Alelismo múltiplo

Alelos de Incompatibilidade

Genes letais

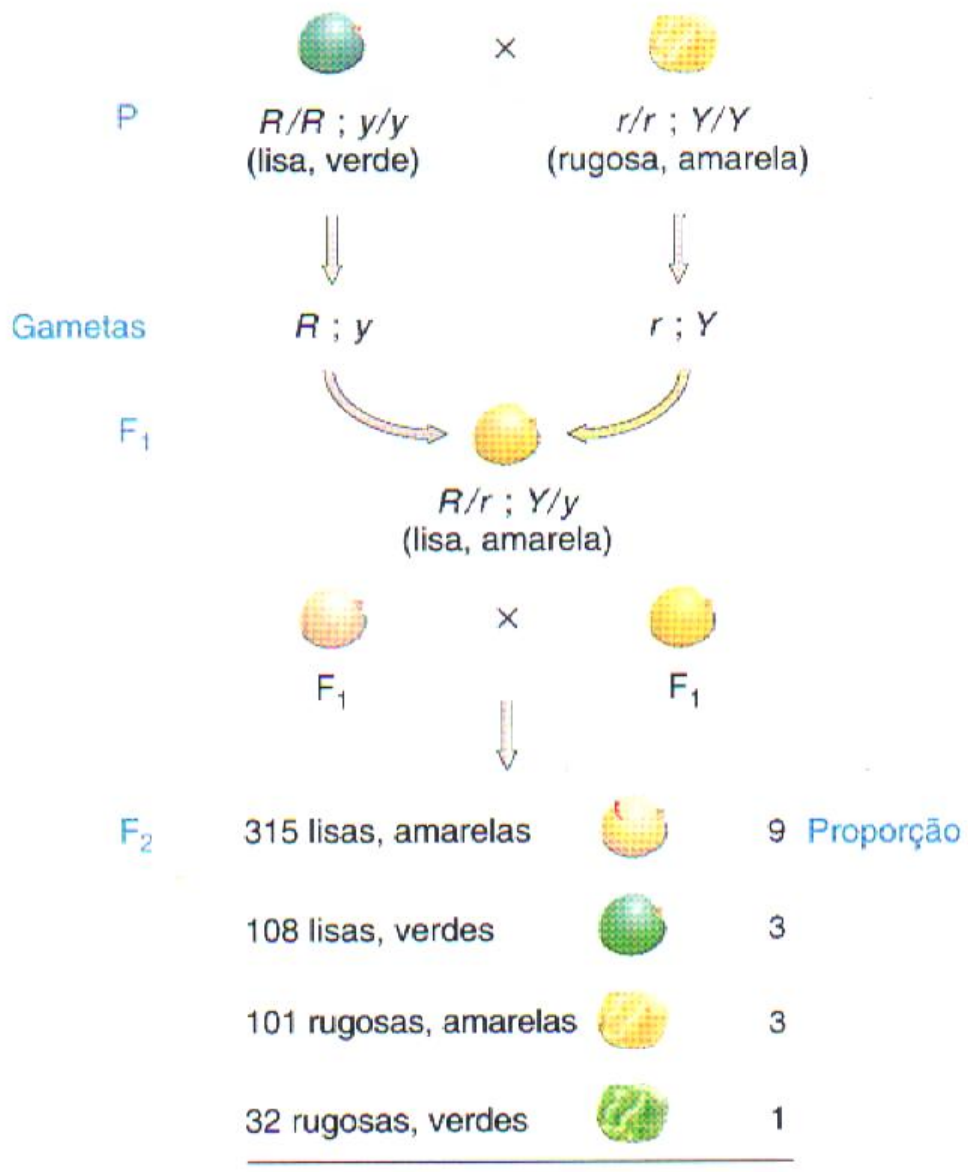
Herança ligada ao sexo

Alelismo múltiplo

- Um gene possui 2, 3, 4, ... vários alelos, determinando uma característica.

Vários alelos de um gene => série alélica.

Quando um caráter se expressa de várias maneiras alternativas, devido a uma série alélica => *alelismo múltiplo.*



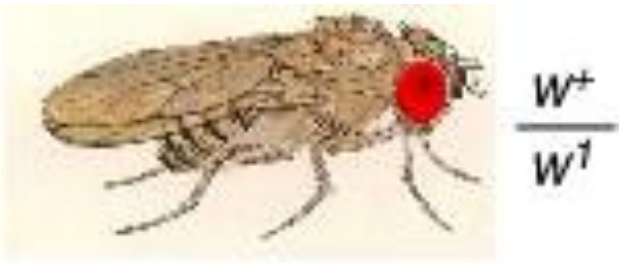
Neste exemplo, há 2 alelos para cor e forma da semente de ervilha:

Y e y -> cor

R e r -> forma

Neste caso, cada caráter é controlado por um gene, com 2 alelos cada em gene.

Exemplo da cor do olho em Drosophila, com uma *série alélica,* com 3 alelos controlando um caráter:



$\frac{w^+}{w^1}$

$\frac{w^+}{w^a}$

$\frac{w^a}{w^1}$

$\frac{w^1}{w^1}$

Alelos: W^+
W^1
W^a

Dominância:

W^+ dominante sobre W^1 e W^a

W^a dominante sobre W^1

Alelismo múltiplo

- Indivíduos diplóides => 2 alelos

  População de indivíduos => vários alelos.

  Representação da série alélica: A^1, A^2, A^3, ...A^n.

A^1A^2	A^1A^1	A^3A^3	A^2A^4	A^2A^2
A^1A^1	A^2A^2	A^3A^4	A^2A^5	A^1A^2
A^2A^2	A^4A^4	A^2A^2	A^5A^5	

Quantos alelos tem esta população??

=> 5 alelos (A^1, A^2, A^3, A^4, A^5)

E quantos genótipos??

=> 9 genótipos

Alelismo múltiplo

Número de genótipos possíveis com “m” alelos:

P/ um gene A com 2 alelos: A^1 e A^2

Nº genótipos possíveis: A^1A^1, A^1A^2, A^2A^2

P/ um gene B com 3 alelos: B^1, B^2 e B^3

Nº genótipos possíveis: B^1B^1, B^1B^2, B^1B^3, B^2B^2, B^2B^3, B^3B^3

Alelismo múltiplo

P/ um gene com “m” alelos:

Nº genótipos possíveis = $\frac{m\,(m+1)}{2}$

Nº de homozigotos = m

Nº de heterozigotos = $\frac{m\,(m-1)}{2}$

Nº de fenótipos possíveis com dominância completa:

= número de alelos (m)

Nº de fenótipos possíveis com dominância parcial ou incompleta:

= número de genótipos = $\frac{m(m+1)}{2}$

Alelismo múltiplo

Número de fenótipos possível:

- Para dois genes com “m” alelos cada = $[m(m+1)/2]^2$

- Para “n” genes, cada um com “m” alelos = $[m(m+1)/2]^n$

Nº de homozigotos = m^n

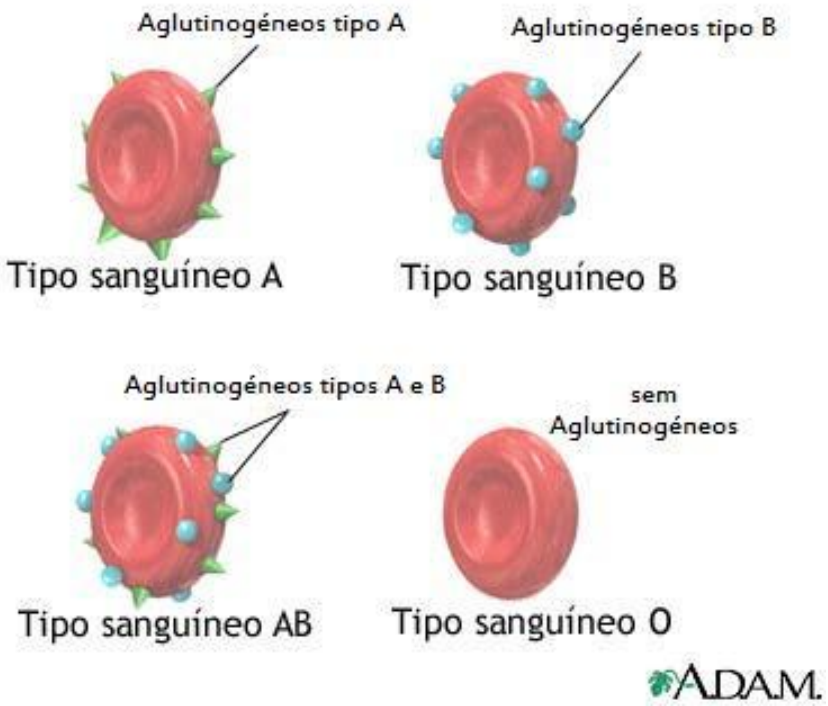
Nº de heterozigotos = $[m(m-1)/2]^n$

Alelismo múltiplo

Sistema ABO do homem

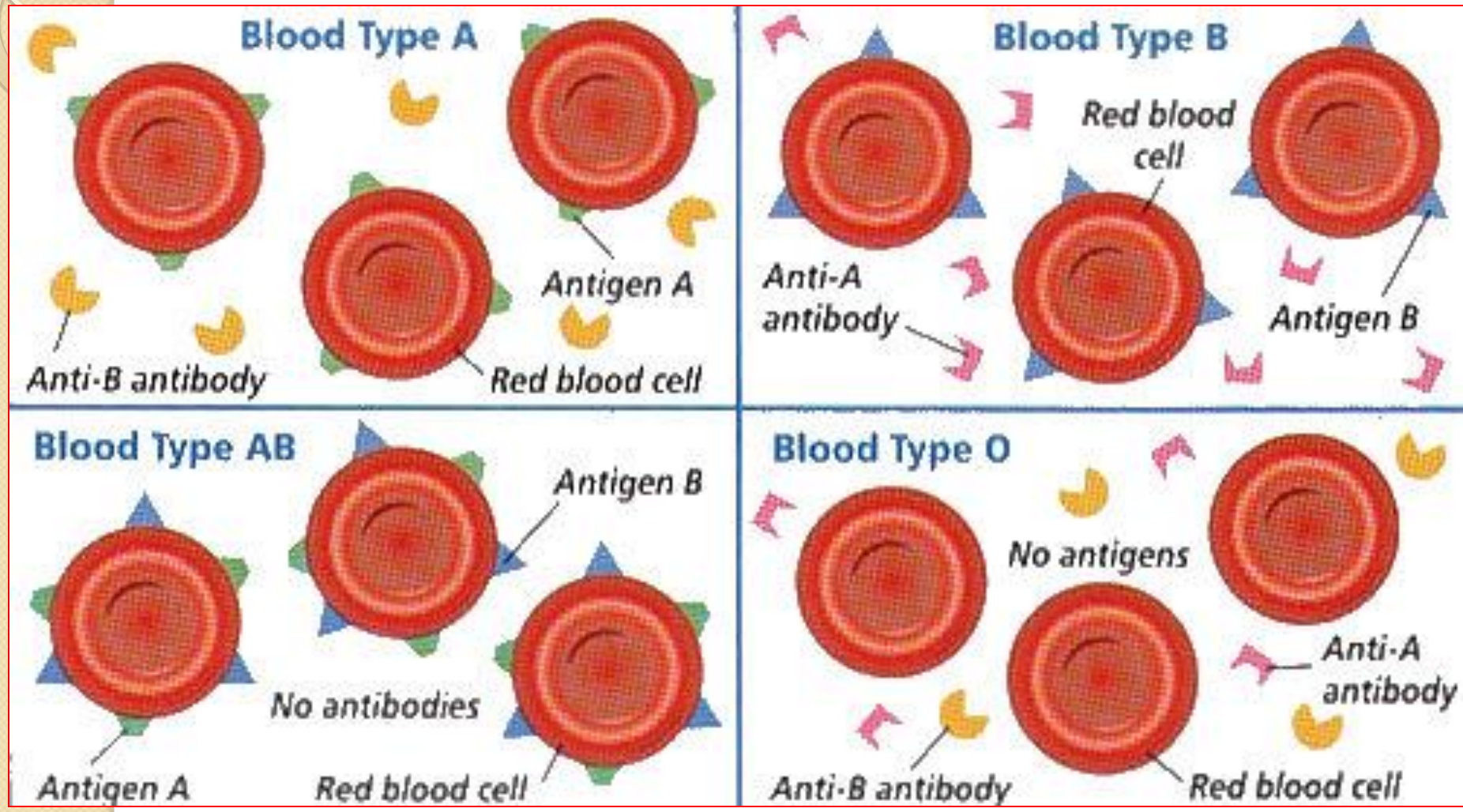
No sistema ABO existem 4 grupos sanguíneos, ou seja, quatro fenótipos: A, B, AB, O.

Os 3 primeiros produzem antígenos encontrados na superfície dos glóbulos vermelhos.



Alelismo múltiplo

Sistema ABO do homem



Alelismo múltiplo

Sistema ABO do homem

O gene responsável por produzir os antígenos A e B é indicado pela letra *I*. Ele tem 3 alelos: I^A, I^B, *i*.

Sendo I^A e I^B codominantes. O *i* é recessivo em relação tanto a I^A como a I^B

Genótipo Fenótipo

I^AI^A ou I^Ai → grupo sanguíneo A → antígenos A e anticorpos B

I^BI^B ou I^Bi → grupo sanguíneo B → antígenos B e anticorpos A

I^AI^B → grupo sanguíneo AB → antígenos A e B (sem anticorpos)

ii → grupo sanguíneo O → anticorpo A e B (sem antígenos)

Alelismo múltiplo

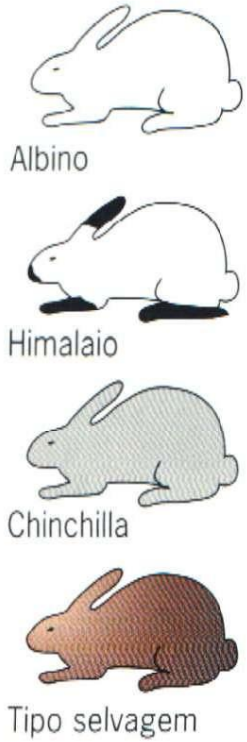
Sistemas de grupos sanguíneos em animais domésticos

Tabela 8.1. Exemplos de sistemas de grupos sangüíneos em animais domésticos, evidenciando o grande número de alelos presentes na maioria dos casos.

Gatos													
Locos	A	B	C										
Nº de alelos*	2	2	2										
Suínos													
Locos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Nº de alelos	2	2	2	2	15	3	3	7	2	3	5	6	18
Ovelhas													
Locos	A	B	C	D	M	R	X						
Nº de alelos*	3	52	4	2	4	2	2						
Bovinos													
Locos	A	B	C	F	J	L	M	S	Z	T			
Nº de alelos	11	>1000	>100	8	4	2	3	15	3	2			
Cavalos													
Locos	A	C	D	K	P	Q	U						
Nº de alelos*	11	2	11	2	3	5	2						
Cães													
Locos	A	B	C	D	F	Tr	J	K	L	M	N		
Nº de alelos	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2		
Galinhas													
Locos	A	B	C		E	H	I	J	K	L	P	R	
Nº de alelos*	5	35	5	5	9	3	5	3	4	2	10	2	

* Número mínimo de alelos

Alelismo múltiplo



Genótipo	Fenótipo
cc	Pêlos brancos por todo o corpo
$c^h c^h$	Pêlos pretos nas extremidades; pêlos brancos no restante
$c^{ch} c^{ch}$	Pêlos brancos com pontas pretas no corpo
$c^+ c^+$	Pêlos coloridos por todo o corpo

Fig. 4.3 ■ Cor da pelagem em coelhos. Os fenótipos diferentes são causados por quatro alelos diferentes do gene *c*.

Ex: cor da pelagem dos coelhos

Genótipos	Fenótipos
CC, Cc^{ch}, Cc^h, Cc	Selvagem
$c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c^h$, $c^{ch}c$	Chinchila
c^hc^h, c^hc	Himalaia
cc	Albino

Alelismo múltiplo

Possible genotypes	CC, Cc^{ch}, Cc^{h}, Cc	$c^{ch}c^{ch}$	$c^{ch}c^{h}$, $c^{ch}c$	$c^{h}c^{h}$, $c^{h}c$	cc
Phenotype	Dark gray	Chinchilla	Light gray	Himalayan	Albino

Chinchilla

Alelismo múltiplo

Genótipos	Fenótipos
II; Ii^a; Ii^b; Ii	Hilo e tegumento amarelos
i^ai^a; i^ai^b; i^ai	Hilo escuro e tegumento amarelo
i^bi^b; i^bi	Hilo e parte do tegumento que o circunda escuros, enquanto o restante do tegumento é amarelo
ii	Hilo e tegumento escuros

É importante mencionar que outros genes estão também envolvidos na expressão de cor do tegumento, ocasionando modificações dos fenótipos determinados pela série alélica I.

Ex: cor da semente da soja

i^ai^a, i^ai^b, i^ai

II, Ii^a, Ii^b, Ii

ii

Autoincompatibilidade em plantas

Em plantas, em angiospermas hermafroditas (cerca de 150 famílias e mais de 3.000 espécies) há dois sistemas de incompatibilidade:

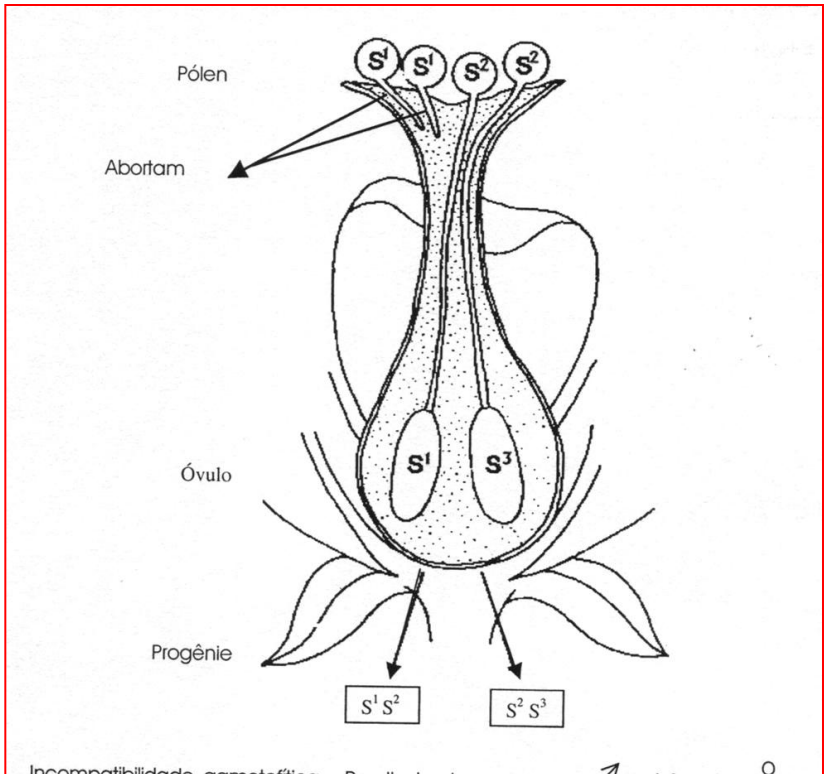
- *incompatibilidade gametofítica*
- *incompatibilidade esporofítica.*

Exs: Rosáceas – ameixeira, macieira; Crucíferas – repolho, brócolis; Gramíneas: centeio; Esterculiáceas – cacau; Passifloráceas – maracujá; Solanáceas: fumo, certos tomates, etc.; Asteraceae – girassol.

Autoincompatibilidade em plantas

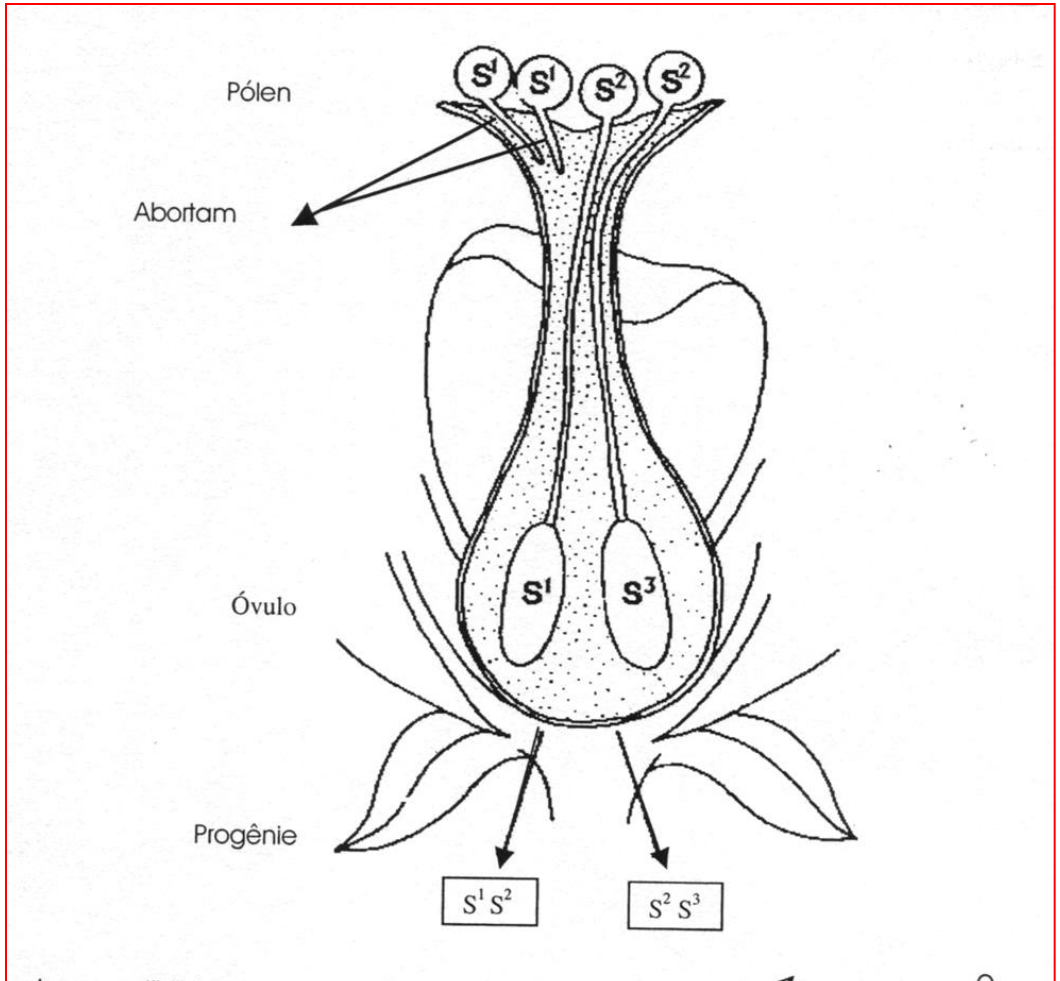
A incompatibilidade é controlada por uma séria alélica. Os alelos desta série são simbolizados pela letra *S* (do inglês – self-incompatibility).

Podemos ter então alelos: S^1, S^2, S^3, S^4, etc..



Incompatibilidade gametofítica

Na incompatilidade gametofítica, alelos do grão de pólen (genitor masculino) idênticos aos alelos do genitor feminino, não germinam, há uma inibição do crescimento do tubo polínico devido a um engrossamento de sua extremidade.



Incompatibilidade gametofítica

Tabela 8.3. Resultados de cruzamentos entre plantas de fumo, que possuem incompatibilidade gametofítica, portadoras de diferentes alelos da série S

Genitor Feminino	Genitor masculino			
	S^1S^2	S^2S^3	S^3S^4	S^4S^5
S^1S^2	-	S^1S^3	S^1S^3	S^1S^4
	-	S^2S^3	S^2S^3	S^2S^4
	-	-	S^1S^4	S^1S^5
	-	-	S^2S^4	S^2S^5
S^2S^3	S^1S^2	-	S^2S^4	S^2S^4
	S^1S^3	-	S^3S^4	S^3S^4
	-	-	-	S^2S^5
	-	-	-	S^3S^5
S^3S^4	S^1S^3	S^2S^3	-	S^3S^5
	S^1S^4	S^2S^4	-	S^4S^5
	S^2S^3	-	-	-
	S^2S^4	-	-	-
S^4S^5	S^1S^4	S^2S^4	S^3S^4	-
	S^1S^5	S^2S^5	S^3S^5	-
	S^2S^4	S^3S^4	-	-
	S^2S^5	S^3S^5	-	-

Incompatibilidade gametofítica

Neste sistema, nunca serão formados genótipos homozigóticos, e nunca será recuperado o genótipo materno entre os descendentes.

Genitor Feminino	Genitor masculino			
	S^1S^2	S^2S^3	S^3S^4	S^4S^5
S^1S^2	-	S^1S^3	S^1S^3	S^1S^4
	-	S^2S^3	S^2S^3	S^2S^4
	-	-	S^1S^4	S^1S^5
	-	-	S^2S^4	S^2S^5
S^2S^3	S^1S^2	-	S^2S^4	S^2S^4
	S^1S^3	-	S^3S^4	S^3S^4
	-	-	-	S^2S^5
	-	-	-	S^3S^5
S^3S^4	S^1S^3	S^2S^3	-	S^3S^5
	S^1S^4	S^2S^4	-	S^4S^5
	S^2S^3	-	-	-
	S^2S^4	-	-	-
S^4S^5	S^1S^4	S^2S^4	S^3S^4	-
	S^1S^5	S^2S^5	S^3S^5	-
	S^2S^4	S^3S^4	-	-
	S^2S^5	S^3S^5	-	-

Incompatibilidade esporofítica

No sistema esporofítico, o fenótipo do pólen, para a reação de incompatibilidade, é determinado pelo genótipo da célula mãe do grão de pólen, ao invés do seu próprio alelo S.

Nesses cruzamentos, o alelo de menor expoente é o dominante em todos os genótipos, ou seja:

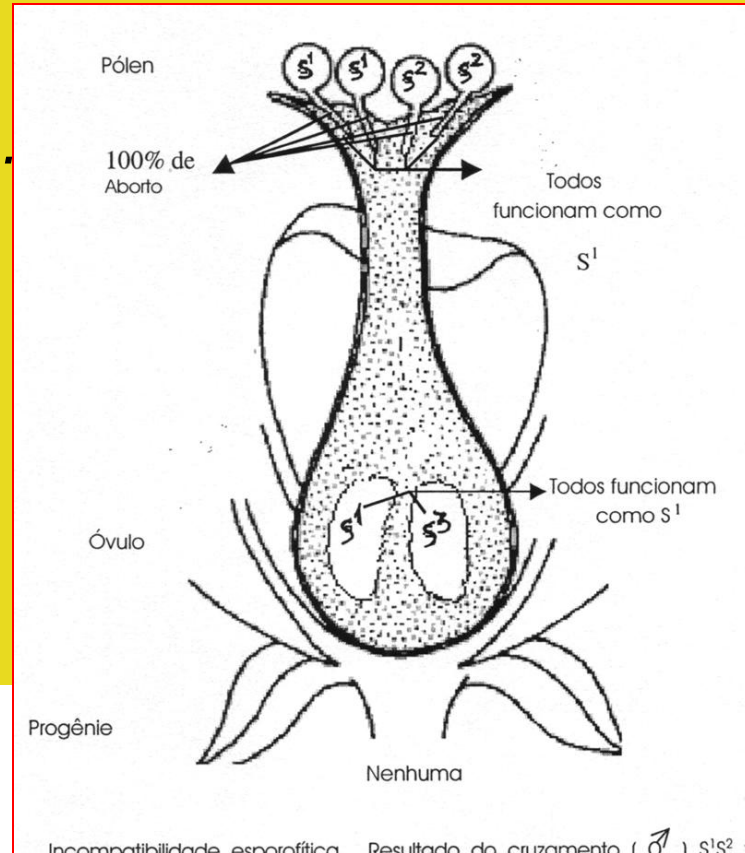
$$S^1 > S^2 > S^3 > S^4 > S^5, etc...$$

Incompatibilidade esporofítica

$S^1 > S^2 > S^3 > S^4 > S^5$,etc...

Portanto, pólen S^1S^2 não germina em um genitor feminino cujo genótipo seja S^1S^2, ou S^1S^3 ou S^1S^4, etc...

Mas germina em um genitor feminino de genótipo S^2S^3, S^3S^4,S^2S^4, S^4S^5, etc.. Ou seja, o primeiro alelo do genitor masculino (pólen) não pode ser idêntico ao primeiro alelo do genitor feminino.



Incompatibilidade esporofítica Resultado do cruzamento (♂) S^1S^2

Incompatibilidade esporofítica

Tabela 8.4. Resultados de cruzamentos de plantas de brócolis portadoras de diferentes alelos S.

Genitor Feminino	Genitor masculino			
	S^1S^2	S^2S^3	S^3S^4	S^4S^5
S^1S^2	-	S^1S^3	S^1S^3	S^1S^4
	-	S^1S^3	S^1S^4	S^1S^5
	-	S^2S^2	S^2S^3	S^2S^4
	-	S^2S^3	S^2S^4	S^2S^5
S^2S^3	S^1S^2	-	S^2S^3	S^2S^4
	S^1S^3	-	S^2S^4	S^2S^5
	S^2S^2	-	S^3S^3	S^3S^4
	S^2S^3	-	S^3S^4	S^3S^5
S^3S^4	S^1S^3	S^2S^3	-	S^3S^4
	S^1S^4	S^2S^4	-	S^3S^5
	S^2S^3	S^3S^3	-	S^4S^4
	S^2S^4	S^3S^4	-	S^4S^5
S^4S^5	S^1S^4	S^2S^4	S^3S^4	-
	S^1S^5	S^2S^5	S^3S^5	
	S^2S^4	S^3S^4	S^4S^4	-
	S^2S^5	S^3S^5	S^4S^5	-

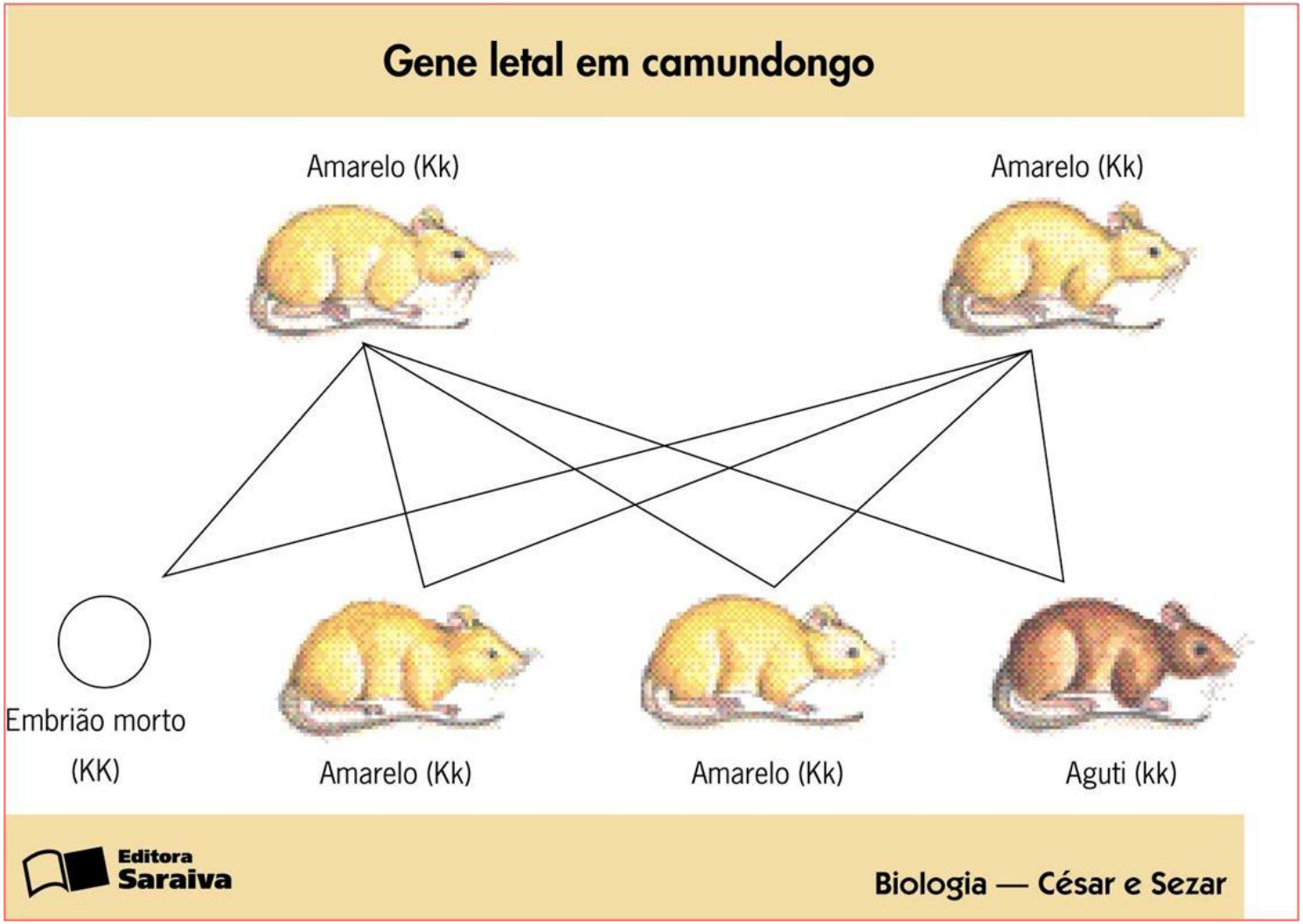
Na incompatibilidade esporofítica, podem ocorrer entre os descendentes genótipos homozigóticos

Tabela 8.4. Resultados de cruzamentos de plantas de brócolis portadoras de diferentes alelos S.

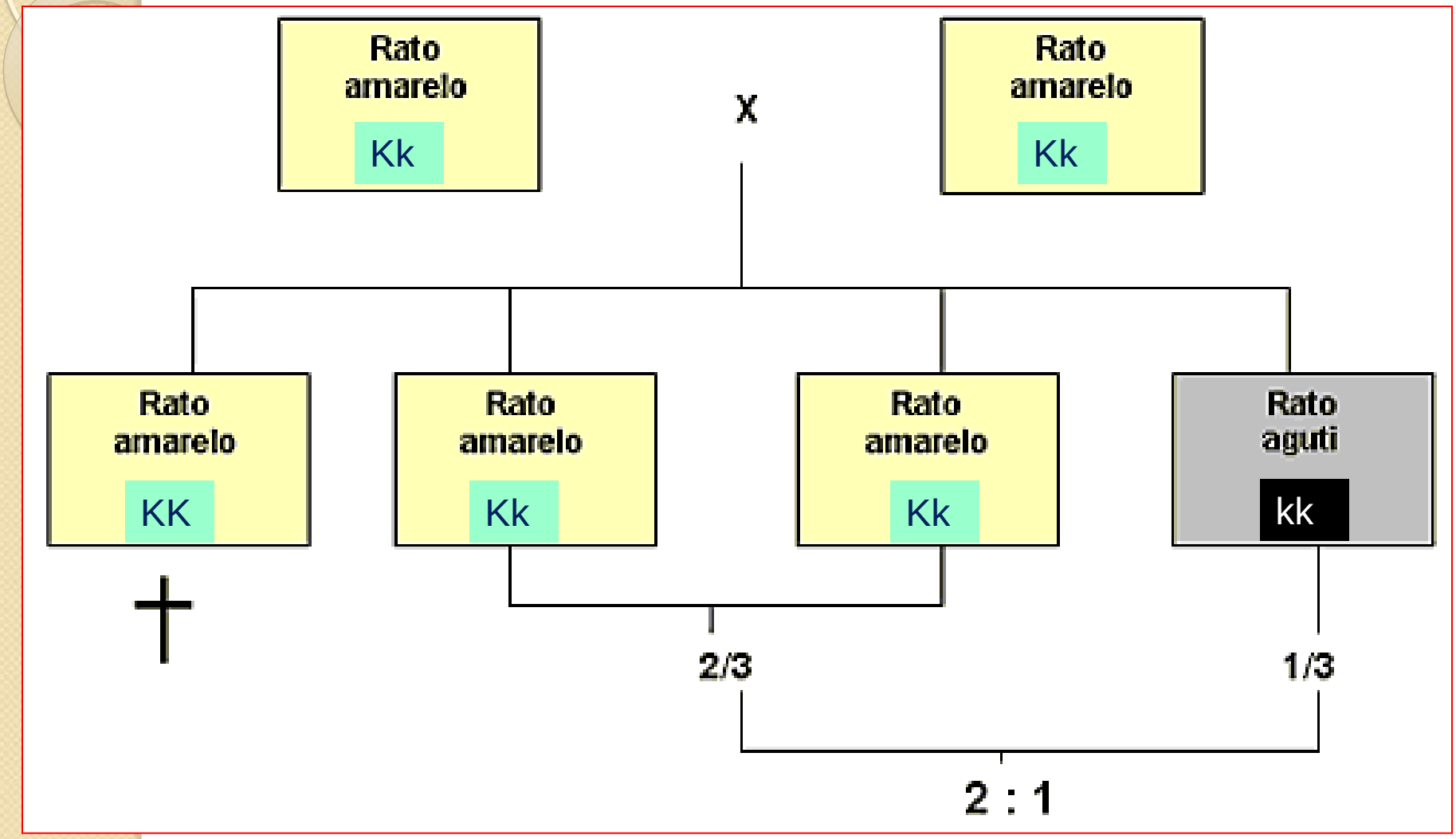
Genitor Feminino	Genitor masculino			
	S^1S^2	S^2S^3	S^3S^4	S^4S^5
S^1S^2	-	S^1S^3	S^1S^3	S^1S^4
	-	S^1S^3	S^1S^4	S^1S^5
	-	S^2S^2	S^2S^3	S^2S^4
	-	S^2S^3	S^2S^4	S^2S^5
S^2S^3	S^1S^2	-	S^2S^3	S^2S^4
	S^1S^3	-	S^2S^4	S^2S^5
	S^2S^2	-	S^3S^3	S^3S^4
	S^2S^3	-	S^3S^4	S^3S^5
S^3S^4	S^1S^3	S^2S^3	-	S^3S^4
	S^1S^4	S^2S^4	-	S^3S^5
	S^2S^3	S^3S^3	-	S^4S^4
	S^2S^4	S^3S^4	-	S^4S^5
S^4S^5	S^1S^4	S^2S^4	S^3S^4	-
	S^1S^5	S^2S^5	S^3S^5	
	S^2S^4	S^3S^4	S^4S^4	-
	S^2S^5	S^3S^5	S^4S^5	-

Genes letais

Gene que interfere com o desenvolvimento normal de um ser vivo, resultando na sua morte prematura.



Genes letais



Genes ligados ao sexo

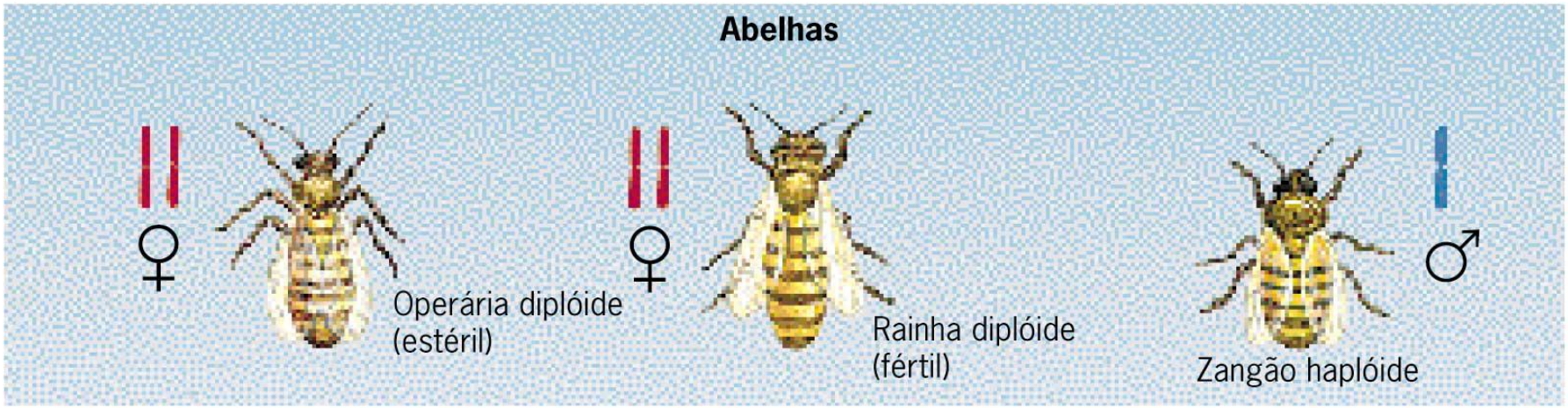
Para alguns genes (ligados aos cromossomos sexuais), os resultados são diferentes dependendo do sexo dos parentais.

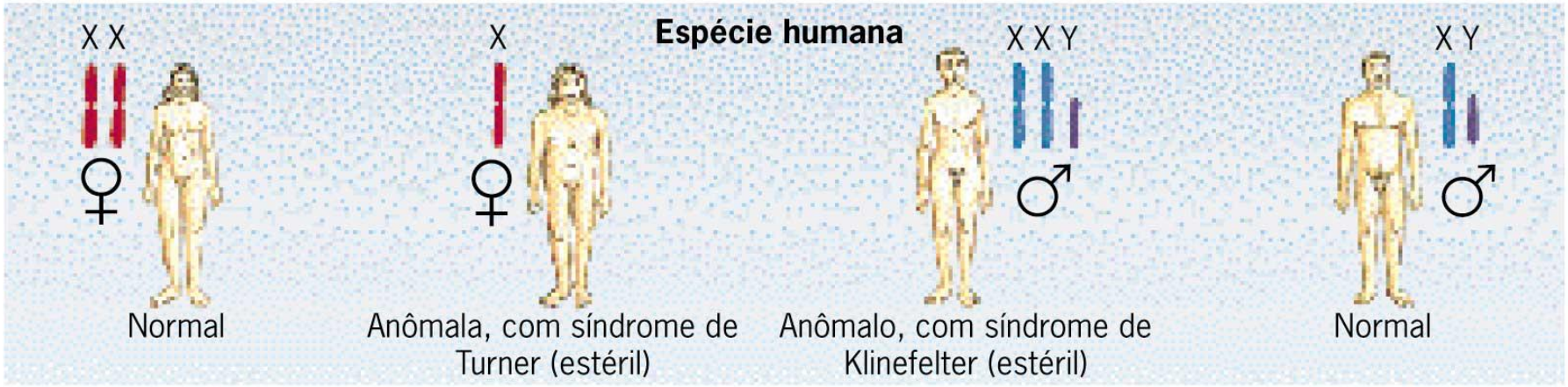
Drosophilas e homem ->
Fêmea = XX -> sexo homogamético
Macho = XY -> sexo heterogamético

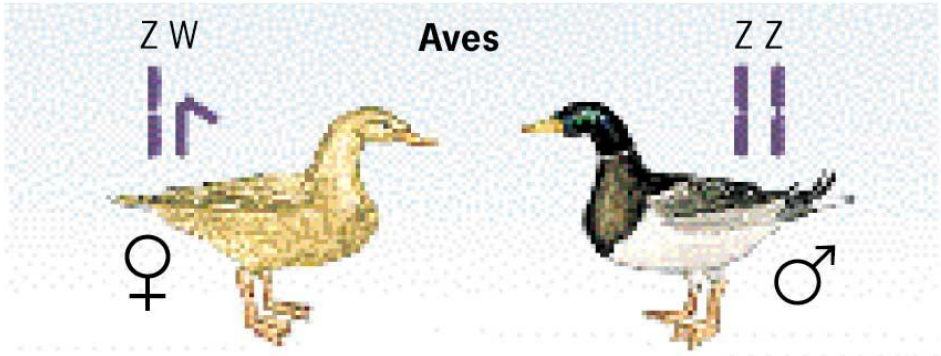
QUADRO 2.3 Determinação Cromossômica do Sexo em *Drosophila* e Humanos

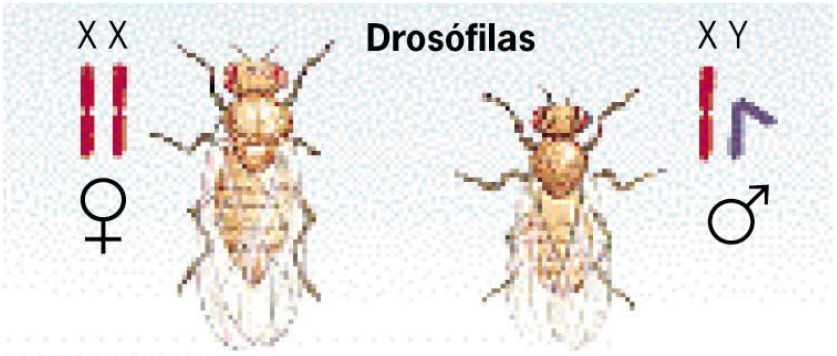
	CROMOSSOMOS SEXUAIS			
Espécie	XX	XY	XXY	XO
Drosophila	♀	♂	♀	♂
Humanos	♀	♂	♂	♀

Alguns casos de determinação do sexo

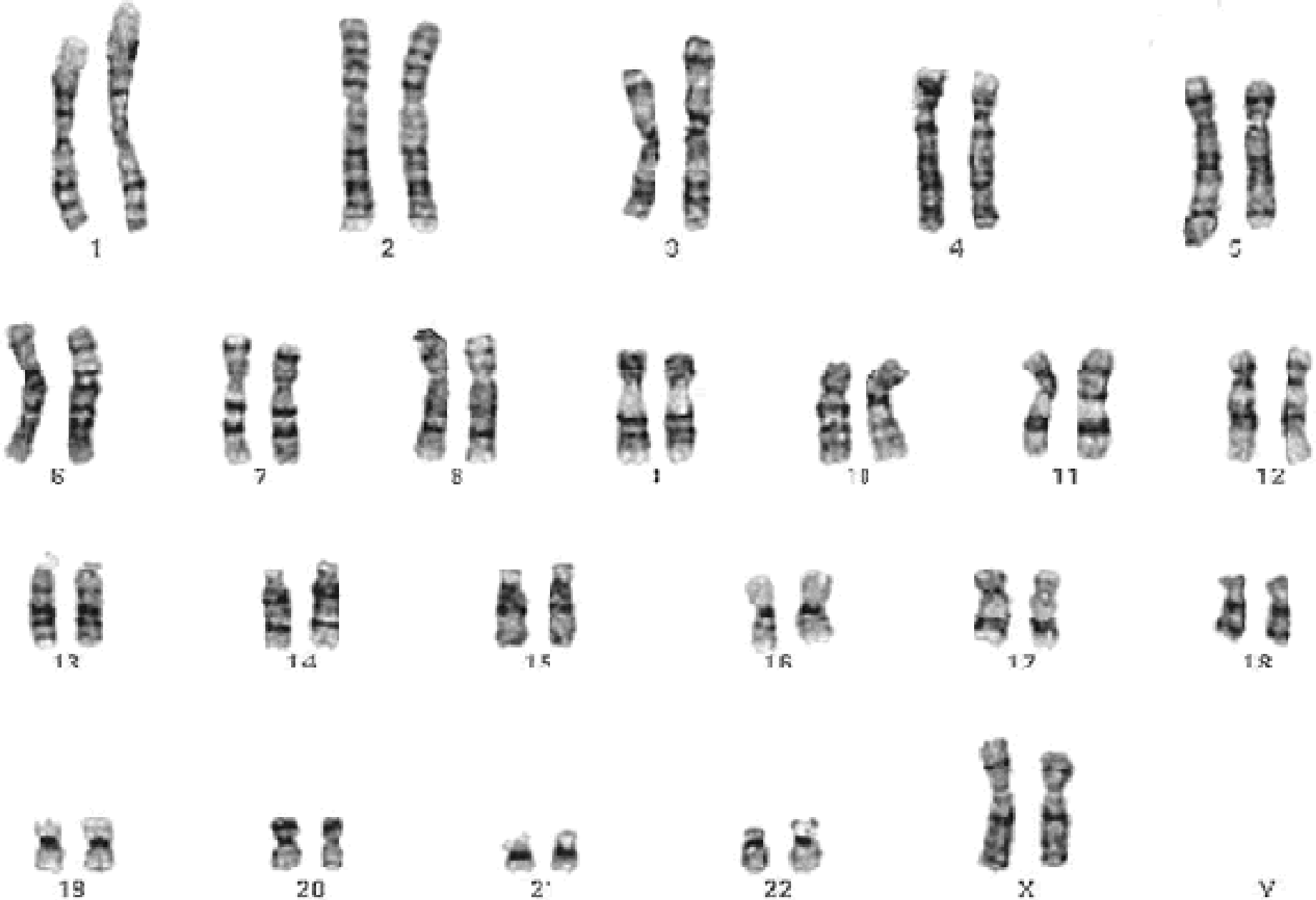




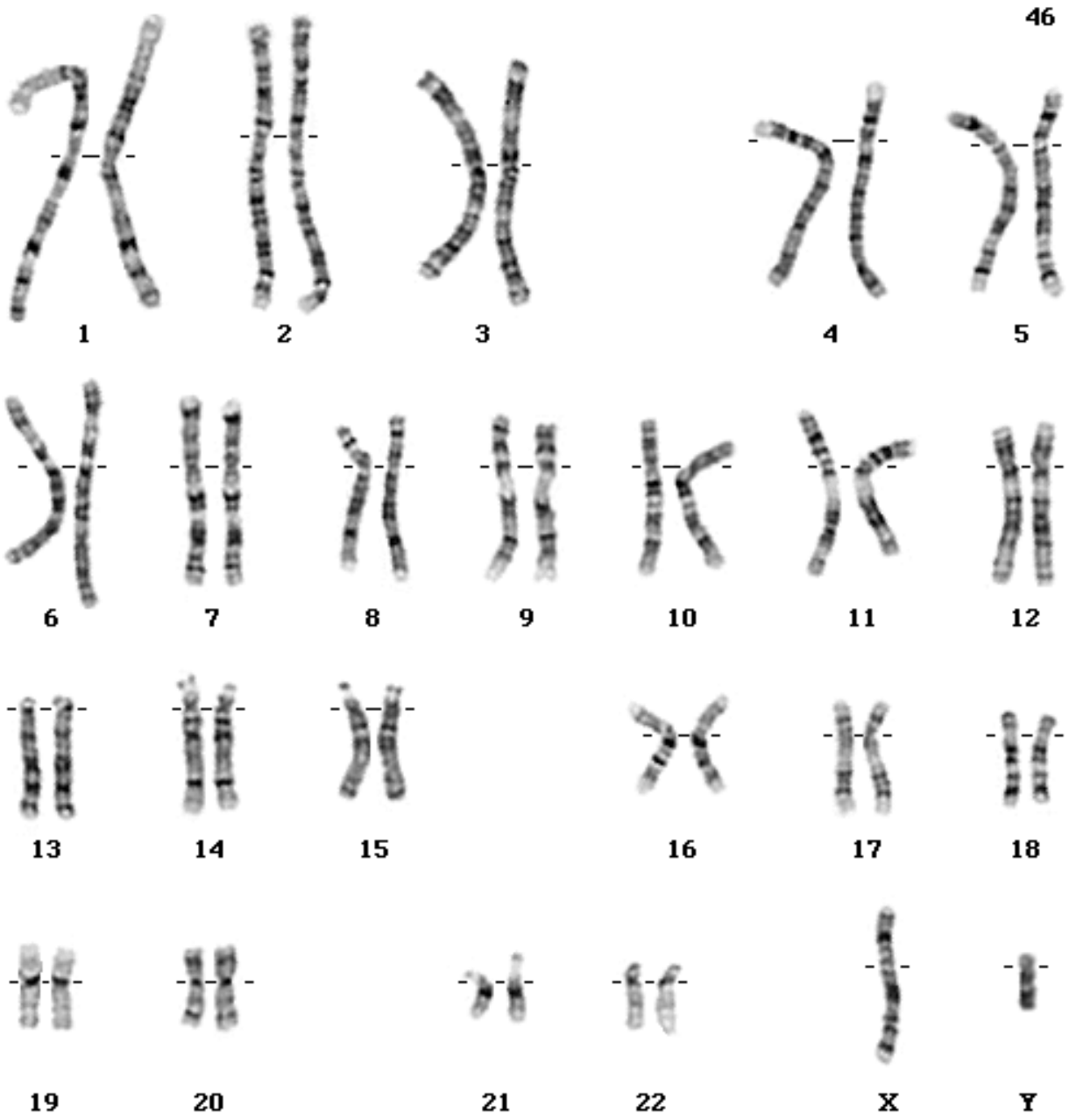




Cromossomos da mulher



Cromossomos do homem



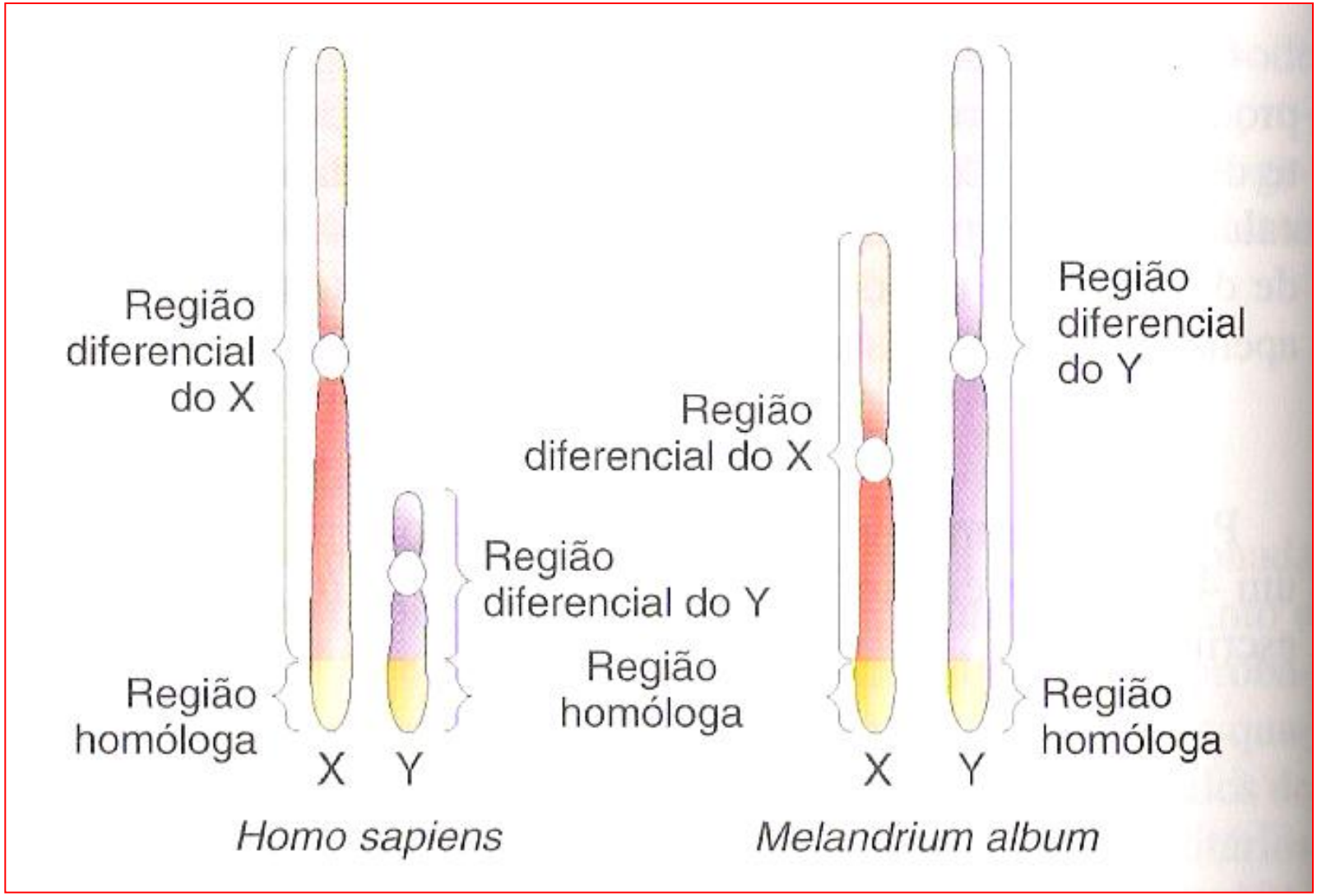
Genes ligados ao sexo

Algumas plantas dióicas também possuem cromossomos sexuais.

Ex: *Melandrium album* -> possui 20 autossomos + 2 cromossomos sexuais (fêmeas XX e machos XY).

Genes ligados ao sexo

Os cromossomos X e Y foram divididos em regiões homólogas e não homólogas (diferenciais)



Genes ligados ao sexo

Os genes em regiões diferenciais são chamados de *hemizigotos* (meio zigoto).

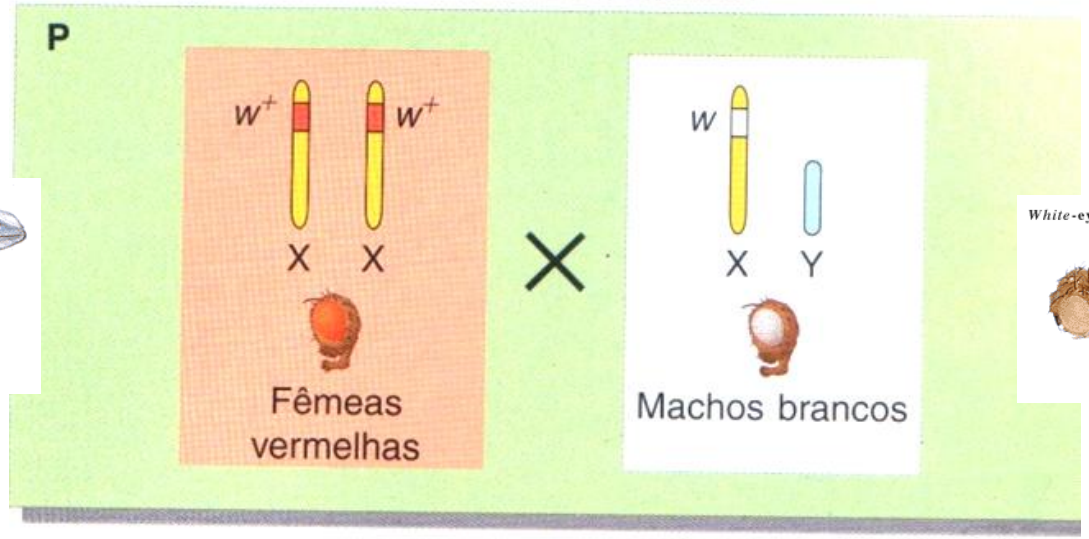
Os genes em regiões diferenciais do X mostram um padrão de herança chamada *ligação ao X.* E os na região diferencial do Y chamam-se *ligação ao Y.*

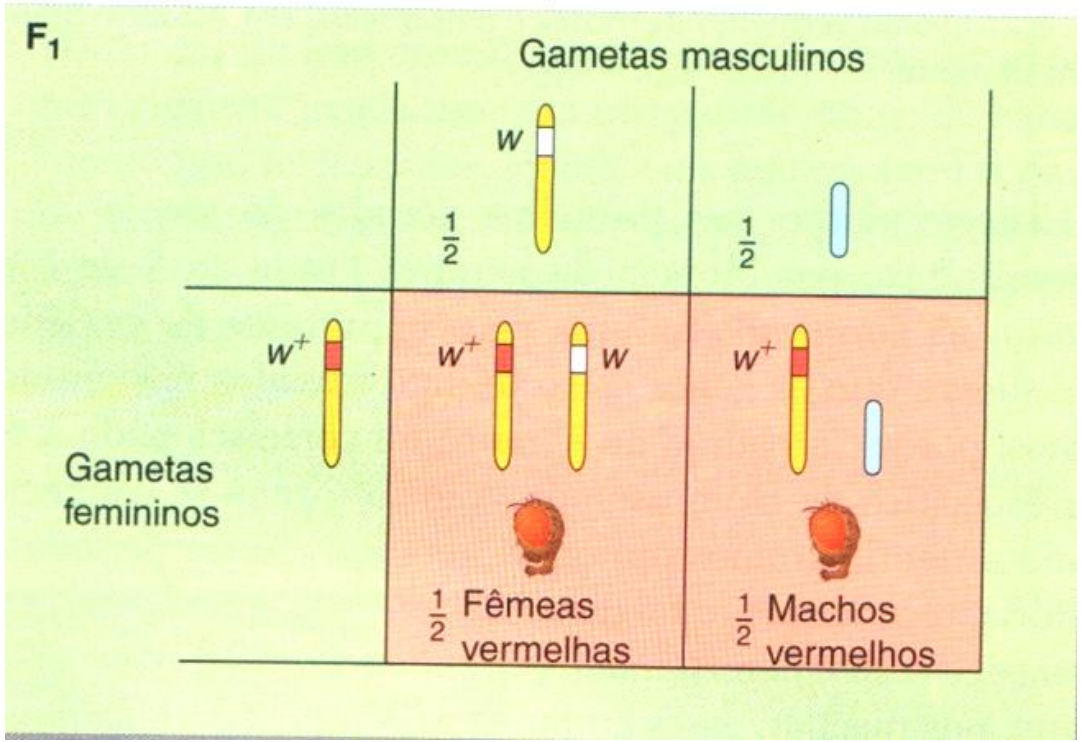
Em geral, genes ligados aos cromossomos X e Y são chamados genes ligados ao sexo.

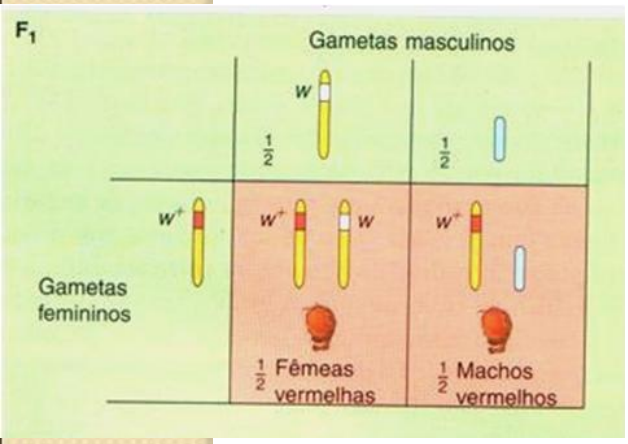
Genes ligados ao sexo

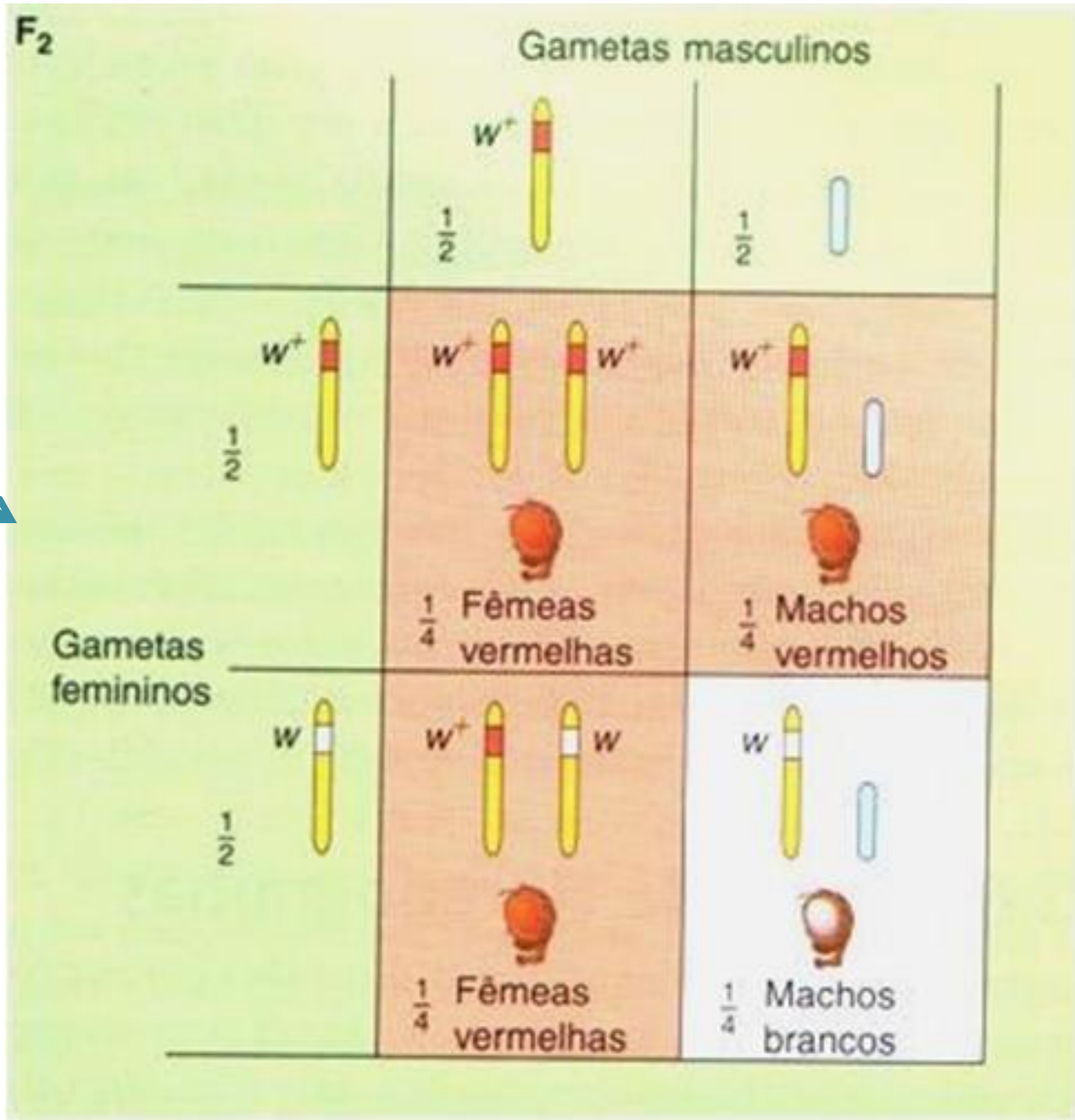
Ex: Cor do olho em *Drosophila*

Primeiro cruzamento





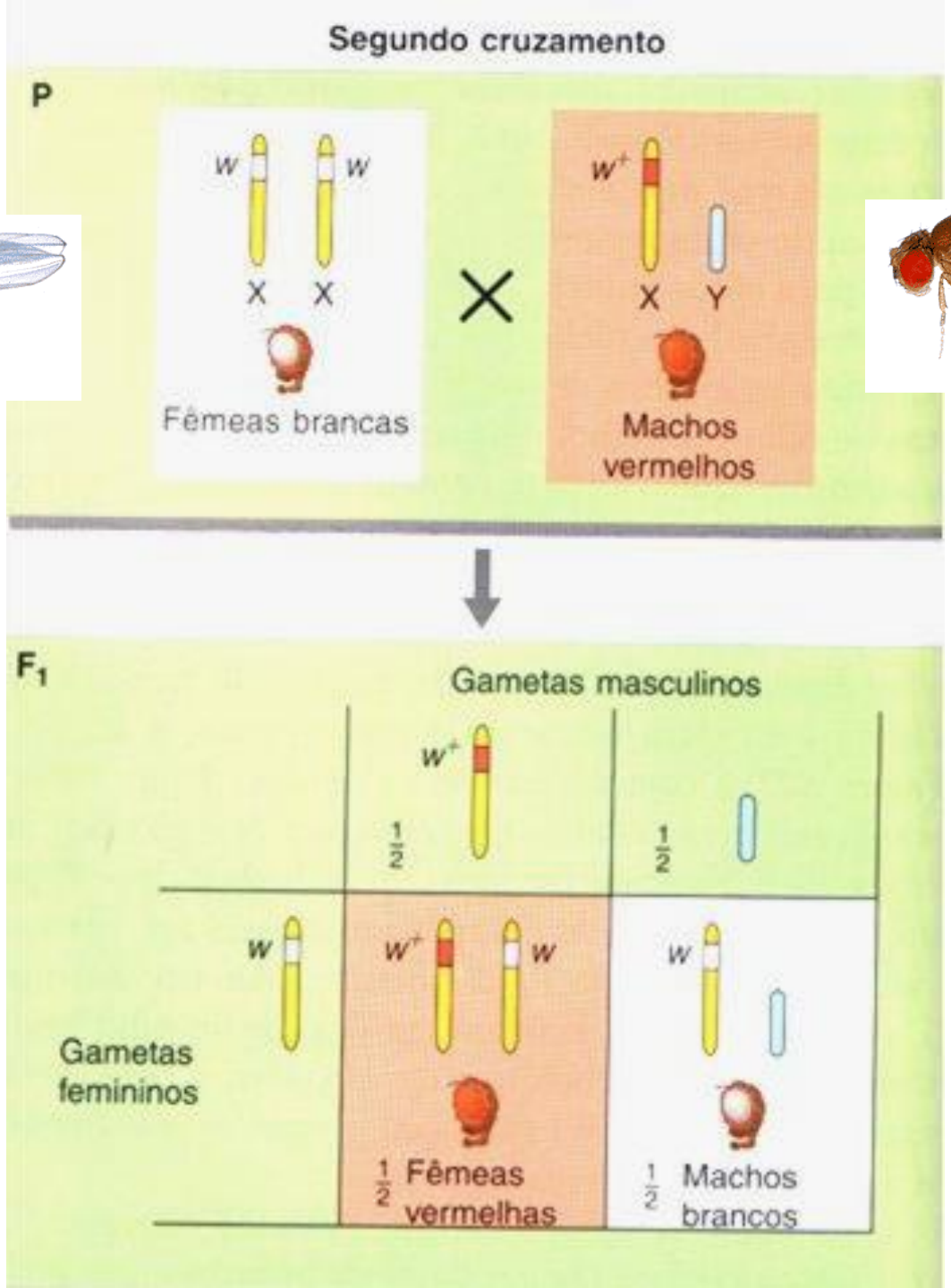




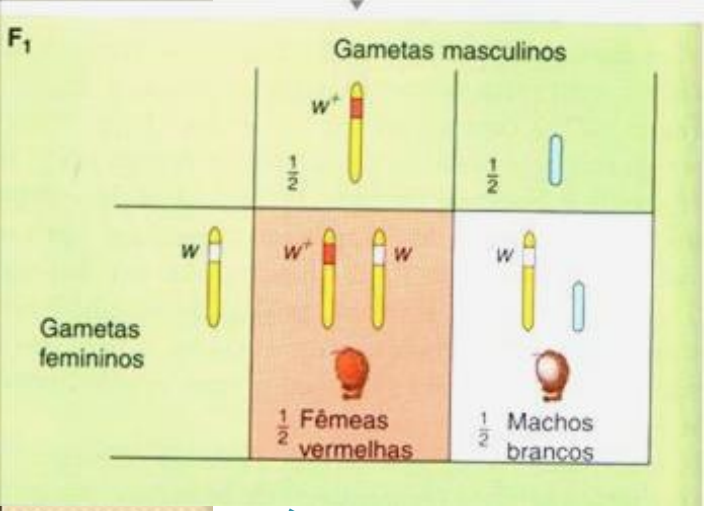
Proporção fenotípica:

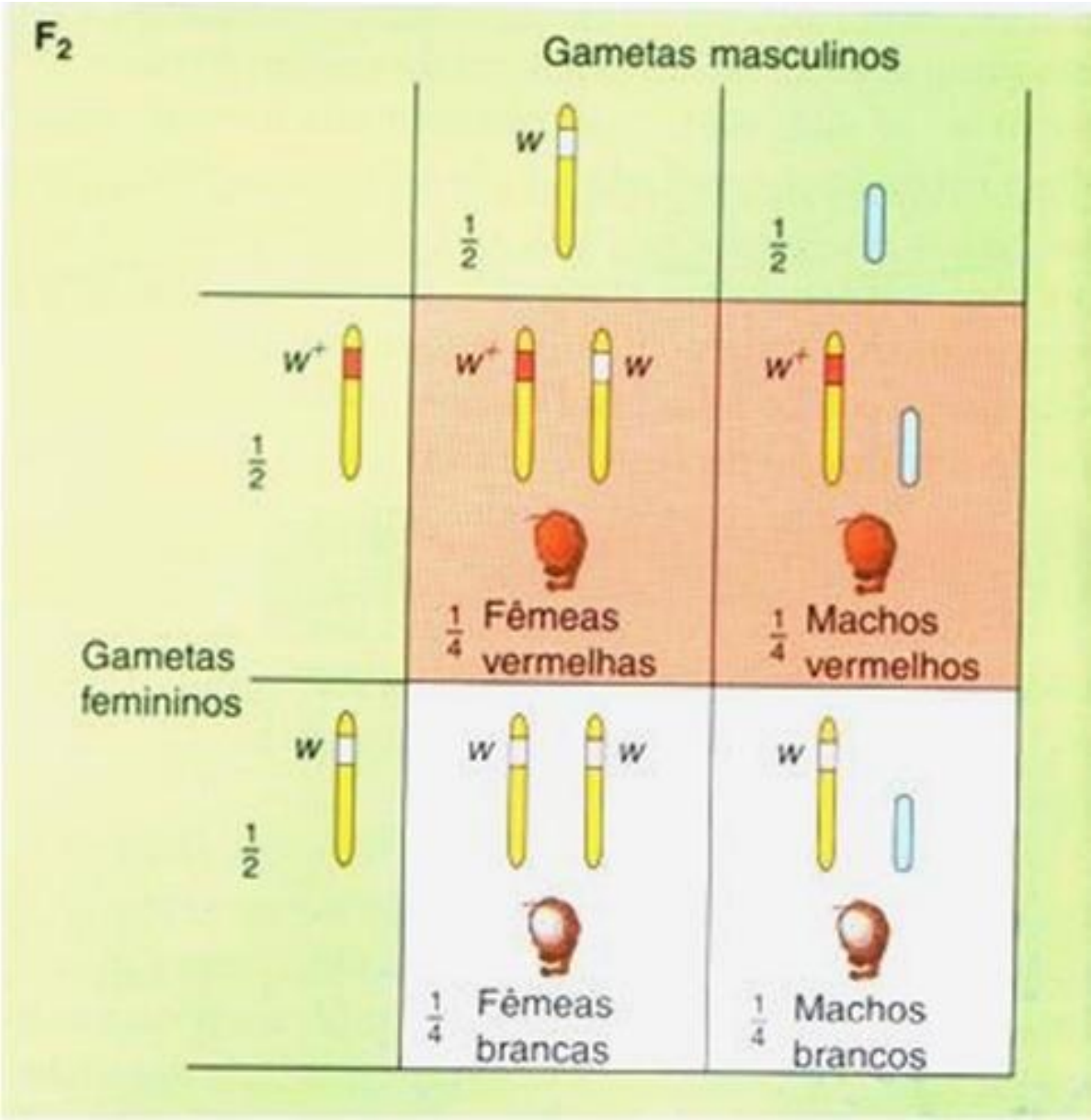
50% fêmeas vermelhas
25% machos vermelhos
25% machos brancos

White-eyed mutant fly


Segundo cruzamento
P
w
w
X
X
Fêmeas brancas
×
w+
X
Y
Machos vermelhos
F1
Gametas masculinos
w+
1/2
1/2
w
w+
w
w
Gametas femininos
1/2 Fêmeas vermelhas
1/2 Machos brancos

Red-eyed wild-type fly





Proporção fenotípica:

25% fêmeas vermelhas
25% fêmeas brancas
25% machos vermelhos
25% machos brancos

Referências para estudos:

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

Cap. 8 - Alelismo múltiplo

SNUSTAD, D.P.; SIMMONS, M.J. 2010. **Fundamentos de Genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 4ª Ed. 903p. **[575.1 S674f4].**

Cap. 4 - Extensões do mendelismo

GRIFFITHS, A.J.F.; WESSLER, S.R..; LEWONTIN, R.C.; CARROLL, S.B. 2008. **Introdução à genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 9ª Ed. 712p. **[575.1 161.9].**

Cap. 2 - Herança monogênica (pág. 51 a 54) – herança ligada ao sexo