sup>1</sup>B<sup>1</sup>B<sup>2</sup>, 2 A<sup>1</sup>A<sup>2</sup>B<sup>1</sup>B<sup>1</sup>, com respectivas freqüências e valores fenotípicos,  
assumindo interação alélica aditiva

Genótipos	Freqüência (Fe)	Valor fenotípico (F)	Fe . F
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	9/25	120	43,2
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	6/25	95	22,8
A <sup>1</sup> A <sup>1</sup> B <sup>2</sup> B <sup>2</sup>	1/25	70	2,8
A <sup>1</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	6/25	95	22,8
A <sup>1</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	2/25	70	5,6
A <sup>2</sup> A <sup>2</sup> B <sup>1</sup> B <sup>1</sup>	1/25	70	2,8
			m = 100,0

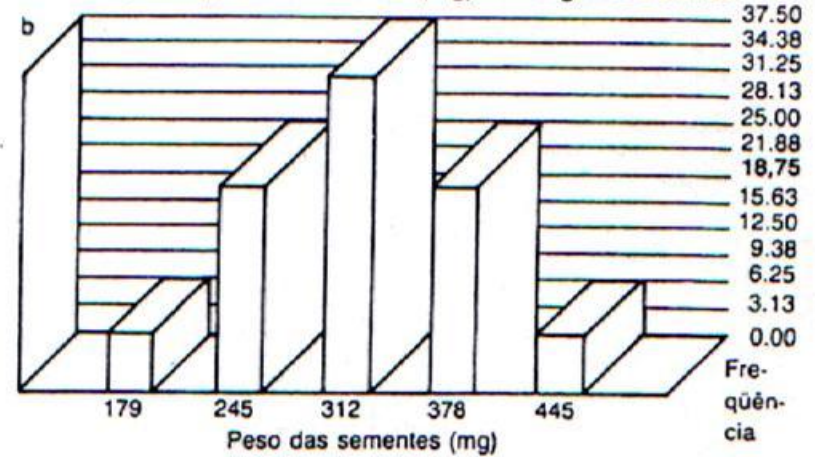
Interesse  
para a  
seleção

# d) Distribuição de $F_2$ → simétrica

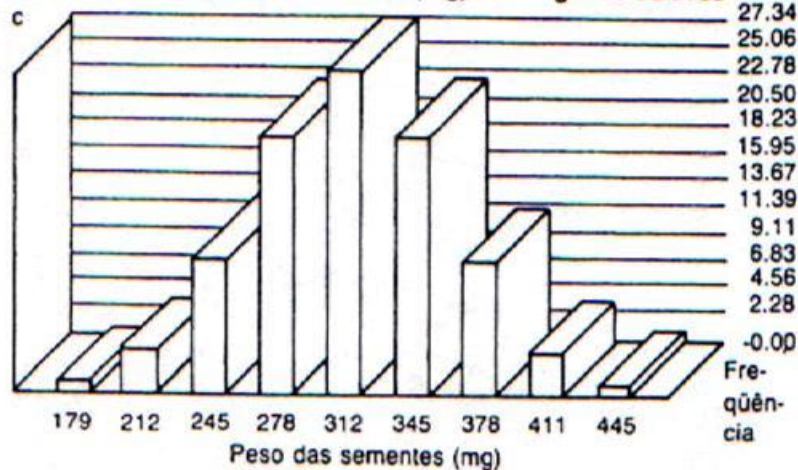
Distribuição do peso de semente (mg) com 1 gene aditivo



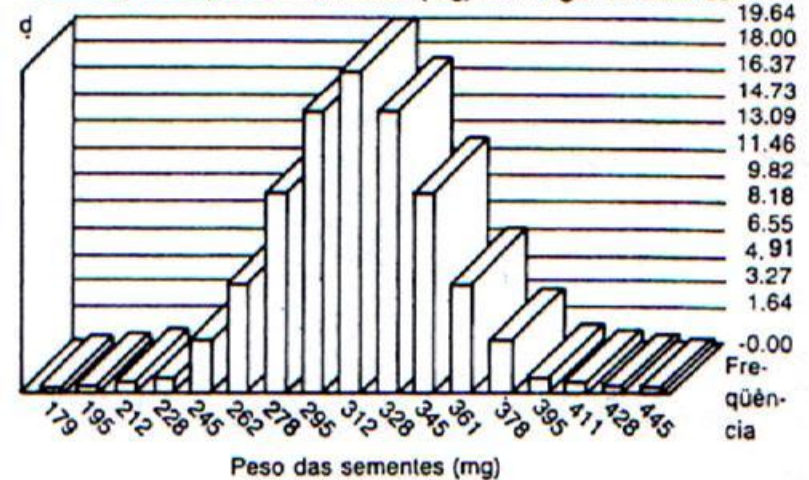
Distribuição do peso de semente (mg) com 2 genes aditivos



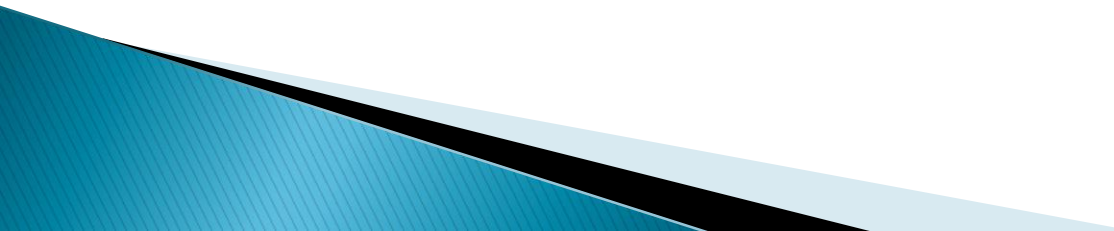
Distribuição do peso de semente (mg) com 4 genes aditivos



Distribuição do peso de semente (mg) com 8 genes aditivos



*Importância para o Melhoramento => se a interação é aditiva a seleção é facilitada => um grupo de indivíduos superiores, quando selecionados, produzirão uma descendência também superior.*





## GENÉTICA QUANTITATIVA

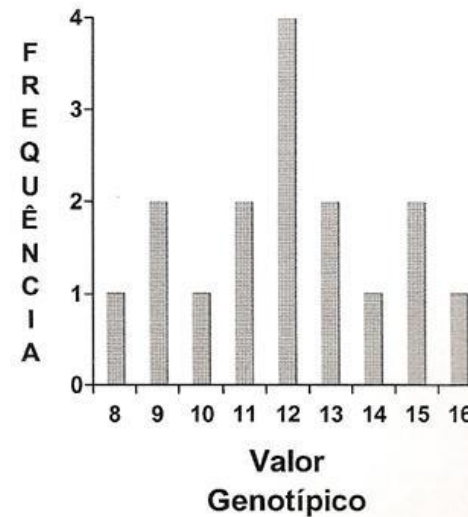
### - QUADRO 2: Interação Aditiva

A = 2      a = 1  
B = 6      b = 3

(P1) aabb    ×    AABB (P2)  
      8                ↓                16  
F1:            AaBb  
                  12

F2:

Genótipo	F	Valor Genotípico
AABB	1	16
AaBB	2	15
aaBB	1	14
AABb	2	13
AaBb	4	12
aaBb	2	11
AAbb	1	10
Aabb	2	9
aabb	1	8
$\overline{F_2} = 12$		



b) Ação aditiva

$$F_1 = \frac{P_1 + P_2}{2} \text{ e } \overline{F_2} = \overline{F_1}$$

## 2. Interação dominante

⇒ Desempenho de cada loco e não de cada alelo.

$AA = Aa = BB = Bb = 60$  unidades  
 $aa = bb = 10$  unidades.

### a) Média de F1:

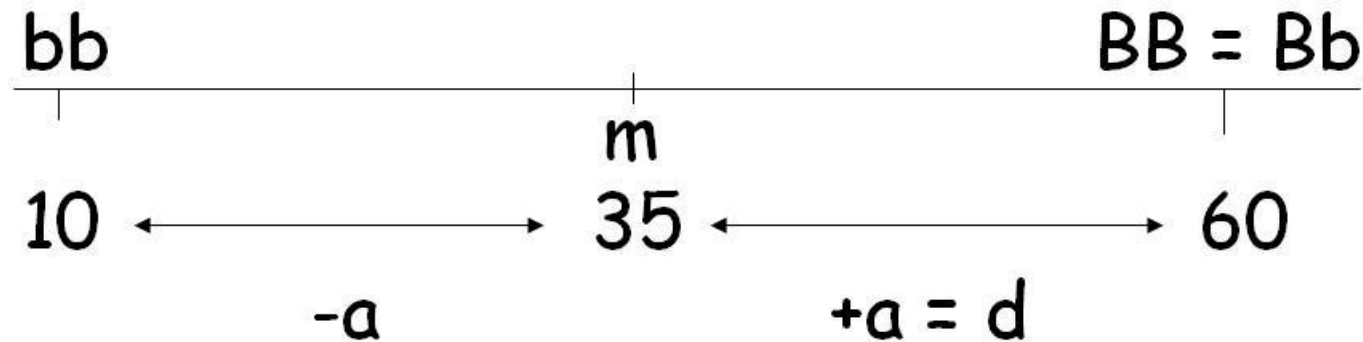
P: Genótipos: (P1)  $AABB$  ×  $aabb$  (P2)  
Fenótipos: 120 20

F1: Genótipo:  $AaBb$   
Fenótipo: 120 unidades

A média do  $F_1$  pode ser igual ao valor de um dos pais:

Se os pais são muito diferentes:  $F_1 = P$  maior

Se os pais são muito semelhantes:  $F_1 > P$  maior  
Portanto,  $F_1 \geq P$  maior



$a = d \rightarrow$  relação  $d/a = 1 \rightarrow$  dominância completa

b) Média do  $F_2$ :  $<$  média do  $F_1$  ( $F_1 = 120$ )

**Quadro 11.7**

Genótipos da  $F_2$  com respectivas freqüências e valores fenotípicos, assumindo interação alélica de dominância

Genótipos	Freqüência ( $F_e$ )	Valor fenotípico (F)	$F_e \cdot F$
AABB	1/16	120	7,500
AABb	2/16	120	15,000
AAbb	1/16	70	4,375
AaBB	2/16	120	15,000
AaBb	4/16	120	30,000
Aabb	2/16	70	8,750
aaBB	1/16	70	4,375
aaBb	2/16	70	8,750
aabb	1/16	20	1,250

$\bar{m} = \bar{F}_2 = 95,000$

### c) Média das progênies:

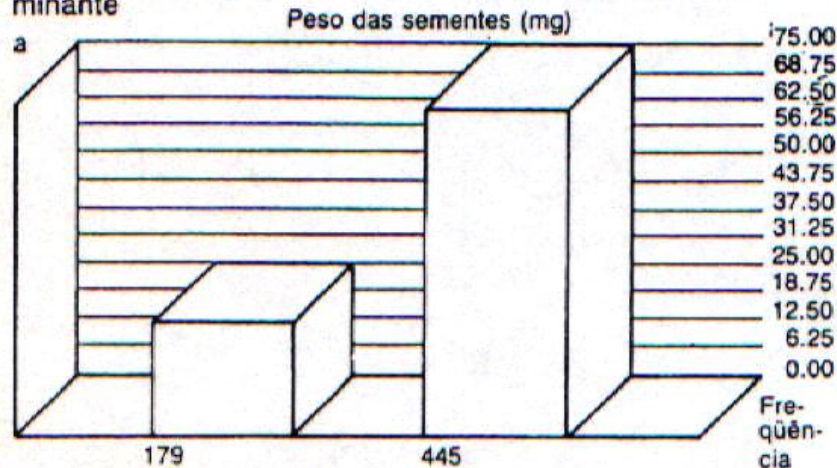
Na interação alélica dominante, a seleção de indivíduos superiores não leva, necessariamente, à produção de uma descendência semelhante ao indivíduo selecionado.

Ex: Seleção do indivíduo  $AaBB$  (120 unidades)  
 $AaBB \times AaBB$

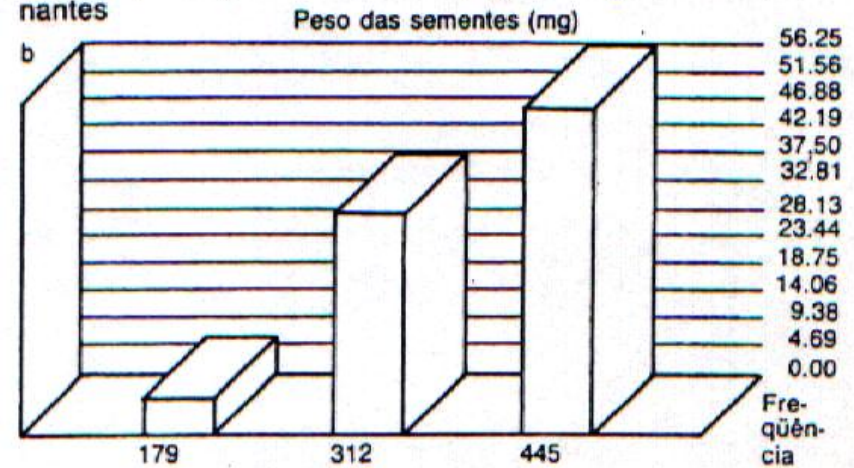
$\frac{1}{4} AaBB$ :  $\frac{2}{4} AaBB$ :  $\frac{1}{4} aaBB \Rightarrow$  média = 107,5 un.

# a) Distribuição do $F_2 \rightarrow$ tende a ser assimétrica

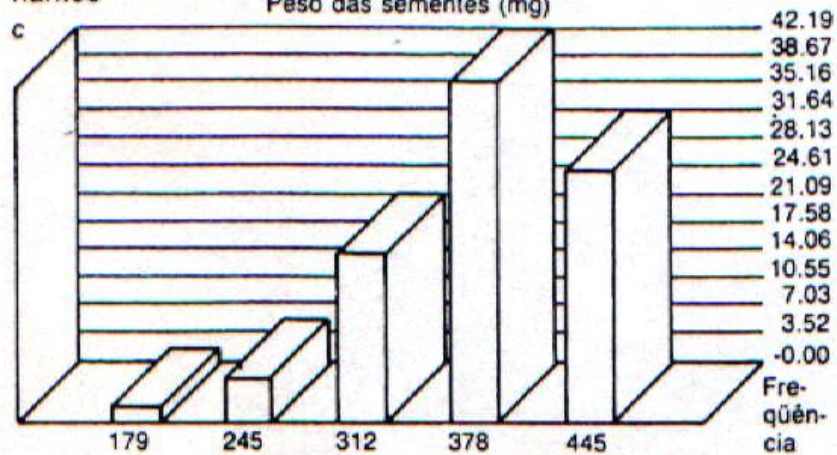
Distribuição do peso de semente (mg) com 1 gene dominante



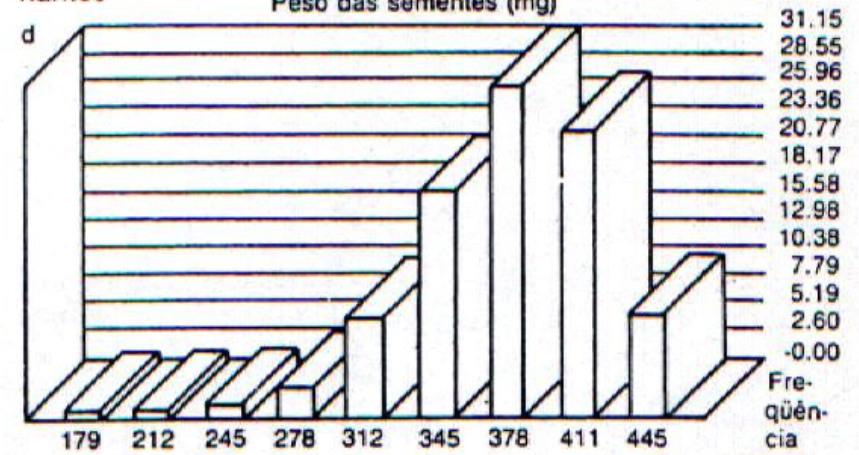
Distribuição do peso de semente (mg) com 2 genes dominantes



Distribuição do peso de semente (mg) com 4 genes dominantes



Distribuição do peso de semente (mg) com 8 genes dominantes



# GENÉTICA QUANTITATIVA

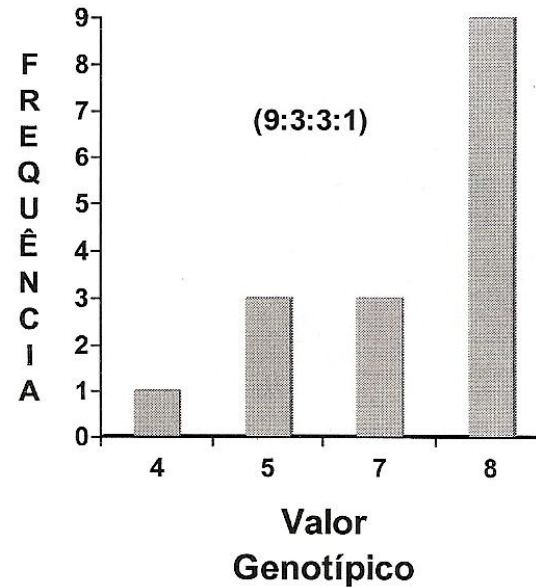
## - QUADRO 1: Interação Dominante

$$\begin{array}{ll} A\_ = 2 & aa = 1 \\ B\_ = 6 & bb = 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} (P1) aabb & \times & AABB (P2) \\ & & \downarrow \\ & & 8 \\ F1: & & AaBb \\ & & 8 \end{array}$$

F2:

Genótipo	F	Valor Genotípico
AABB	1	8
AaBB	2	8
aaBB	1	7
AABb	2	8
AaBb	4	8
aaBb	2	7
AAbb	1	5
Aabb	2	5
aabb	1	4
<hr/>		
$\overline{F2} = 7$		



a) Dominância

$$F_1 = P_1 \text{ e } \overline{F}_2 < \overline{F}_1$$

### 3) Interação sobredominante:

#### a) Média de F<sub>1</sub>:

O heterozigoto é superior à média dos pais ( $F_1 > P$ )

Ex: AA = BB = 60 unidades

aa = bb = 10 unidades

Aa = Bb = 80 unidades

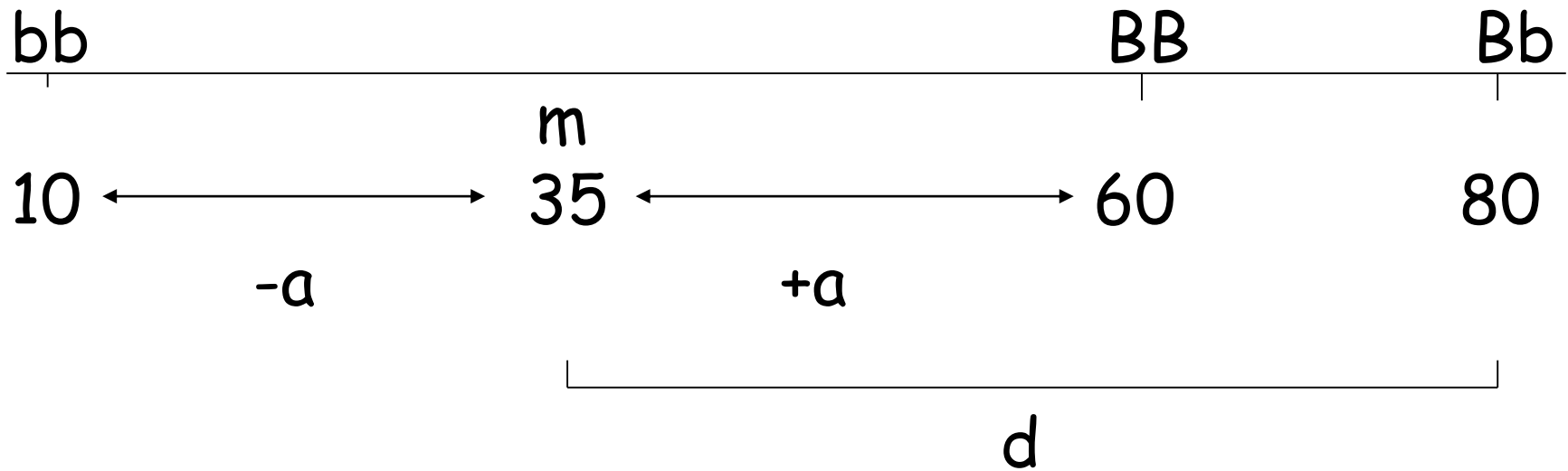
(P<sub>1</sub>) AABB x aabb (P<sub>2</sub>)

(120)                      (20)



(F<sub>1</sub>) AaBb  
(160)





$$d > a \rightarrow d/a > 1$$

$$d/a = 45/25 = 1,8 \rightarrow \text{sobredominância}$$

b) Média de  $F_2$ :  $F_2 < F_1$

c) Média das progênes:

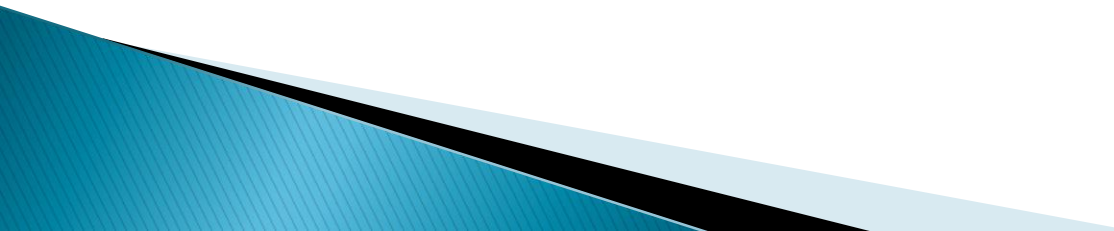
Pais Homozigotos  $\rightarrow$  média maior que a dos pais

Heterozigotos  $\rightarrow$  média menor que a dos pais

d) Distribuição de  $F_2$ : tende a ser assimétrica



# Caracterizando a Herança Poligênica:

- a) A segregação ocorre para um grande  $n^{\circ}$  de genes que controlam o caráter
  - b) Cada gene contribui para um valor total fenotípico com uma pequena parcela
  - c) Estes genes podem apresentar ação aditiva, dominante e sobredominante
- 

# Ação Gênica Caráter Quantitativo

Na prática, é difícil distinguir se a interação alélica é dominante ou sobredominante, porque elas apresentam propriedades semelhantes.

A seleção de indivíduos superiores não é a melhor estratégia neste caso num programa de melhoramento.

O melhorista deve optar pela obtenção de híbridos.

A superioridade dos híbridos ocorre devido à *heterose*:

# Heterose

**Heterose ( $h$ ) ou vigor de híbrido** -> medida através da superioridade do híbrido em relação à média dos pais.

$$h = F1 - \frac{(P1 + P2)}{2}$$

Ex: produção de grãos

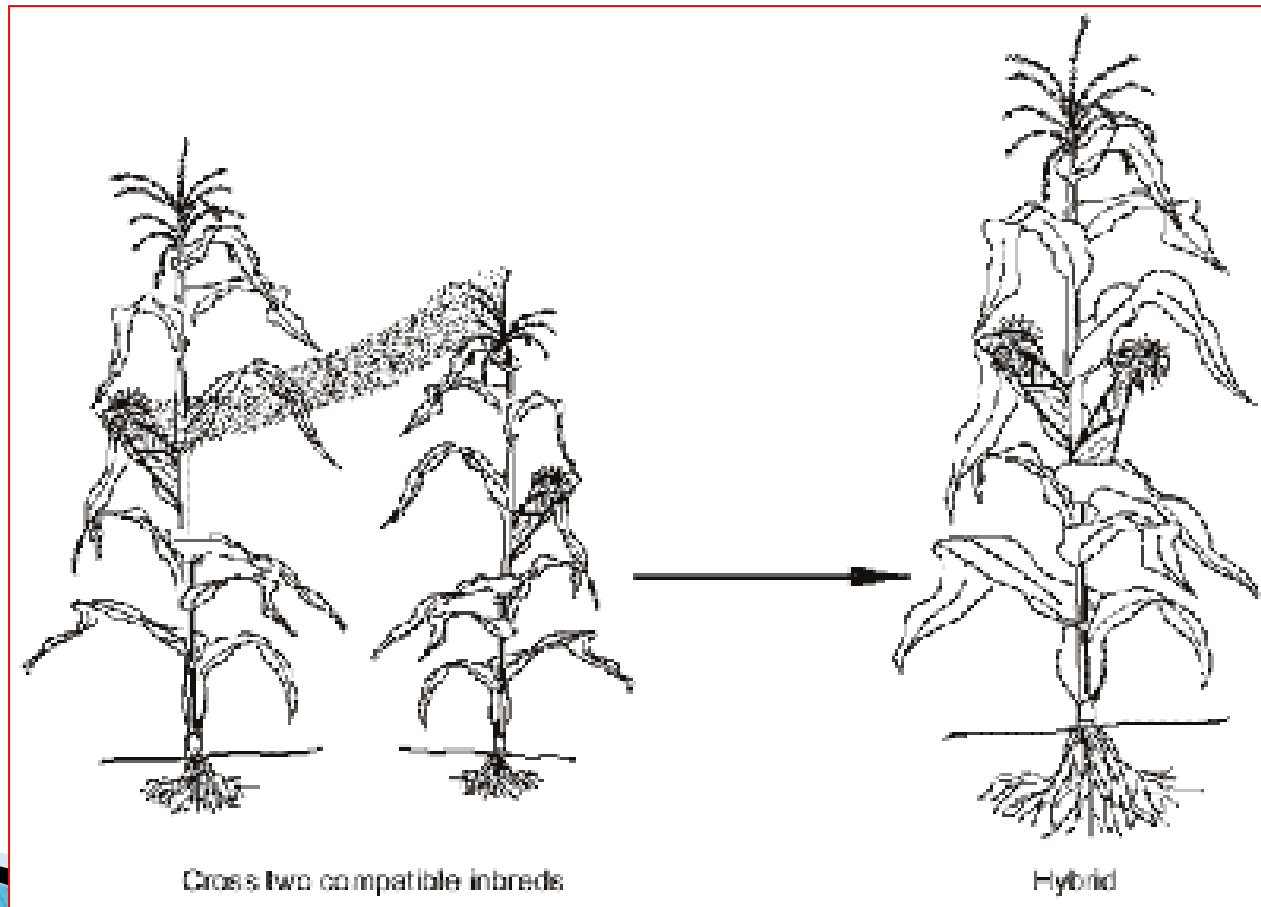
$$P1 = 1 \text{ t/ha}$$

$$P2 = 3 \text{ t/ha}$$

$$F1 = 4 \text{ t/ha}$$

$$h = 4 - \frac{(1+3)}{2} \rightarrow h = 2 \text{ t / ha}$$

=> A **heterose** é devida aos locos que apresentam algum grau de dominância, pois os locos com ação gênica essencialmente aditiva não contribuem para a heterose.



Raça A



4000 kg/ha



2000 kg/ha



1300 kg/ha



1000 kg/ha

X



HÍBRIDO  
5000 kg/ha

Raça B



4000 kg/ha



2000 kg/ha



1300 kg/ha



1000 kg/ha





Parental

Parental

Prole híbrida



Fonte: Visão Agrícola,  
nº 13, 2015  
Foto: Gustavo V. Môro

# Exemplos de heterose em animais:



X



Cavalo (Yegua)

Jumento (Macho)



Mula



Brahamann

X



Shortorn



Santa Gertrudis

## Referência 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. 12 - Genética quantitativa