# Distribuição Independente

## 2ª LEI DE MENDEL

## Interações Gênicas ou Interações não-alélicas

## Introdução:

Inicialmente Mendel estudou cruzamentos considerando apenas 1 caráter controlado por um par de alelos (Herança Monogênica)

Ex.:

P1 × P2

F1

⊗

F2

6022 : 2001

(3:1)

P1 × P2

F1

⊗

F2

5474 : 1850

(3:1)

P: semente lisa (RR) x semente enrugada (rr)

F1: Sementes lisas (Rr)

F2:

| | (1/2) R | (1/2) r |
|---|---|---|
| (1/2) R | (1/4) RR | (1/4) Rr |
| (1/2) r | (1/4) Rr | (1/4) rr |

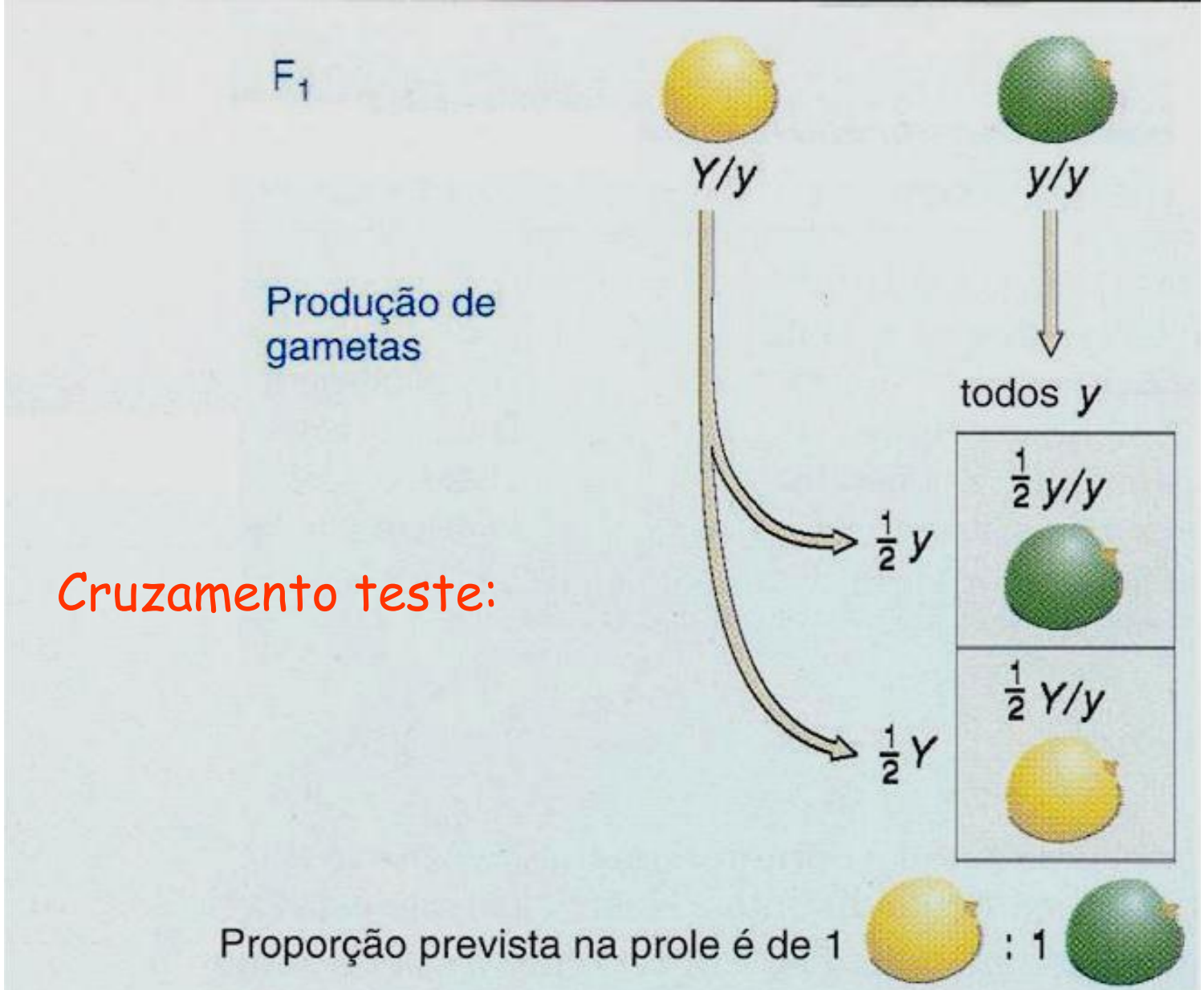
Proporção fenotípica ?

3/4 lisa : 1/4 enrugada

Proporção genotípica ?

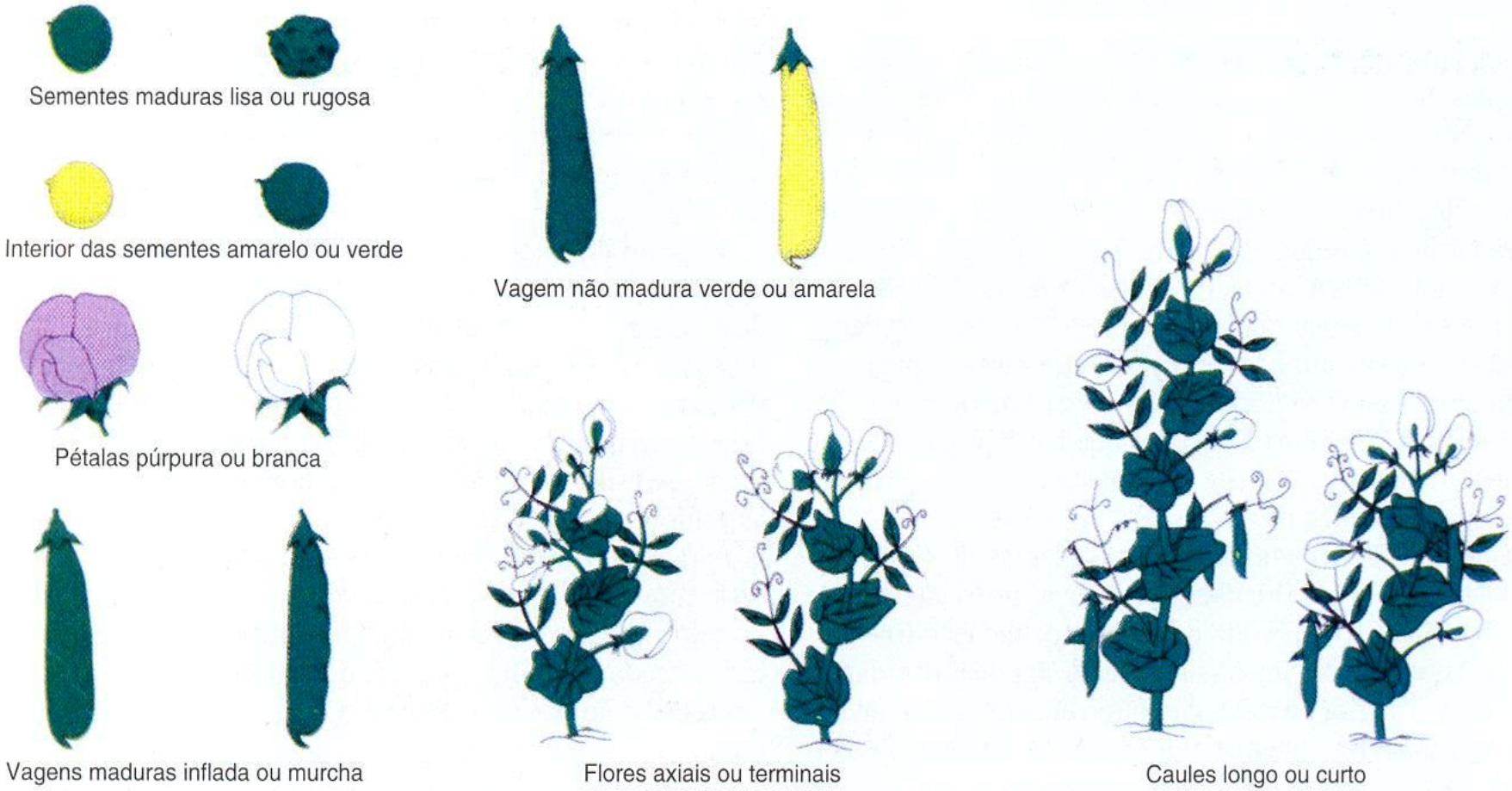
1/4 RR : 1/2 Rr : 1/4 rr

Cruzamento teste:




Uso de linhagens puras para deduzir os genótipos e a dominância e recessividade

# => Posteriormente, Mendel avaliou 2 caracteres simultaneamente




As sete diferenças de características estudadas por Mendel. (S. Singer e H. Hilgard, *The Biology of People*. Copyright © 1978 por W. H. Freeman and Company.)

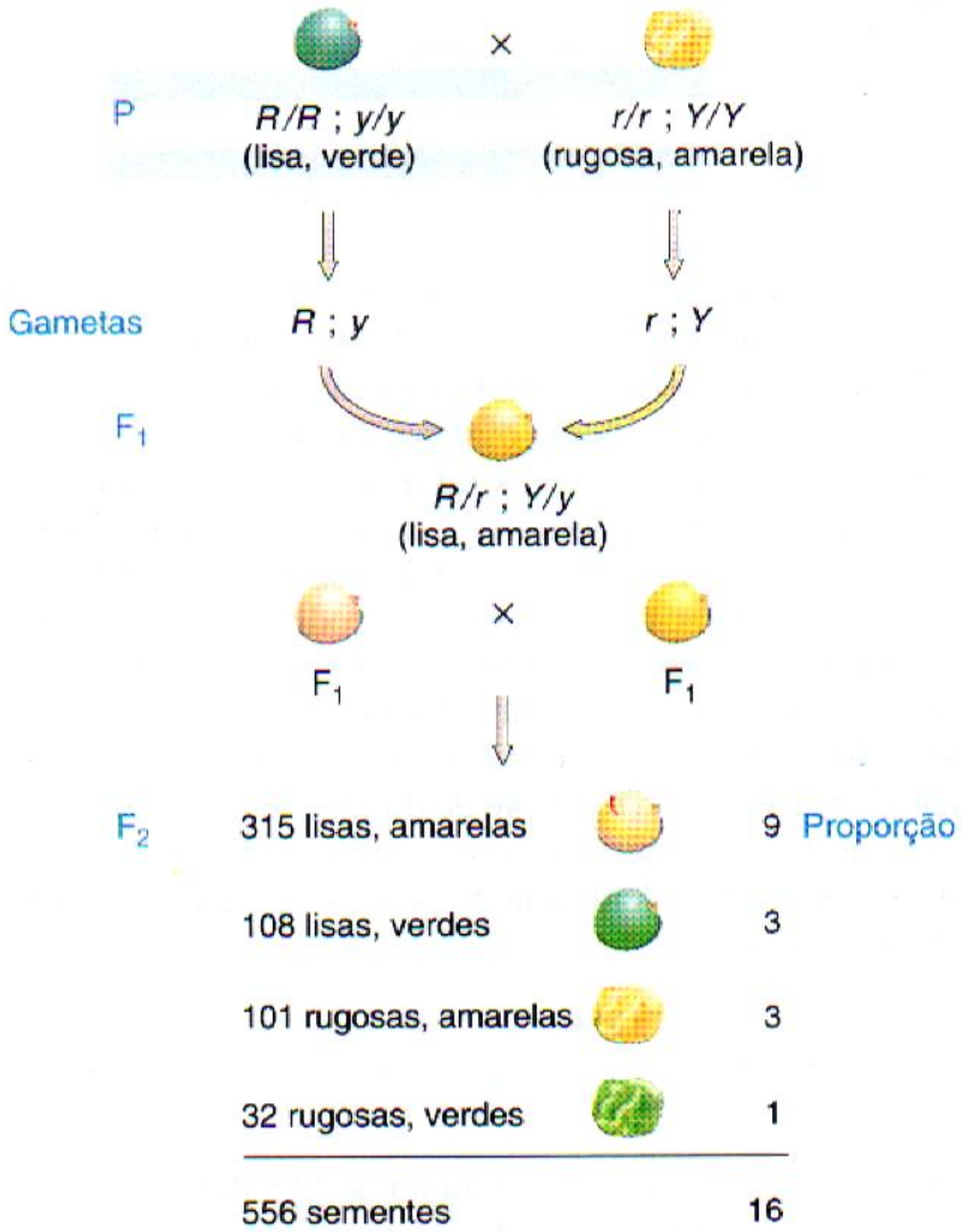



**Fig. 2.9** A geração $F_2$ resultante de um cruzamento diíbrido.

=> Como explicar o aparecimento de novas combinações na F2 (lisa-amarela e rugosa-verde)?

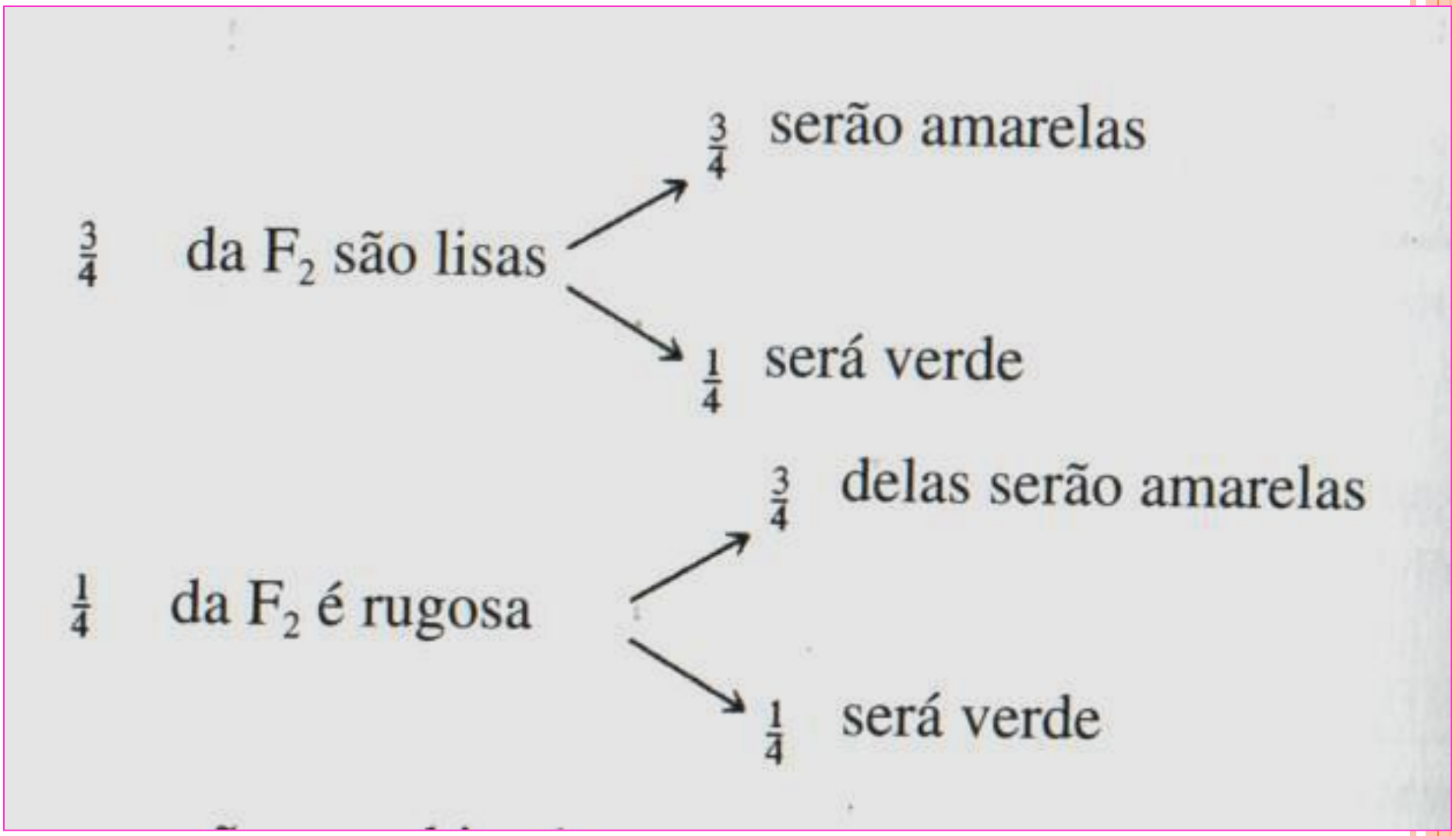
=> Em outros experimentos, com outros 2 caracteres, o resultado era semelhante (9:3:3:1) na F2

=> Mendel notou que haviam:
- 423 lisas (315 + 108)
- 133 rugosas (101 + 32)

=> Isto é próximo à proporção 3:1

=> O mesmo ocorria para cor da semente:
- 416 amarelas (315 + 101)
- 140 verdes (108 + 32) => Proporção 3:1

⇒ Mendel observou que haviam duas proporções independentes de 3:1 combinadas aleatoriamente.



$\frac{3}{4}$ da $F_2$ são lisas → $\frac{3}{4}$ serão amarelas

$\frac{3}{4}$ da $F_2$ são lisas → $\frac{1}{4}$ será verde

$\frac{1}{4}$ da $F_2$ é rugosa → $\frac{3}{4}$ delas serão amarelas

$\frac{1}{4}$ da $F_2$ é rugosa → $\frac{1}{4}$ será verde

$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$ lisas amarelas

$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ lisas verdes

$\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ rugosas amarelas

$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ rugosa verde

=> Cada caráter é, portanto, controlado por um par de genes:
(R-, rr para forma e Y-, yy para cor)

Logo:

P1 = deve ter 2 pares de genes, 1 p/ cada caráter (RRyy)

P2 = deve ter 2 pares de genes, 1 p/ cada caráter (rrYY)

F1 = deve ter 2 pares de genes, 1 p/ cada caráter (YyRr)

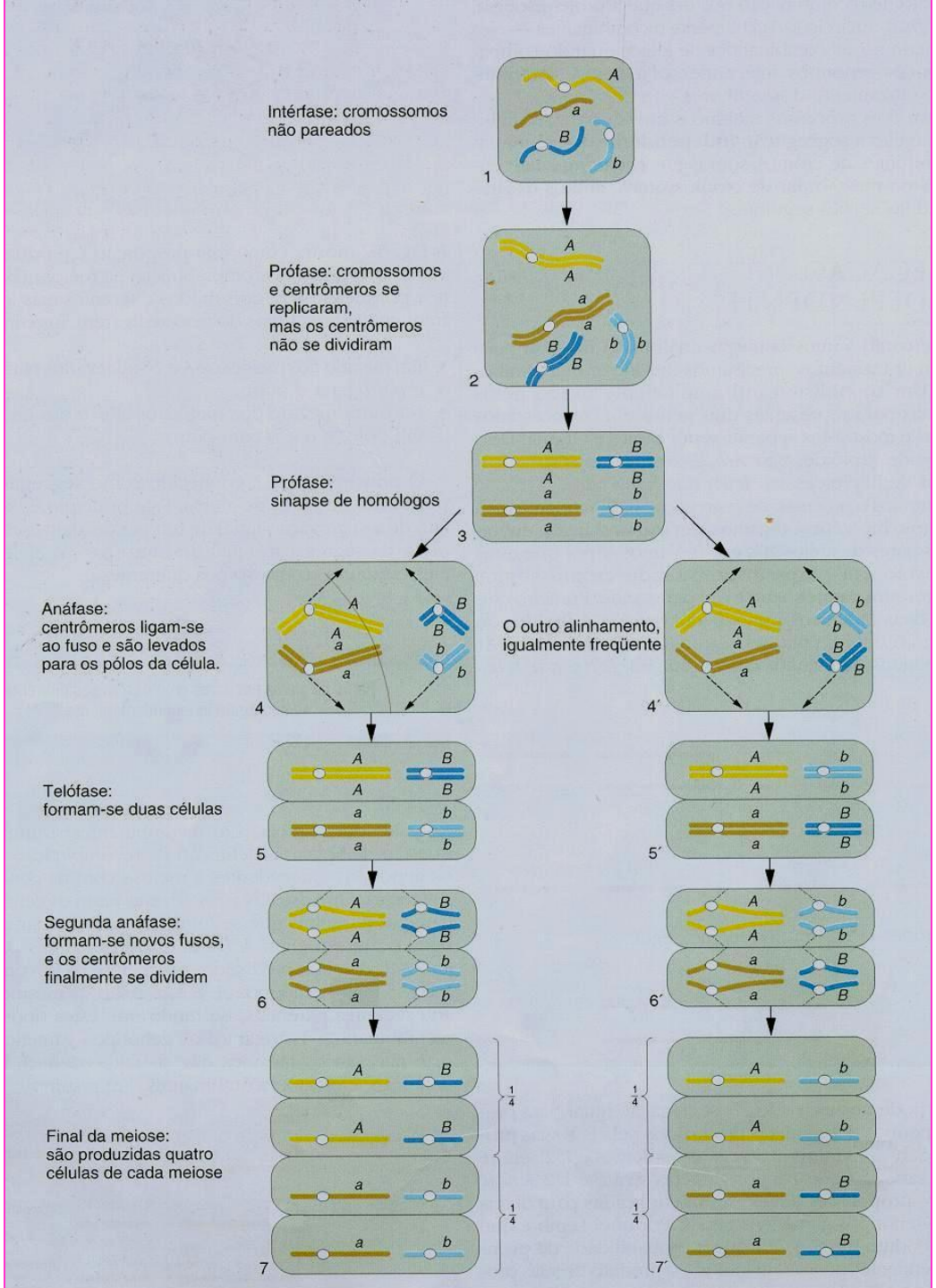
=> Os caracteres verde-liso que estavam juntos no P1 e amarelo-rugoso juntos no P2 aparecem separados em F2, formando novas combinações amarelo-liso e verde-rugoso.

=> Portanto: a herança da cor da semente era independente da herança de sua forma

**Segunda Lei de Mendel:** Durante a formação dos gametas, a segregação dos alelos de um gene é independente da segregação dos alelos de outro gene.

(OBS: Para genes situados em cromossomos separados)

Em outras palavras: Os alelos dos dois pares de genes segregam independentemente na gametogênese.


Intérfase: cromossomos não pareados
1
Prófase: cromossomos e centrômeros se replicaram, mas os centrômeros não se dividiram
2
Prófase: sinapse de homólogos
3
Anáfase: centrômeros ligam-se ao fuso e são levados para os pólos da célula.
4
O outro alinhamento, igualmente freqüente
4´
Telófase: formam-se duas células
5
5´
Segunda anáfase: formam-se novos fusos, e os centrômeros finalmente se dividem
6
6´
Final da meiose: são produzidas quatro células de cada meiose
7
7´
1/4

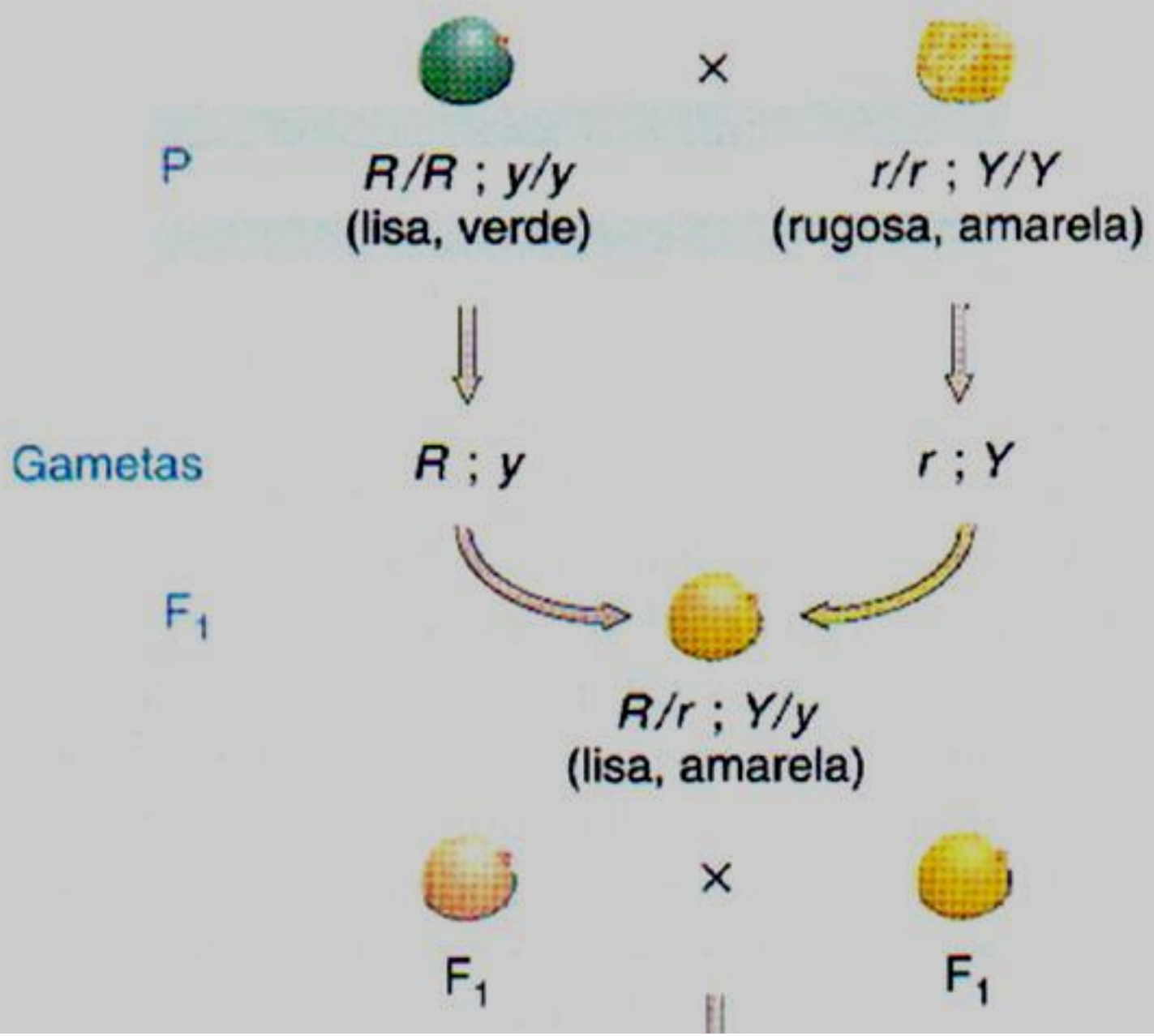
## Enunciado da 2ª Lei de Mendel:

=> Cruzando-se 2 indivíduos puros e contrastantes para 2 pares de genes e desprezando-se outras diferenças que por ventura existirem, vamos obter:

1) Uma geração F1 homogênea e *duplamente heterozigota*

2) Uma *segregação gônica* em F1 na qual aparecem as 4 combinações, cada uma contendo um alelo de cada par de genes, com freqüência de 1/4.

3) Uma *segregação zigótica* em F2 com 9 genótipos diferentes.


P
R/R ; y/y
(lisa, verde)
×
r/r ; Y/Y
(rugosa, amarela)
Gametas
R ; y
r ; Y
F1
R/r ; Y/y
(lisa, amarela)
F1
×
F1

| gametas ♀ \ gametas ♂ | R ; Y (1/4) | R ; y (1/4) | r ; y (1/4) | r ; Y (1/4) |
|---|---|---|---|---|
| R ; Y (1/4) | R/R ; Y/Y (1/16) | R/R ; Y/y (1/16) | R/r ; Y/y (1/16) | R/r ; Y/Y (1/16) |
| R ; y (1/4) | R/R ; Y/y (1/16) | R/R ; y/y (1/16) | R/r ; y/y (1/16) | R/r ; Y/y (1/16) |
| r ; y (1/4) | R/r ; Y/y (1/16) | R/r ; y/y (1/16) | r/r ; y/y (1/16) | r/r ; Y/y (1/16) |
| r ; Y (1/4) | R/r ; Y/Y (1/16) | R/r ; Y/y (1/16) | r/r ; Y/y (1/16) | r/r ; Y/Y (1/16) |

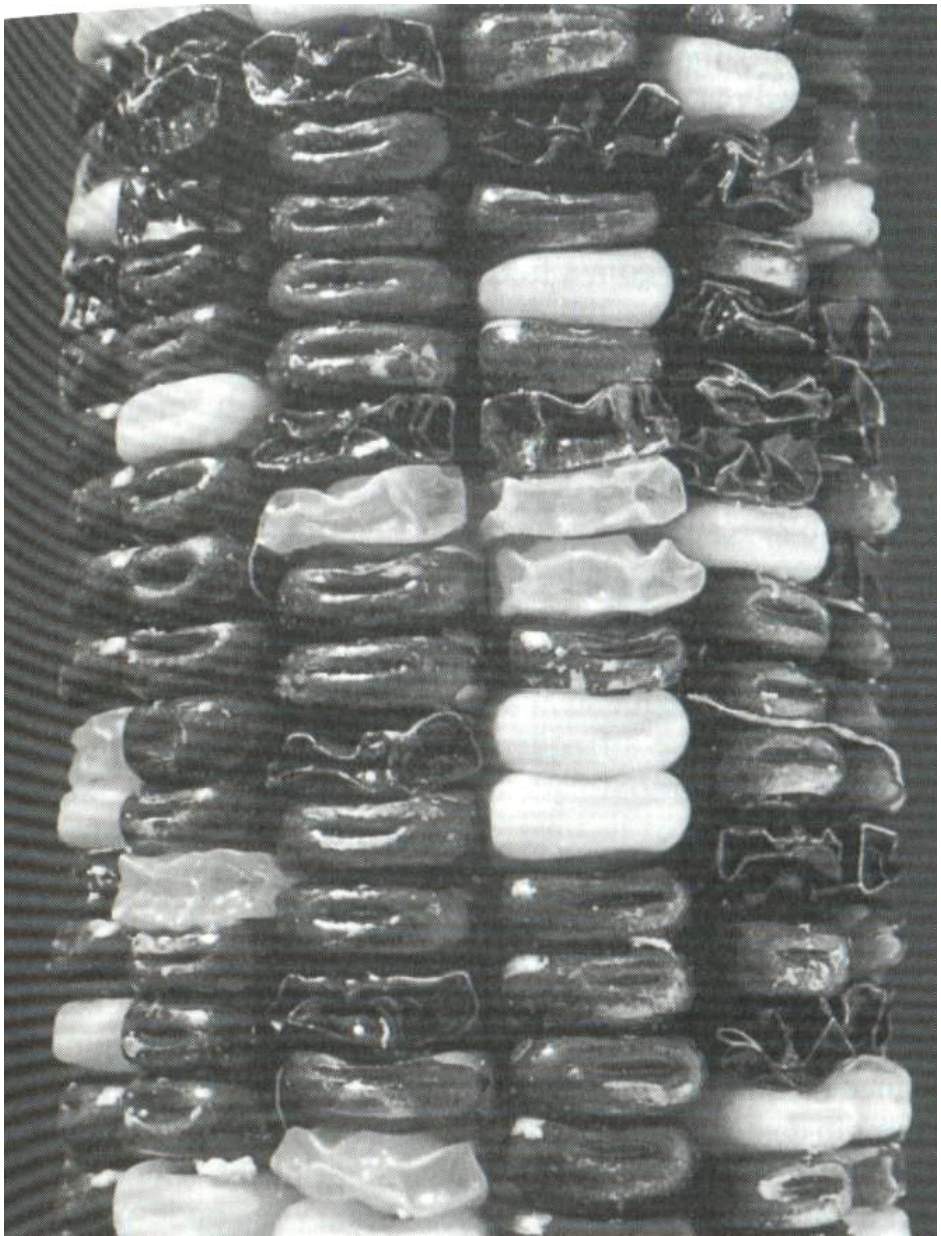
9 : 3 : 3 : 1

lisa, amarela — rugosa, amarela

lisa, verde — rugosa, verde

Milho => 9:3:3:1 Cruzamento de AaBb x AaBb (F2)

A -púrpura; a -amarelo; B -liso; b -rugoso



A-B- -> púrpura liso

A-bb -> púrpura rugoso

aaB- -> amarelo liso

aabb -> amarelo rugoso

Mendel usou o cruzamento-teste para comprovar sua teoria:

=> Proporção de gametas F1 (YyRr) -> RY, Ry, rY, rr
(1: 1: 1: 1)

=> Parental recessivo (yyrr) -> ry (100%)

(F1) YyRr x yyrr (P2)

↓

YyRr : Yyrr : yyRr : yyrr (RC2)

(1 : 1 : 1 : 1)

=> As proporções da prole deste cruzamento deveriam ser um reflexo direto das proporções gaméticas do F1

Tabela 5.9. Generalizações das proporções mendelianas dos genes, para um indivíduo diplóide, heterozigótico e com dois alelos por loco.

| Número de genes | Número de gametas diferentes em $F_1$ | Combinações Genotípicas Possíveis em $F_2$ | Classes genotípicas diferentes em $F_2$ | Número de genótipos homozigóticos em $F_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| 2 | 4 | 16 | 9 | 4 |
| 3 | 8 | 64 | 27 | 8 |
| 4 | 16 | 256 | 81 | 16 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| n | $2^n$ | $4^n$ | $3^n$ | $2^n$ |

| | Quantidade de: | | |
|---|---|---|---|
| **Genes em heterozigose*** | **Gametas diferentes produzidos na $F_1$** | **Combinações genotípicas diferentes na $F_2$** | **Classes genotípicas diferentes na $F_2$** |
| **10** | $2^{10} = 1.024$ | $4^{10} = 1.048.576$ | $3^{10} = 59.049$ |
| **50** | $2^{50} = 1,12 \times 10^{15}$ | $4^{50} = 1,26 \times 10^{30}$ | $3^{50} = 7,1 \times 10^{23}$ |
| **100** | $2^{100} = 1,26 \times 10^{30}$ | $4^{100} = 1,6 \times 10^{60}$ | $3^{100} = 5,1 \times 10^{47}$ |
| **1000** | $2^{1000}$ = erro!!! | $4^{1000}$ = erro!!! | $3^{1000}$ = erro!!! |
| **10000** | $2^{10000}$ = erro!!! | $4^{10000}$ = erro!!! | $3^{10000}$ = erro!!! |

# DISTRIBUIÇÃO INDEPENDENTE

- Interações não alélicas ou Interações gênicas

- Epistasia

- Segundo a 2ª lei de Mendel, dois genes localizados em dois cromossomos diferentes terão distribuição independente, embora as proporções Mendelianas (9:3:3:1) possam ser modificadas, em função da maneira como esses genes interagem.

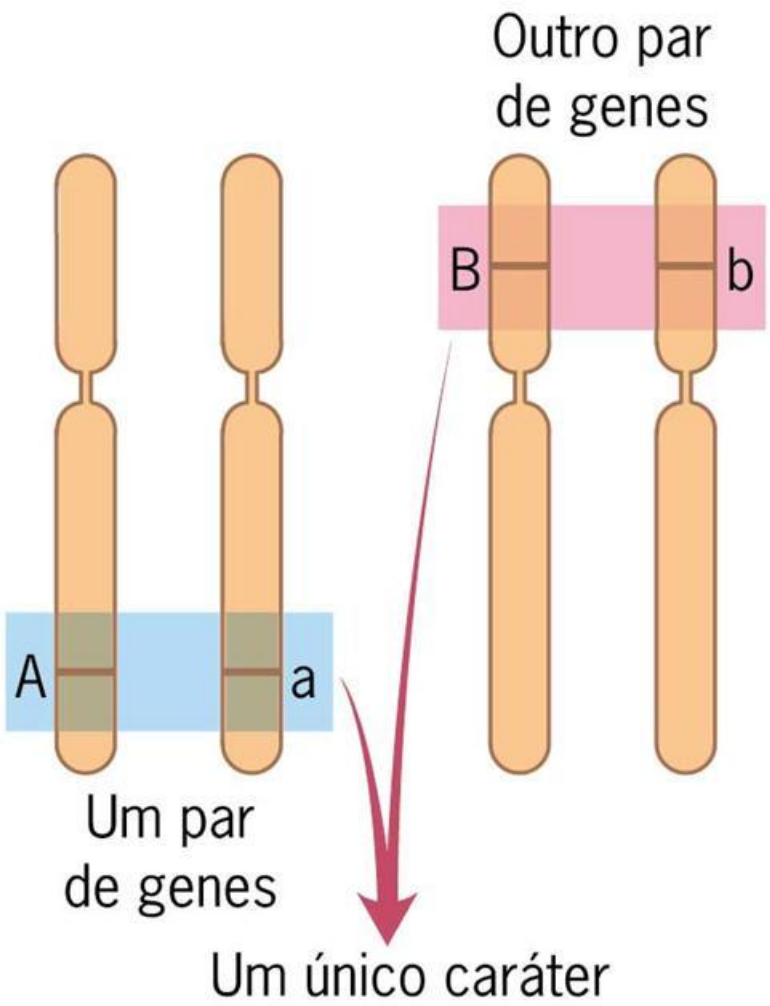
## Interações Não alélicas:

- *Consiste no processo pelo qual dois ou mais pares de genes, com distribuição independente, condicionam conjuntamente um único caráter.*

- Uma forma muito comum de interação gênica é a epistasia.

- Epistasia → é quando um gene é condicionado pelo efeito de outro gene.

# Interação gênica




Editora Saraiva

Biologia — César e Sezar

# Epistasia

➔ Levando-se em consideração os cruzamentos digênicos com ambos os pares de genes segregando 3:1, em caso de ocorrerem interações gênicas, podem-se distinguir 3 grupos de segregações:

a) Segregação quadritípica => 9:3:3:1
=> 4 fenótipos

b) Segregação tritípica => 9:3:4 12:3:1 9:6:1 10:3:3
=> 3 fenótipos

c) Segregação ditípica => 9:7 13:3 15:1
=> 2 fenótipos

# Interações não alélicas

## Epistasia

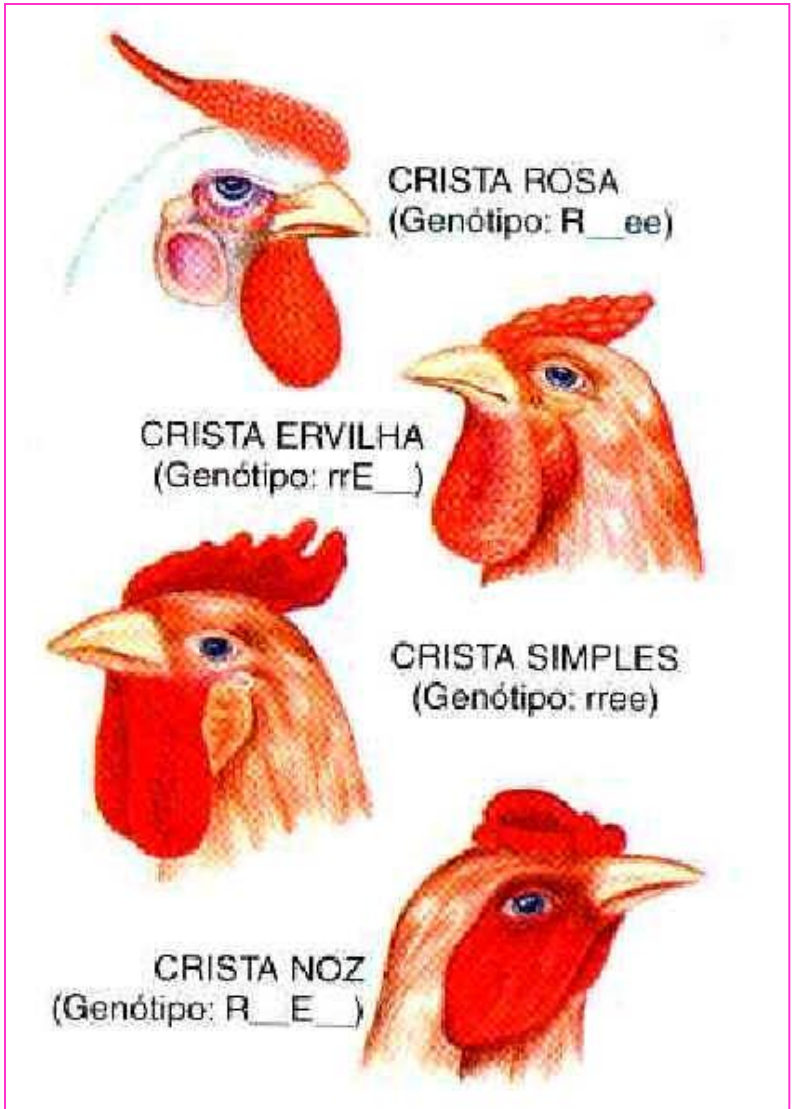
Interações quadritípicas (9:3:3:1)

Ex: cor da crista da galinha

Alelo R -> crista rosa;  Alelo E -> crista ervilha

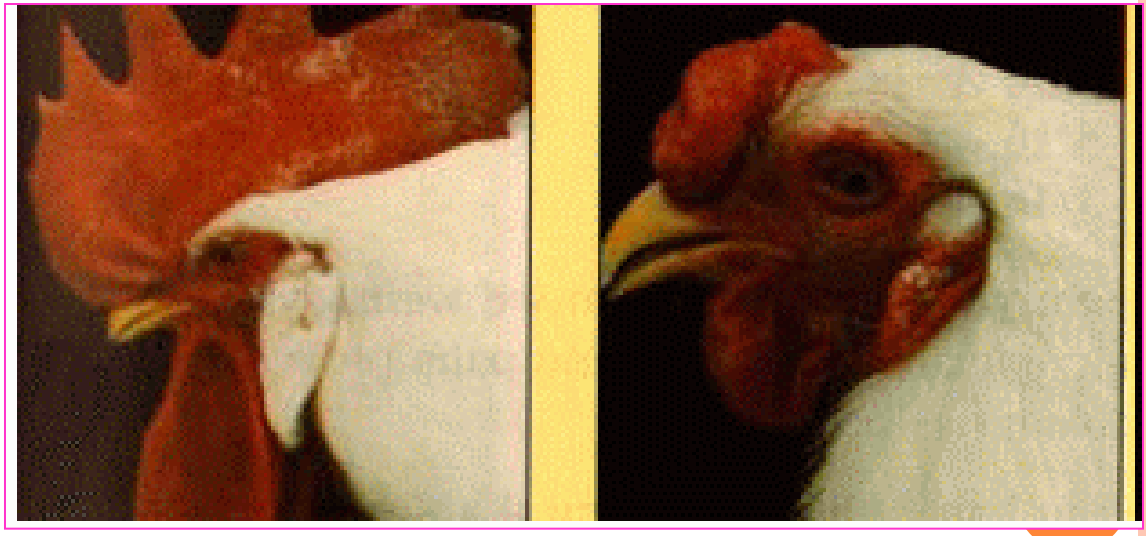
Alelos recessivos rree -> crista simples

Alelos R e E dominantes juntos -> crista noz



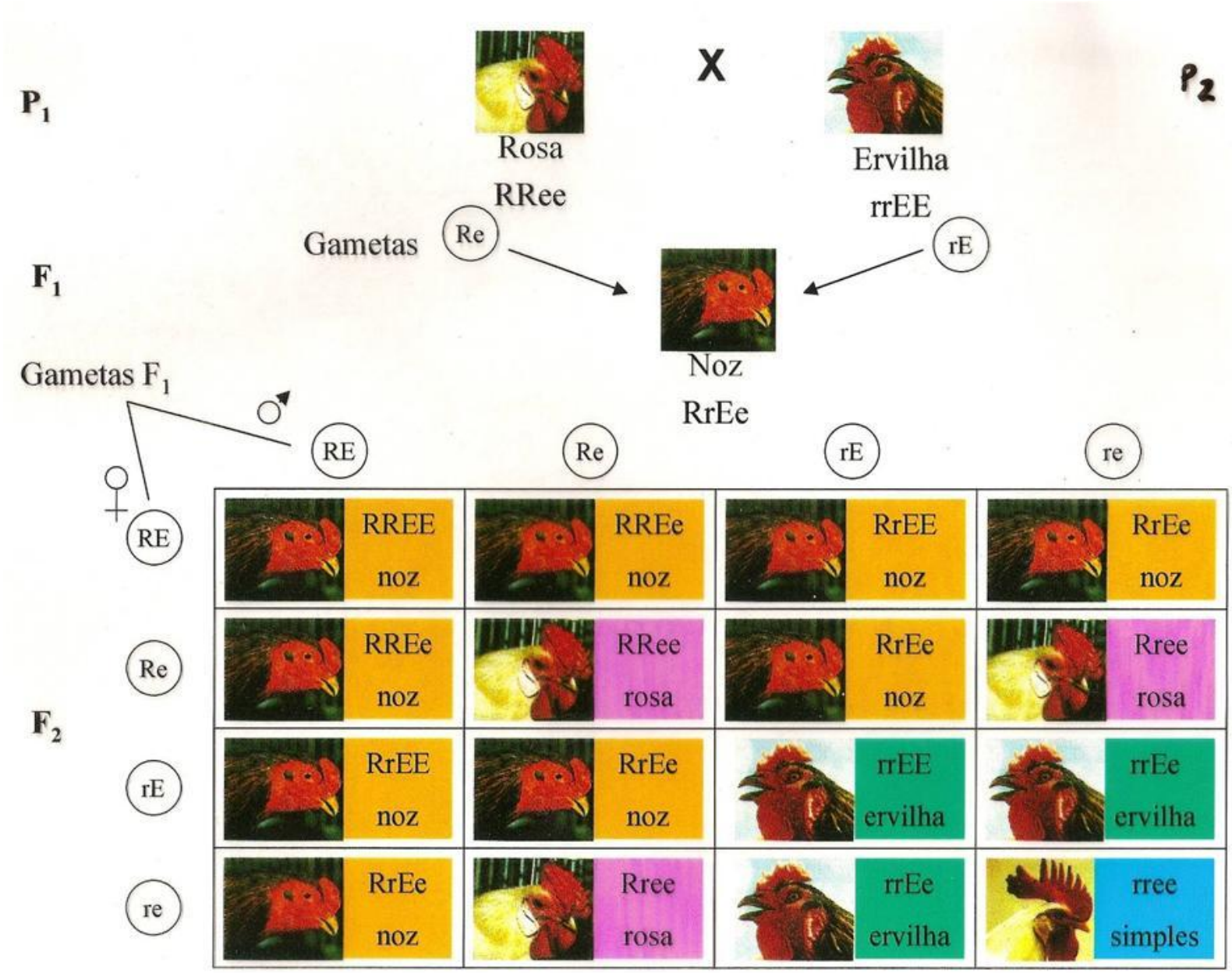
crista rosa

crista ervilha



crista simples

crista noz


P1
Rosa
RRee
X
Ervilha
rrEE
P2
Gametas
Re
rE
F1
Noz
RrEe
Gametas F1
RE
Re
rE
re
RE
Re
rE
re
F2
RREE noz
RREe noz
RrEE noz
RrEe noz
RREe noz
RRee rosa
RrEe noz
Rree rosa
RrEE noz
RrEe noz
rrEE ervilha
rrEe ervilha
RrEe noz
Rree rosa
rrEe ervilha
rree simples

9:3:3:1

# Interações não alélicas

## Epistasia

Interações tritípicas
(9:3:4  12:3:1  9:6:1  10:3:3)

Ex: cor do cão da raça Labrador

Ex: forma do fruto da abóbora

Ex: cães da raça Labrador

Dois genes: B e D

Alelos B e b -> cores preta e marrom, respectivamente

O gene recessivo dd é *epistático* ao gene B (o "d" inibe a ação do gene "B") -> cor dourada

B-D- -> cães pretos;

bbD- -> cães marrons;

B-dd ou bbdd -> cães dourados

P Genótipos: BBDD X ddbb

Fenótipos:

Preto

Dourado

$F_1$ Genótipos: BbDd

Fenótipos:

Preto

| ♂ \ ♀ | BD | bD | Bd | bd |
|---|---|---|---|---|
| BD | BBDD | BbDD | BBDd | BbDd |
| bD | BbDD | bbDD | BbDd | bbDd |
| Bd | BbDd | BbDd | BBdd | Bbdd |
| bd | BbDd | bbDd | Bbdd | bbdd |

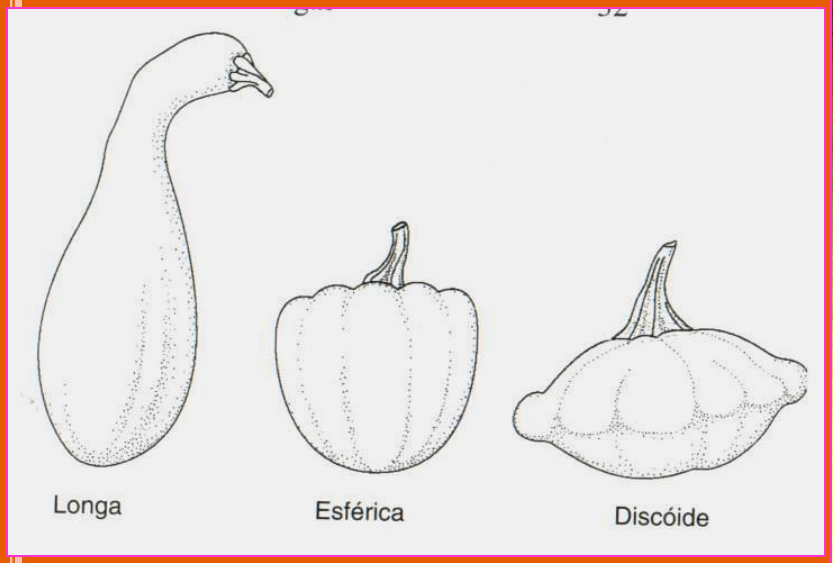
Proporções Fenotípicas em $F_2$:

9:3:4

| 9 Preto | 3 Marron | 4 dourado |
|---|---|---|
| B_D_ | bbD- | B-dd ou bbdd |

Ex: forma do fruto da abóbora

A-bb ou aaB- => frutos esféricos
A-B- => frutos discóides
aabb => frutos longos



P Genótipos: AABB X aabb

Fenótipos:

Discóide

Alongada

$F_1$ Genótipos: AaBb

Fenótipos:

Discóide

| ♂ \ ♀ | AB | Ab | aB | ab |
|---|---|---|---|---|
| AB | AABB | AABb | AaBB | AaBb |
| Ab | AABb | AAbb | AaBb | Aabb |
| aB | AaBB | AaBb | aaBB | aaBb |
| ab | AaBb | Aabb | aaBb | aabb |

Proporções Fenotípicas em $F_2$:

9 discóide — A_B_

6 Esférica — A_bb ou aaB_

1 Alongada — aabb

**9:6:1**

# Interações não alélicas

## Epistasia

Interações ditípicas
(9:7 13:3 15:1)

Ex: cor da flor do feijão

Ex: cor da flor da ervilha

Cor da flor do feijoeiro:

=> Num experimento p/ cor do tegumento do feijão, foram cruzadas duas cultivares:

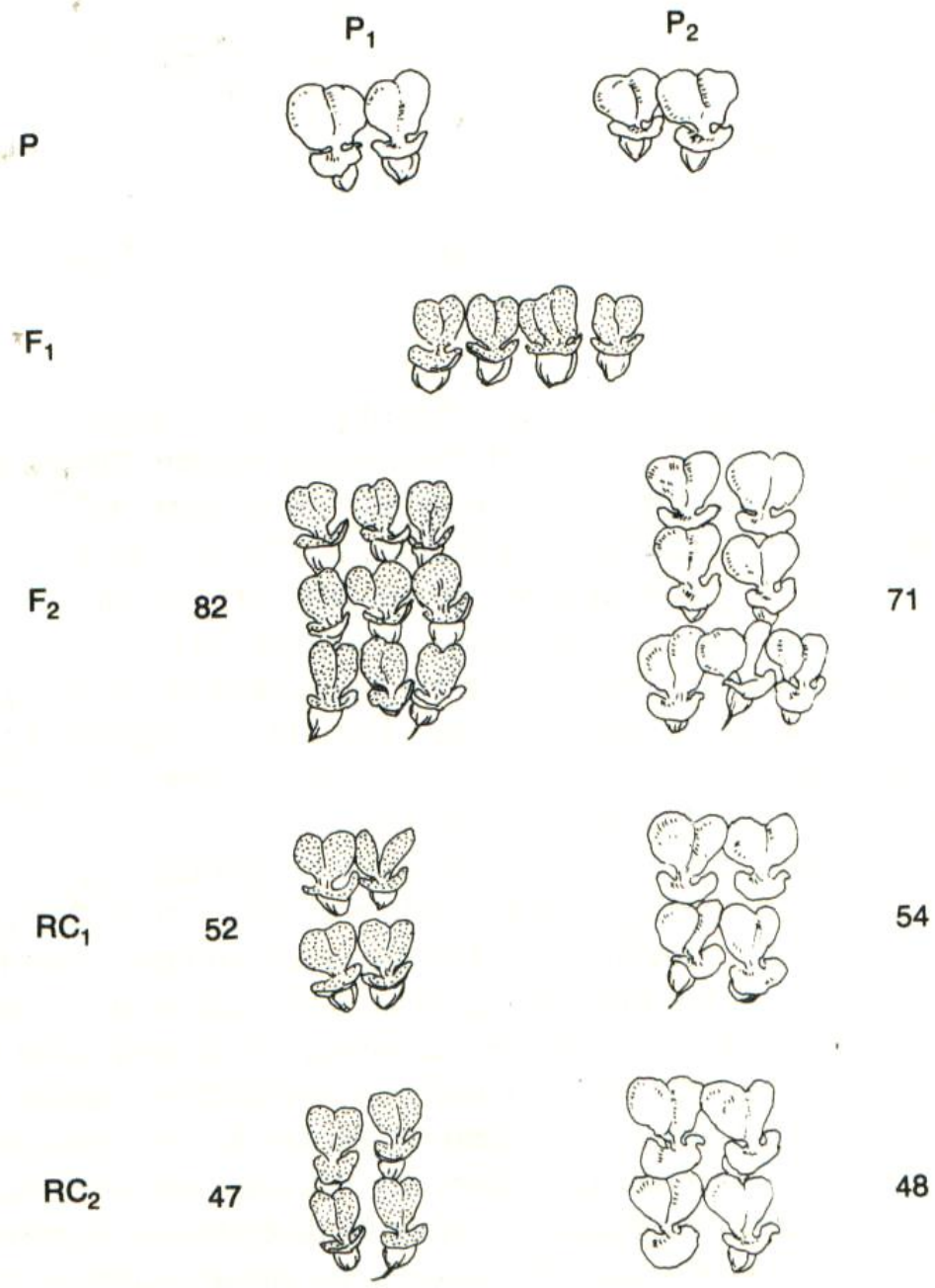
Small White x ESAL 545

(tegum. branco e flor branca) (tegum. verde e flor branca)

F1 (flores violetas) ???

F2 9/16 flores violetas : 7/16 flores brancas

9 : 7




9 : 7

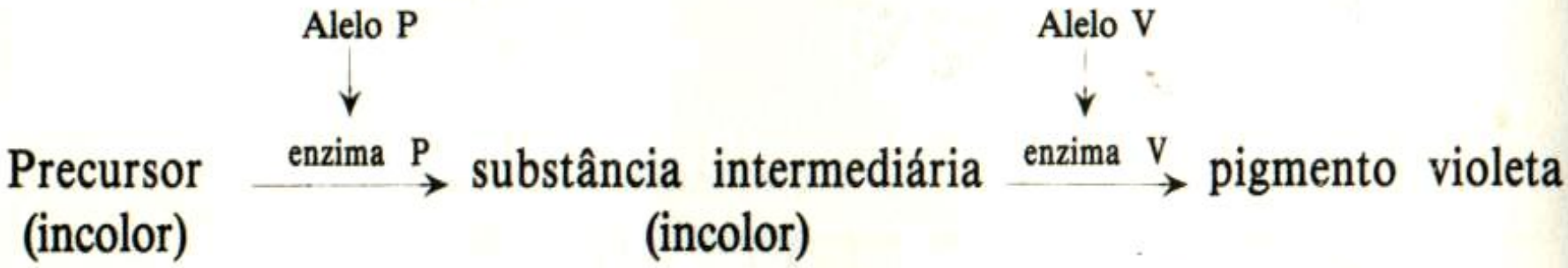
# Dois genes: P e V

Representação dos genótipos com os respectivos fenótipos, relativos à cor da flor do feijoeiro dos cultivares progenitores e de seus descendentes

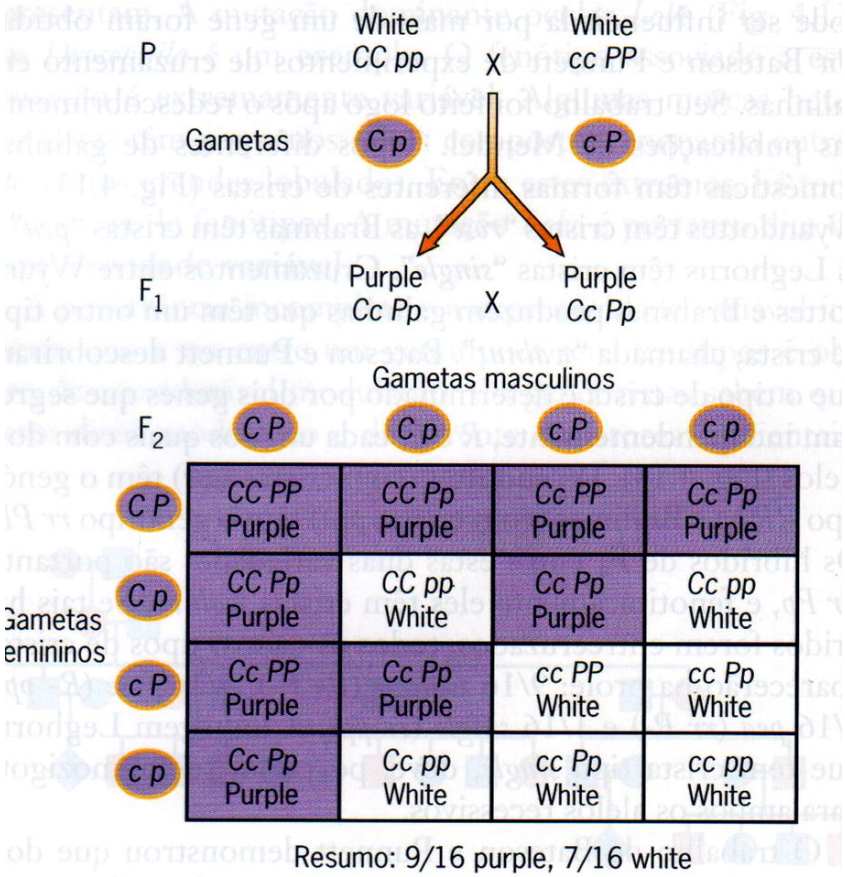
| | | | |
|---|---|---|---|
| P: | Small White - $P_1$ | × | ESAL 545 - $P_2$ |
| Genótipos: | ppVV | | PPvv |
| Fenótipos: | branca | | branca |
| $F_1$: Genótipo: | | PpVv | |
| Fenótipo: | | violeta | |
| $F_2$: Genótipos: | 9/16 P-V- | : | 7/16 (P-vv, ppV-, ppvv) |
| Fenótipos: | violeta | | branca |
| $RC_1$: Genótipos: | 1/2 PpV- | : | 1/2 ppV- |
| Fenótipos: | violeta | | branca |
| $RC_2$: Genótipos: | 1/2 P-Vv | : | 1/2 P-vv |
| Fenótipos: | violeta | | branca |

Presença (+) ou ausência (–) da enzima P, da substância intermediária, da enzima V e do pigmento violeta, nas flores de feijão das quatro classes de genótipos $F_2$

| Classes de genótipos $F_2$ | Enzima P | Substância intermediária | Enzima V | Pigmento violeta |
|---|---|---|---|---|
| 9/16 P-V- | + | + | + | + |
| 3/16 P-vv | + | + | – | – |
| 3/16 ppV- | – | – | + | – |
| 1/16 ppvv | – | – | – | – |



(a)




(b)

Flor de ervilha

9 : 7

# Proporções fenotípicas modificadas por interação gênica:

Modificadas por Interação Gênica

| 9 | 3 | 3 | 1 | Proporção fenotípica |
|---|---|---|---|---|
| *A–B–* | *A–bb* | *aaB–* | *aabb* | |
| 9 | 3 | 3 | 1 | 9:3:3:1 |
| 9 | 7 | | | 9:7 |
| 9 | 3 | 4 | | 13:3 |
| 9 | 3 | 4 | | 9:3:4 |
| 12 | | 3 | 1 | 12:3:1 |
| 15 | | | 1 | 15:1 |

## *Estudo para casa*

**Há outros tipos de interações não alélicas:**

- ✓ **Pleiotropia**
- ✓ **Penetrância**
- ✓ **Expressividade**

→ **Defina Epistasia, Pleiotropia, Penetrância e Expressividade**

→ **Forneça um exemplo de cada tipo**

# Exercícios

1) Pelagem de cachorros da raça labrador

B-D- -> cães pretos;
bbD- -> cães marrons;
B-dd ou bbdd -> cães dourados

Qual a proporção fenotípica esperada do cruzamento entre cães BbDd?

a) 9 pretos: 3 dourados: 4 marrons
b) 9 pretos: 6 dourados: 1 marrom
c) 9 pretos: 1 dourado: 6 marrons
d) 9 pretos: 4 dourados: 3 marrons

| ♂ \ ♀ | BD | bD | Bd | bd |
|---|---|---|---|---|
| BD | BBDD | BbDD | BBDd | BbDd |
| bD | BbDD | bbDD | BbDd | bbDd |
| Bd | BbDd | BbDd | BBdd | Bbdd |
| bd | BbDd | bbDd | Bbdd | bbdd |

Proporções Fenotípicas em $F_2$:

9:3:4

| 9 Preto | 3 Marron | 4 dourado |
|---|---|---|
| B_D_ | bbD- | B-dd ou bbdd |

2) Flor de feijão -> branca ou violeta

branca x branca

↓

F1 violeta (100%)

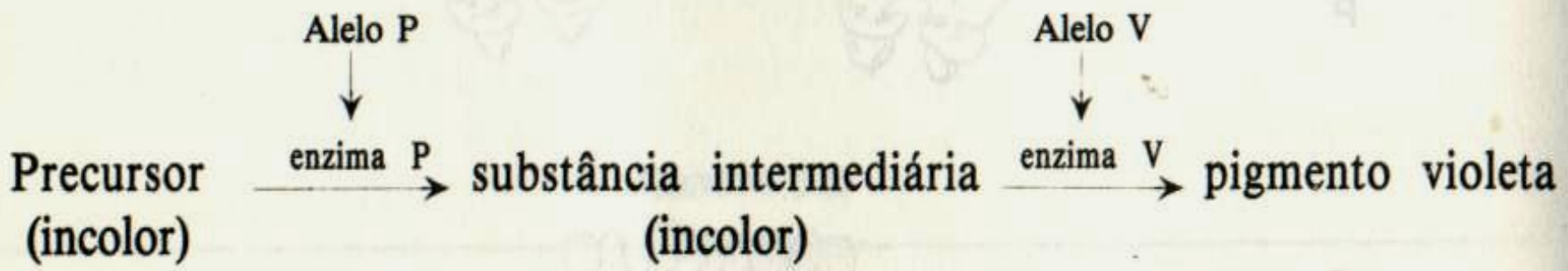
F2 1340 violetas: 1061 brancas

=> Qual a PF esperada em F2 e o genótipo dos pais e do F1?

a) 3:1 AA aa Aa
b) 9:7 AABB aabb AaBb
c) 9:7 AAbb aaBB AaBb
d) 13:3 AABB aabb AaBb

Presença (+) ou ausência (–) da enzima P, da substância intermediária, da enzima V e do pigmento violeta, nas flores de feijão das quatro classes de genótipos $F_2$

| Classes de genótipos $F_2$ | Enzima P | Substância intermediária | Enzima V | Pigmento violeta |
|---|---|---|---|---|
| 9/16 P-V- | + | + | + | + |
| 3/16 P-vv | + | + | – | – |
| 3/16 ppV- | – | – | + | – |
| 1/16 ppvv | – | – | – | – |



3) Bulbos de cebola: roxo, amarelo e branco

branco x amarelo

F1 roxo

F2 1078 roxos: 361 amarelos: 482 brancos

=> Qual a PF esperada de F2 e o genótipo dos pais e do F1?

a) 9:6:1, AABB aabb, AaBb

b) 9:3:4, AAbb aaBB, AaBb

c) 1:2:1, AA aa, Aa

d) 9:3:4, AABB aabb, AaBb

**Referências para estudo:**

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

**Cap. 3 - Mendelismo: os princípios básicos da herança.**

**Cap. 4 – Extensões do Mendelismo**

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. 5 – Mendelismo;**

**Cap. 6 – Interações alélicas e não-alélicas**