

MUTAÇÃO

Importância da Mutação

- Fonte de variabilidade genética, matéria prima para a *evolução*
- Sem a mutação não existiriam tantos alelos, e os organismos não seriam capazes de se adaptar às mudanças ambientais que ocorrem ao longo do tempo

As mutações podem ser de 2 tipos:

Mutação gênica ou mutação de ponto:

Alterações muito pequenas num número reduzido de nucleotídeos da molécula de DNA.

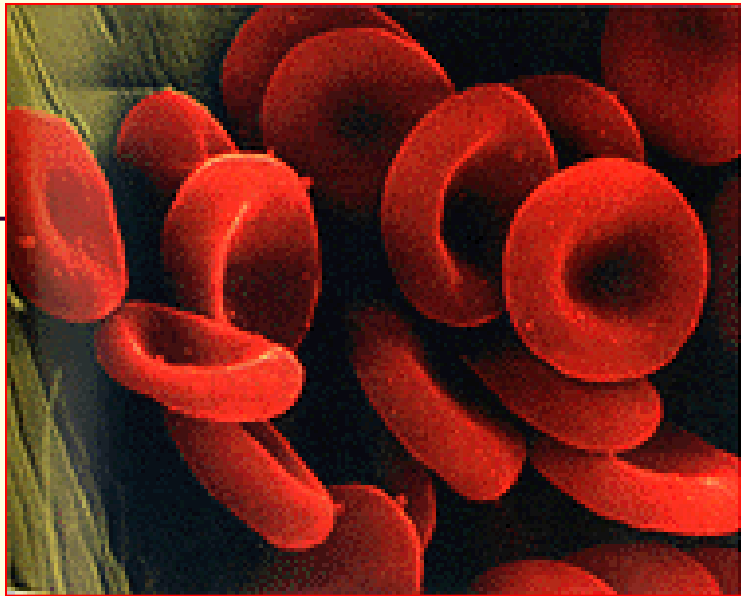
Mutação cromossômica ou aberração cromossômica:

Mutações que alteram de maneira visível ao microscópio, o número ou a estrutura dos cromossomos.

Mutação gênica ou mutação de ponto:

- Alterações na sequência de nucleotídeos, que alteram a sequência de aminoácidos na cadeia polipeptídica, levando a uma alteração fenotípica
- (Obs: mas nem sempre, pois existem as mutações neutras, sem efeito algum no fenótipo).
- Tipos de alterações: adição, deleção e substituição de bases.

Anemia falciformi

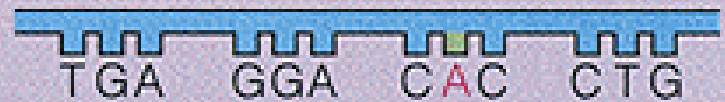


DNA

Normal beta globin



Sickle cell beta globin



mRNA



Amino acids



Conseqüências de mutações de ponto dentro de genes

Tipos de mutações no DNA	Resultados em nível molecular
<p style="text-align: center;">Sem mutação</p>	<div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Lis Arg Gli</p> <p style="margin: 0;">Códon 1 Códon 2 Códon 3 Códon 4</p> <p style="margin: 0;">Tipo selvagem A C A A A G A G A G G T Códons que especificam proteína tipo selvagem.</p> </div>
<p style="text-align: center;">Transição ou transversão</p>	<div style="margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">Mutação sinônima</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Lis Arg Gli</p> <p style="margin: 0;">A C A A A G A G C G G T Códon alterado especifica o mesmo aminoácido.</p> </div> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">Mutação de sentido trocado (conservativa)</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Lis Lis Gli</p> <p style="margin: 0;">A C A A A G A A A G G T Códon alterado especifica uma substância similar a um aminoácido.</p> </div> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">Mutação de sentido trocado (não-conservativa)</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Lis Ile Gli</p> <p style="margin: 0;">A C A A A G A T A G G T Códon alterado especifica um aminoácido quimicamente diferente.</p> </div> </div> <div> <p style="text-align: center;">Mutação sem sentido</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre FIM</p> <p style="margin: 0;">A C A T A G A G A G G T Códon alterado indica término da cadeia.</p> </div> </div>
<p style="text-align: center;">Indel</p>	<div style="margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">Inserção de bases</p> <p style="text-align: center;">Mudança de matriz de leitura</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Glu Glu Arg ...</p> <p style="margin: 0;">A C A G A A G A G A G G T ...</p> </div> </div> <div> <p style="text-align: center;">Deleção de base</p> <p style="text-align: center;">Mudança de matriz de leitura</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin: 0;">Tre Arg Glu Val ...</p> <p style="margin: 0;">A C A A G A G A G G T ...</p> </div> </div>

Mutações cromossômicas -> ocorrem ao nível do cromossomo

→ Mutações numéricas

(aberrações numéricas) -> variações no número de cromossomos

→ Mutações estruturais

(aberrações estruturais) -> variações na estrutura dos cromossomos

Mutação cromossômica ou Aberração cromossômica

1. **Numéricas:** envolvem alterações no número cromossômico.

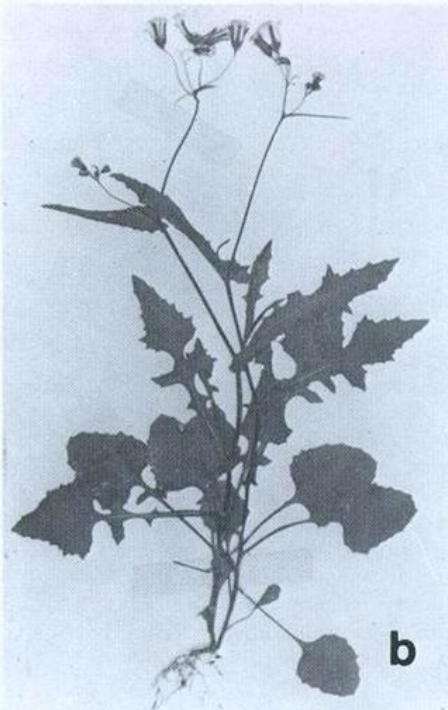
Euploidias - células ou organismos nos quais o número de genomas (n) ocorre em múltiplos inteiros ($n, 3n, 4n, 5n, \text{etc.}$).

Aneuploidias - o indivíduo tem cromossomos a mais ou a menos em um dos pares, mas não em todos.

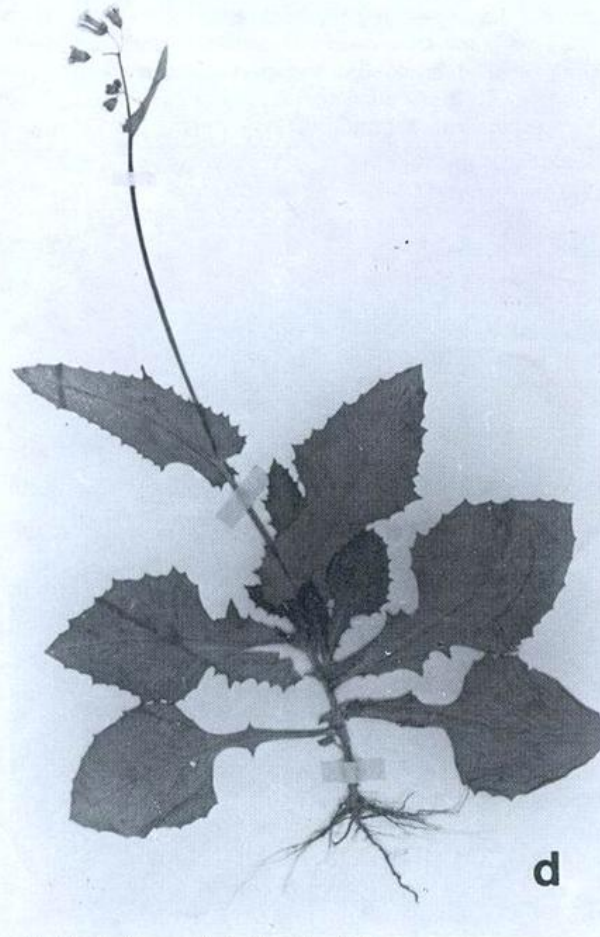
As **ABERRAÇÕES NUMÉRICAS** são também denominadas de **poliploidias**.

-> importantes para a agricultura (60% das plantas cultivadas tem origem poliplóide).

-> maior número de cromossomos e, em geral, frutos, folhas e raízes maiores, aumentando assim a produtividade.

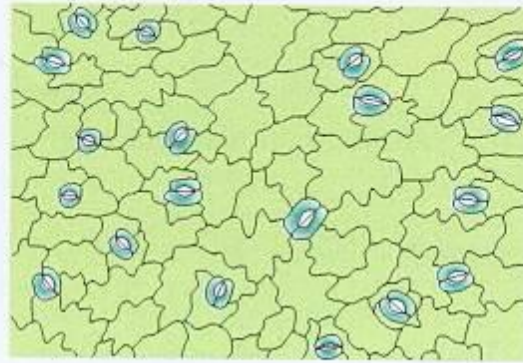


A e B: *Emilia sonchifolia* ($2n=10 = 2x$)



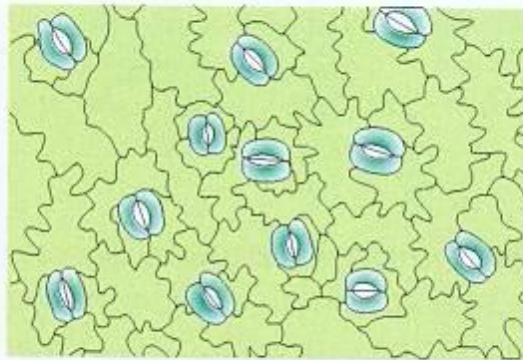
C e D: *Emilia sagittata* ($2n=20 = 4x$)

$2n$



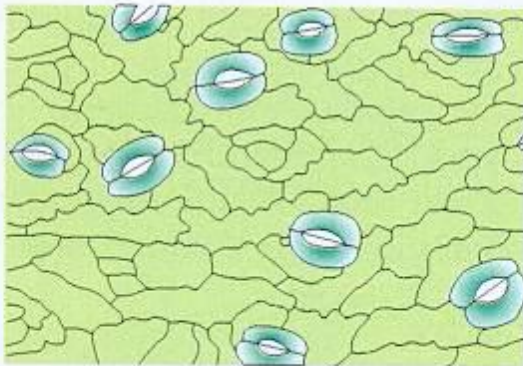
(a)

$4n$



(b)

$8n$



(c)

*Aumento no
tamanho dos
estômatos
foliares*



Uvas diplóides (*esquerda*) e tetraplóides (*direita*).

Euploidias

→ **Autopoliploidia** -> indivíduos com 3 ou mais genomas idênticos
[Genoma AA (2n) triplica-se -> AAA (3n).
Ex: banana];

Diferentes níveis de ploidia podem ser selecionados. Ex:

n -> haplóide (A)

2n -> diplóide (AA)

3n -> triplóide (AAA)

4n -> tetraplóide (AAAA)

6n -> hexaplóide (AAAAAA), etc..



a) Autopoliploides

Um autotetraploide AAAA se origina diretamente de um diplóide AA, pela duplicação de seu número de cromossomos ou pela união de 2 gametas diplóides (não reduzidos).

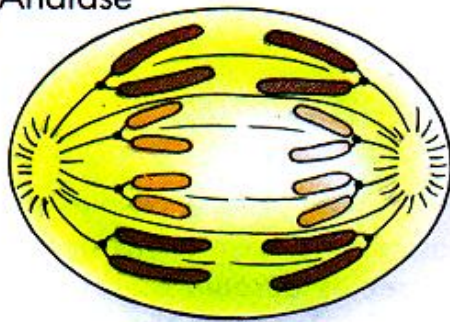
Colchicina: impede a formação das fibras do fuso e faz com que os cromossomos não se separem na mitose. Tratamentos prolongados podem criar séries numéricas de $4n$, $6n$, $8n$, etc...

DIVISÃO CELULAR
NORMAL



Célula $2n$

Anáfase



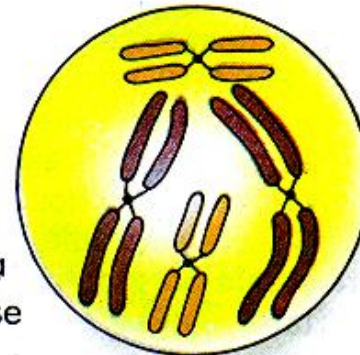
Células-filhas $2n$

DIVISÃO CELULAR COM
COLCHICINA



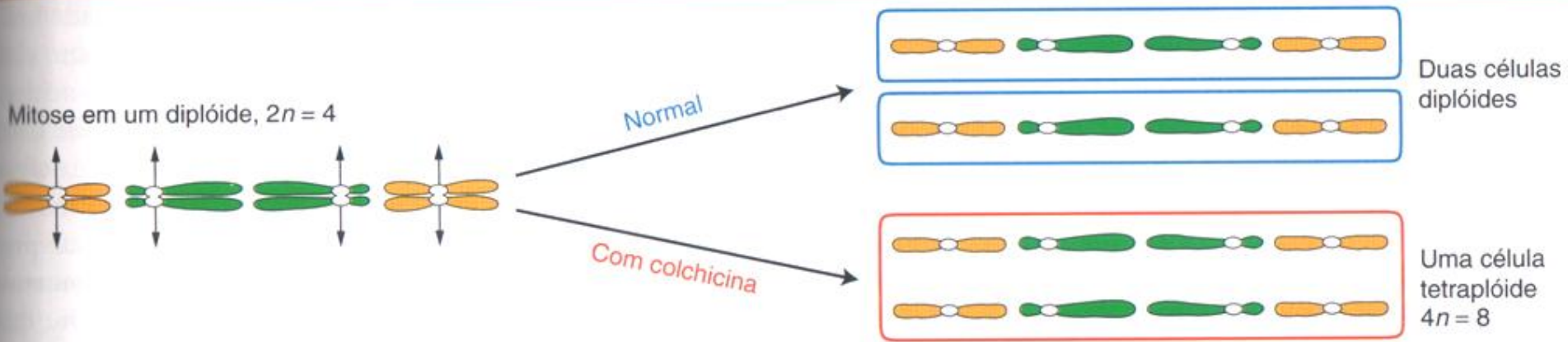
Célula $2n$

Divisão
bloqueada
em metáfase

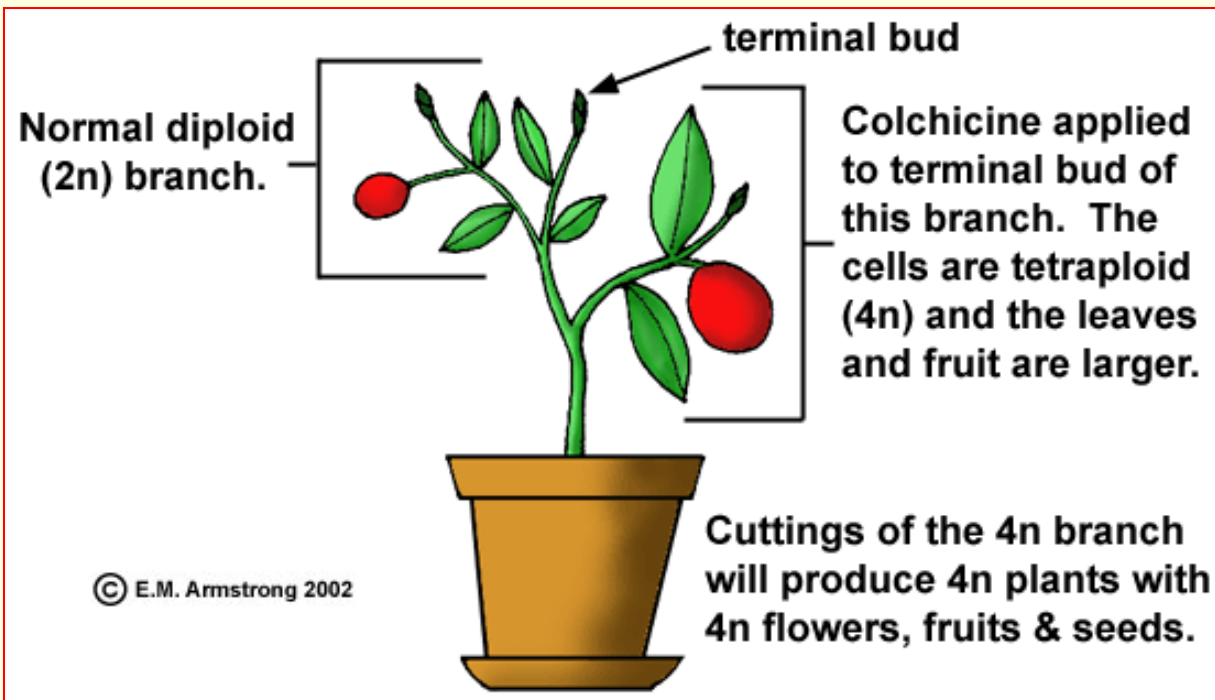


Célula poliploide ($4n$)

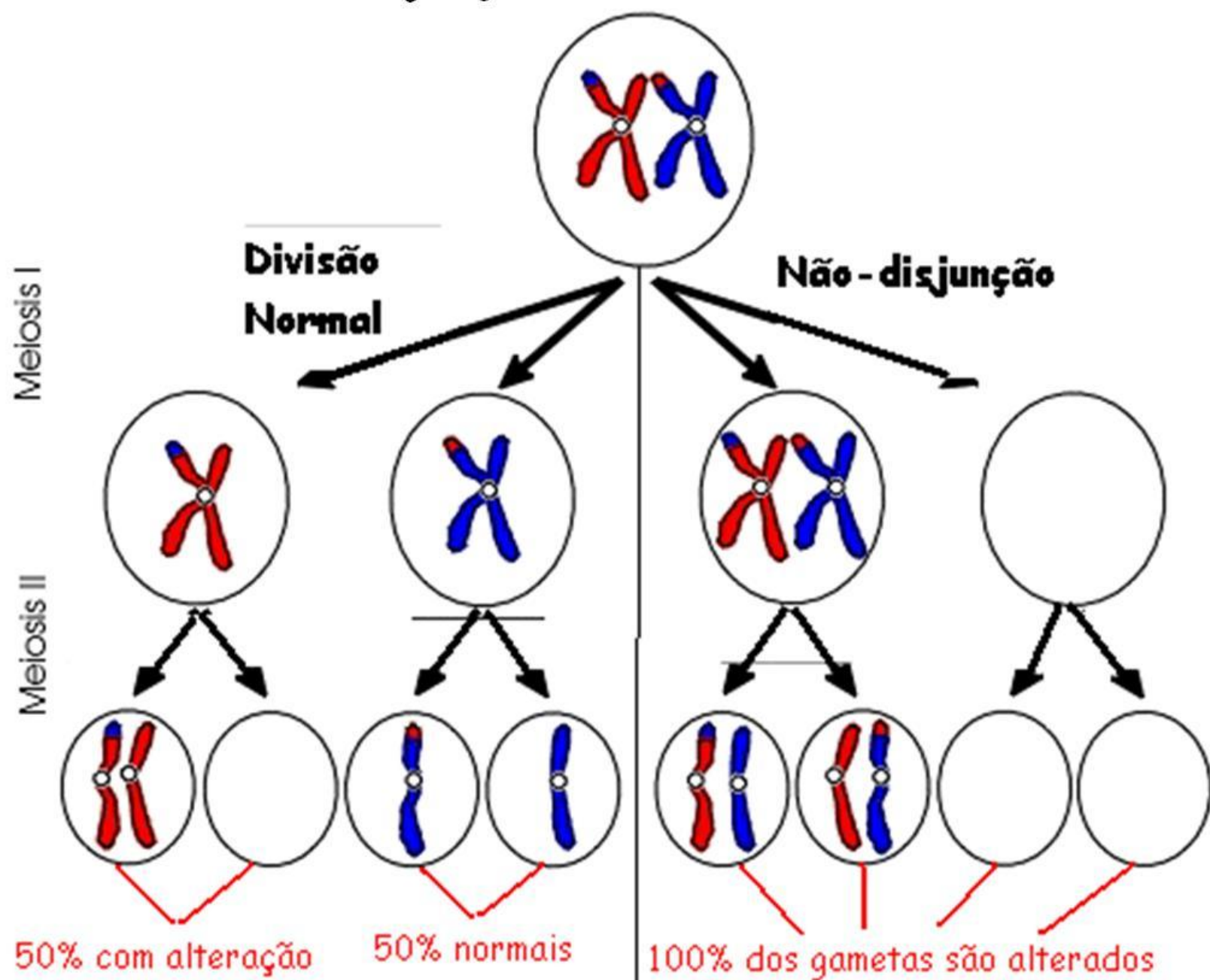
A colchicina induz poliploidia



Colchicina aplicada às gemas terminais



Não-disjunção durante a meiose

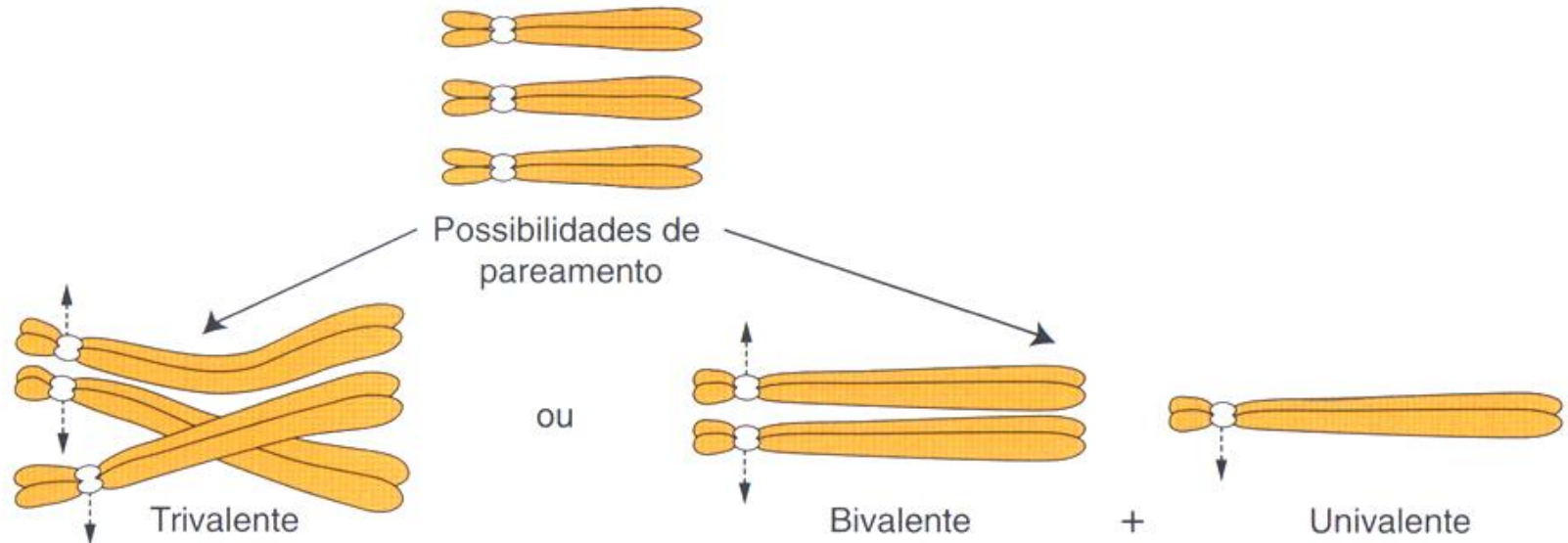


Exemplos:

→ **Triplóides (3n)**

→ Quando plantas tetraplóides (4n) ou diplóides (2n) com gametas não reduzidos, ou seja, que produzem gametas 2n viáveis, que se unem na fertilização com gametas haplóides (n).

Pareamento meiótico em triplóides



Exemplos:

→ uva sem sementes, maçã, pera, banana.

→ banana -> genoma A, diplóide $2n = AA$
Um gameta não reduzido ($2n$) se uniu a um gameta normal (n), produzindo um indivíduo triplóide ($3n$), com genoma AAA



Reprodução por partenocarpia -> desenvolvimento do ovário na flor em um fruto sem fertilização

Outra forma de origem da banana triploide:

Musa acuminata (Asian Banana) × ***Musa balbisiana*** (Asian Banana) = ***Musa X paradisiaca*** (Hybrid Banana)

AA (fertile) **BB** (fertile) **AAB or ABB** (etc.) (sterile)

Origin Of Triploid Banana From Asian Parents

A = one haploid set of chromosomes from *M. acuminata*

B = one haploid set of chromosomes from *M. balbisiana*





- Melancia sem semente, triplóides (Japão) → cruzamento de plantas diplóides ($2n$) com tetraplóides ($4n$), e produção de sementes triplóides ($3n$) inviáveis.
- > Mais saborosa e com mais polpa.
 - > Problema: quantidade de mão-de-obra para fazer os cruzamentos entre as plantas $2n$ e $4n$.

Número de cultivares de diferentes ploidias de melancia lançadas no mercado mundial.

Ploidia de cultivares de melancia	N° de cultivares no mercado mundial
Híbrido diploide	189
Híbrido triploide	163
Tetraploide	2
Polinização aberta	118
Não identificada	44
Total	516

Fonte: Adaptado de Lane Agriculture Center (2009).



Beterrabas açucareiras triplóides -> superiores às diplóides, com maior produção de açúcar e peso das raízes.

→ Tetraplóides (4n)



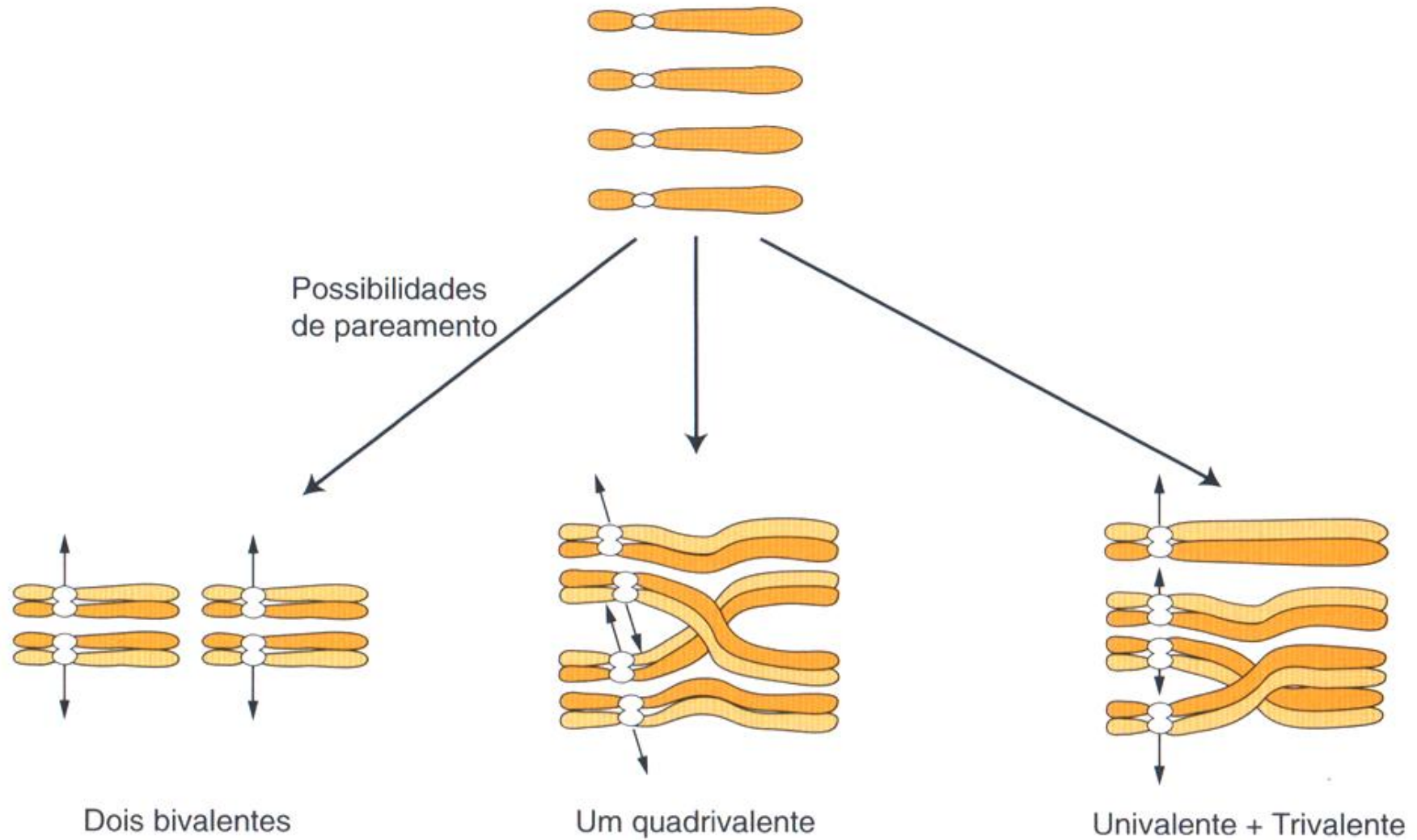
- > freqüentemente se originam a partir de uma duplicação de diplóides (2n)
- > aparecem com maior freqüência na natureza.

→ Orquídeas -> flores de maior tamanho, intensificação do colorido e durabilidade das flores, além de maior resistênci a doenças.

→ Rosas tetraplóides -> folhas e flores bem maiores (gigantismo).

→ Tomate tetraplóide -> mais rico em vitamina C

Pareamento cromossômico em um autotetraplóide





→ Seringueira autotetraplóide -> produz mais borracha que a diplóide, pois apresenta maior crescimento e diâmetro dos vasos laticíferos. Foi inicialmente desenvolvida no IAC.

→ **Alopoliploidia** -> indivíduo com no mínimo 2 genomas diferentes

Uma espécie nova é formada pela união de 2 genomas distintos.

Ex: algodão



G. herbaceum e *G. arboreum* (diplóides) ⇒ Velho Mundo

G. barbadense e *G. hirsutum* (alotetraplóides) ⇒ Novo Mundo

Espécies diplóides do Velho Mundo:



G. arboreum



G. herbaceum

$2n = 26$ (genoma AA)

Espécies alotetraplóides do Novo Mundo:

G. barbadense

G. hirsutum

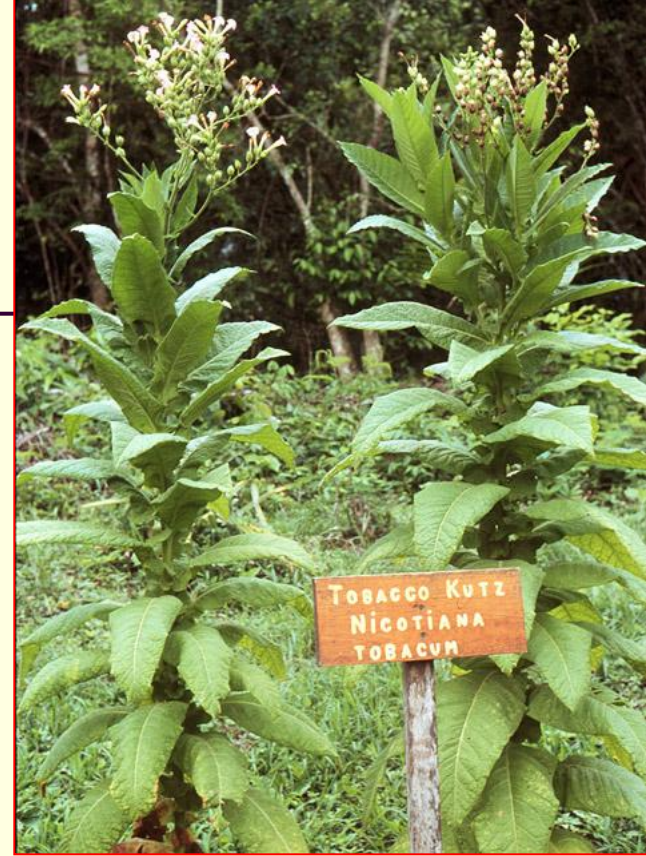


$2n = 52$ (genoma AADD)

São alotetraplóides, $2n=4x=52$ (AADD)

- O doador dos 26 maiores pares de cromossomos, genoma AA, é tanto *G. arboreum* ou *G. herbaceum*, do Velho Mundo, da Índia, e cultivados na África e Ásia.
- O outro progenitor diplóide é *G. raimondi*, de genoma DD, do Novo Mundo, e ocorre no Peru.

Ex: O fumo (*Nicotiana tabacum*) é um alotetraplóide natural com $2n = 48$ cromossomos, originado do cruzamento entre as espécies *N. tomentosiformis* ($2n = 24$) e *N. sylvestris* ($2n = 24$).

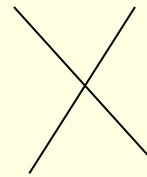




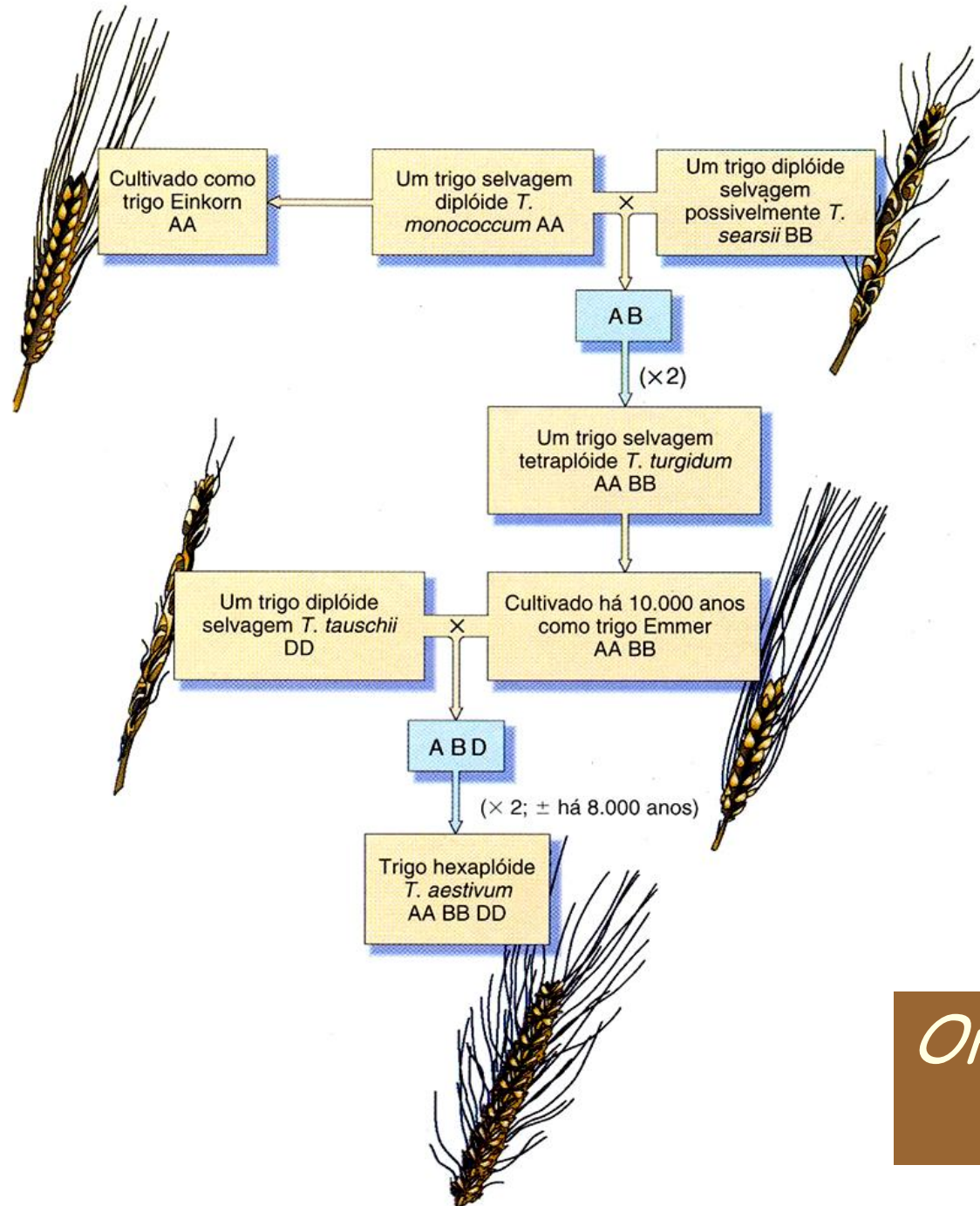
Nicotiana tabacum
 $2n = 48$



N. tomentosiformis ($2n=24$)



N. glauca



Origem do trigo

Rabanete

Repolho

Rapallo

Raphanus
Radish
(2n = 18)

X

Brassica
Cabbage
(2n = 18)

=

Raphanobrassica
Rabbage
(2n = 18)

RRRRRRRRR
RRRRRRRRR
Fertile

CCCCCCCCC
CCCCCCCCC
Fertile

RRRRRRRRR
CCCCCCCCC
Sterile
(synaptic failure)

Diploid (2n) Rabbage

colchicine

Tetraploid (4n) Rabbage

RRRRRRRRR
CCCCCCCCC

RRRRRRRRR CCCCCCCCC
RRRRRRRRR CCCCCCCCC

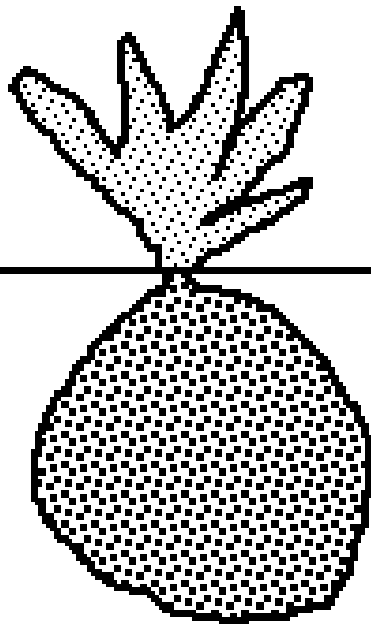
The Formation Of A Fertile Tetraploid Rabbage

R = radish chromosome

C = cabbage chromosome

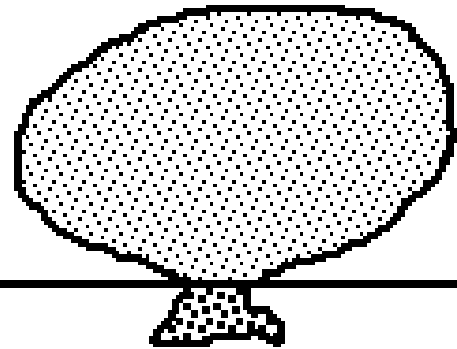
2n = 36 cromossomos

Radish



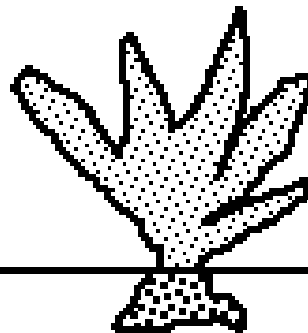
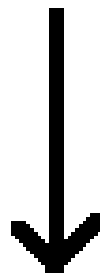
Rabanete

Cabbage



Rabbage

Repolho



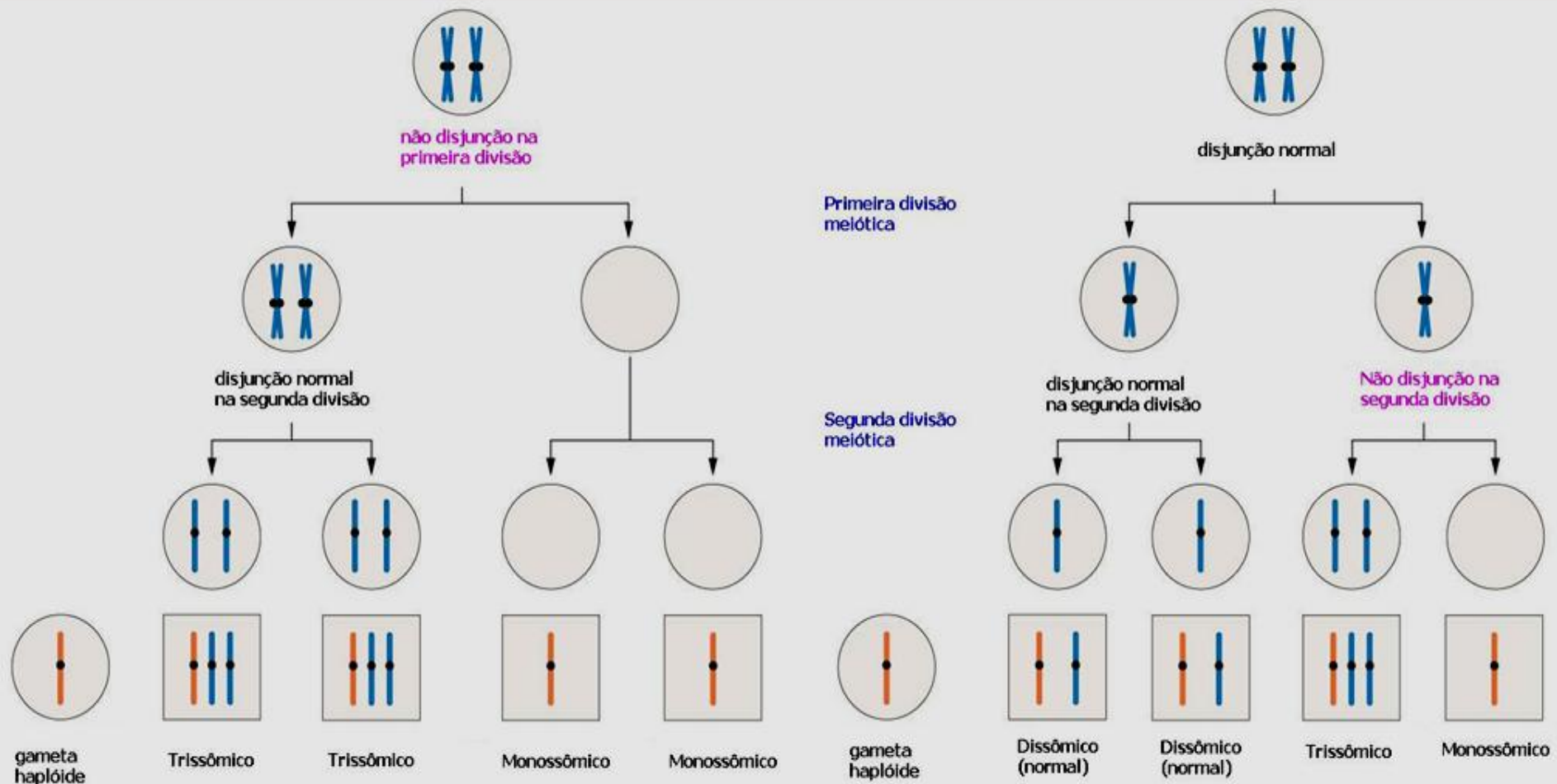
Rapallo

Plantas com origem poliplóide evidente

Cultura	2n	Tipo de poliploidia
Alfafa	32	autotetraplóide
Banana	33, 44	autotriplóide/autotetr.
Café	44	alotetraplóide
Algodão	52	alotetraplóide
Amendoim	40	alotetraplóide
Aveia	42	alohexaplóide
Batata	48	autotetraplóide
Cana-de-açúcar	40-122	?
Morango	56	autooctaplóide
Trigo (<i>T. aestivum</i>)	42	alohexaplóide
Cará (<i>Dioscorea alata</i>)	30-80	autopoliplóide

Aneuploidias

- > Alterações no número de cromossomos, ocasionando ganho ou perda de cromossomos.
- > As consequências são graves tanto para plantas como para animais.
- > Os aneuplóides podem deixar descendentes em plantas. No entanto, espécies que se propagam vegetativamente suportam mais a aneuploidia, devido à esterilidade.



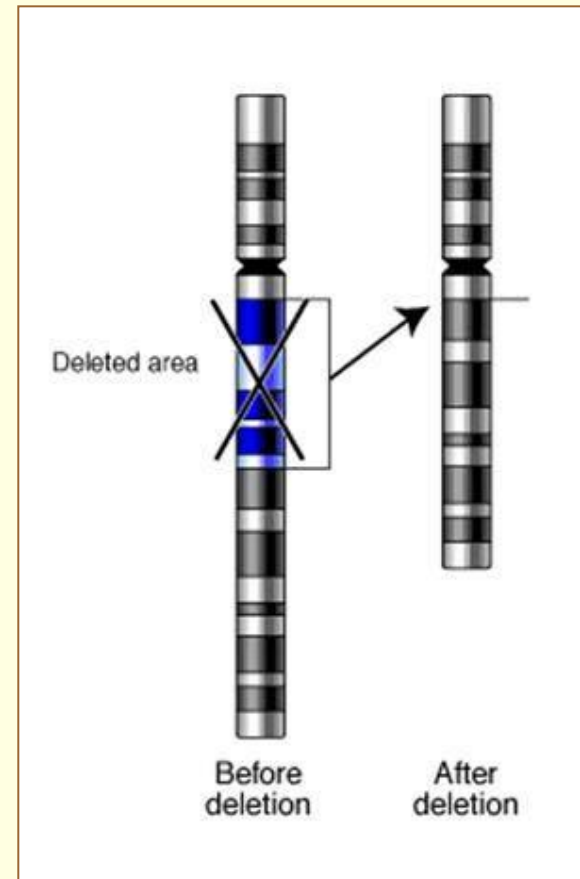
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

$2n-1$ (monossômico)
 $2n+1$ (trissômico)
 $2n+2$ (tetrassômico)

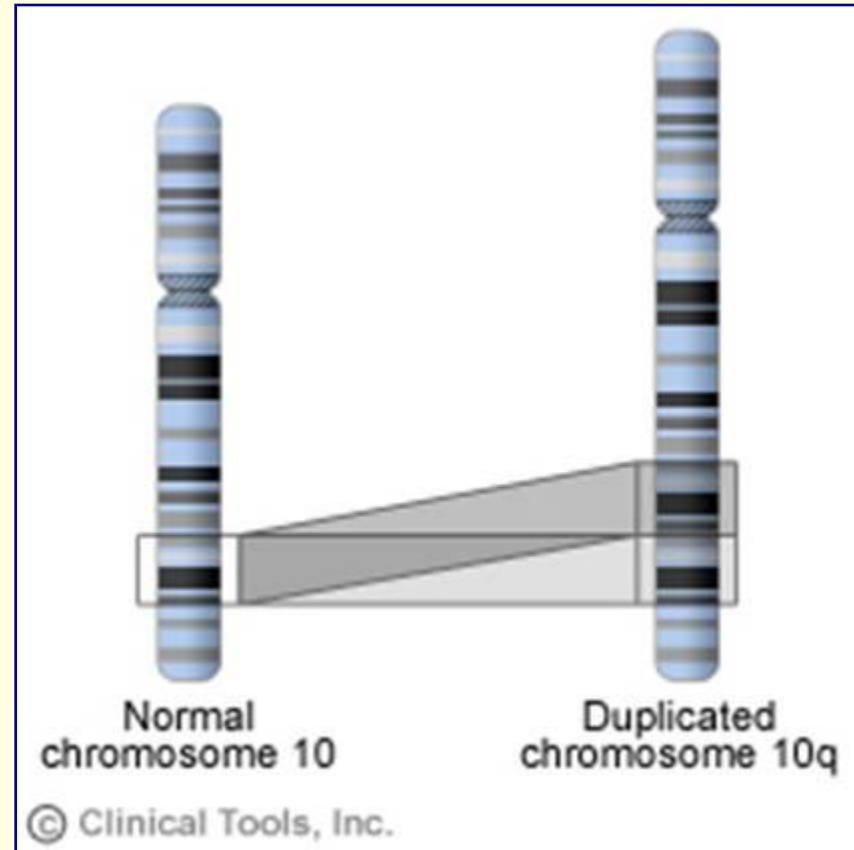
2. Aberrações Estruturais:

Afetam a estrutura dos cromossomos, ou seja, o número ou o arranjo dos genes nos cromossomos.

- *Deficiência ou deleção - é a perda de uma porção maior ou menor do cromossomo, resultando na falta de um ou mais genes.*

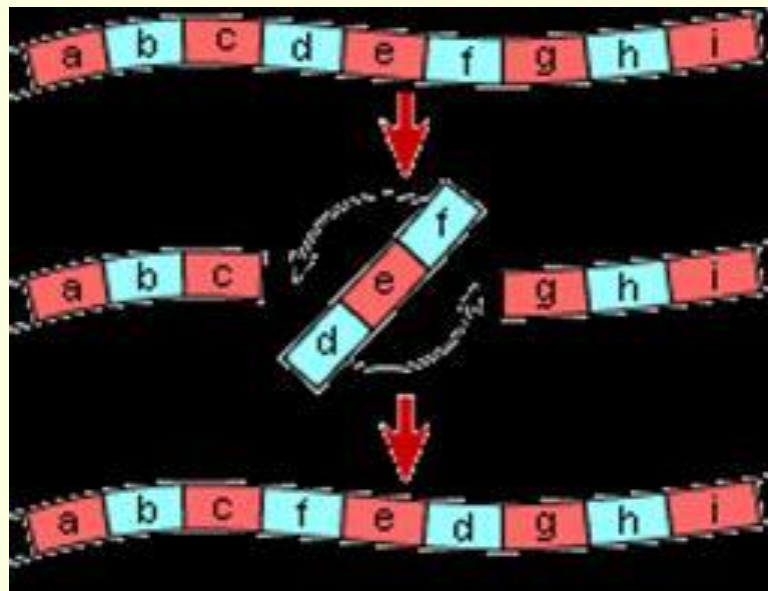


■ *Duplicação* - é o produto da presença de uma porção extra de cromossomo, resultando na repetição de um ou mais genes.



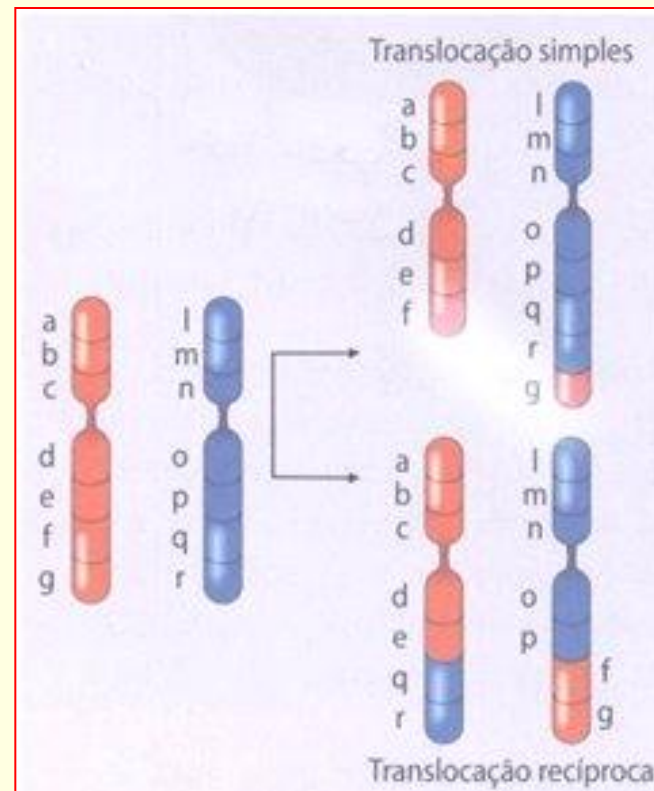
2. Estruturais

- *Inversão* - ocorre quando, num determinado segmento de cromossomo, houver duas fraturas, seguidas da subsequente soldadura do fragmento mediano, agora, porém, colocado em posição invertida.



2. Estruturais

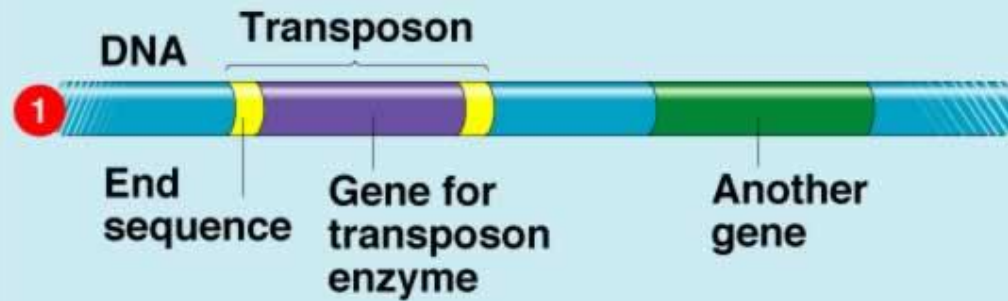
- ❑ *Translocação* - ocorre quando dois cromossomos não-homólogos quebram simultaneamente e trocam segmentos.



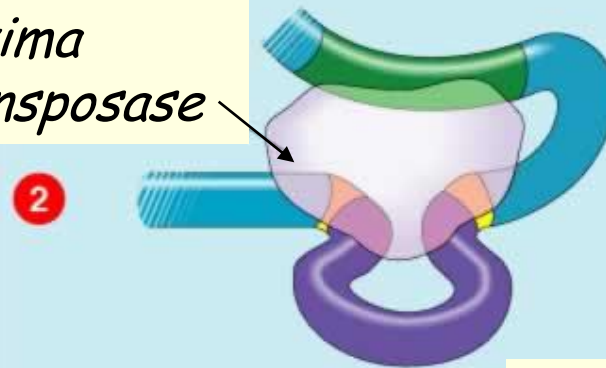
ELEMENTOS DE TRANSPOSIÇÃO

TRANSPOSONS

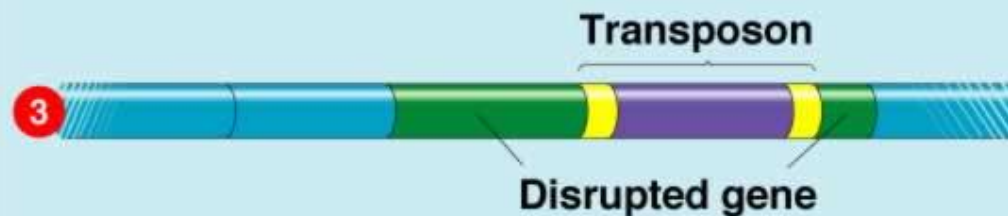
=> Elementos genéticos móveis capazes de mudar de posição dentro de um cromossomo ou de passar de um cromossomo para outro, independente de haver homologia entre as regiões em que estão inseridos e a que se destinam.



*Enzima
transposase*

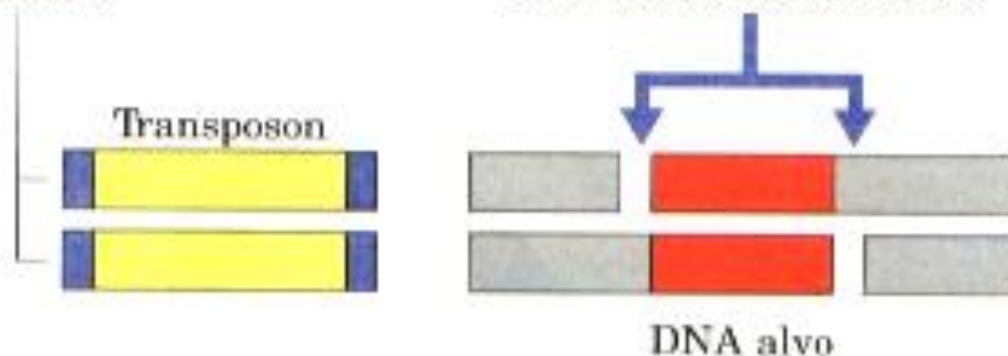


O transposon é cortado e inserido em novo local, e neste caso dentro de um gene.

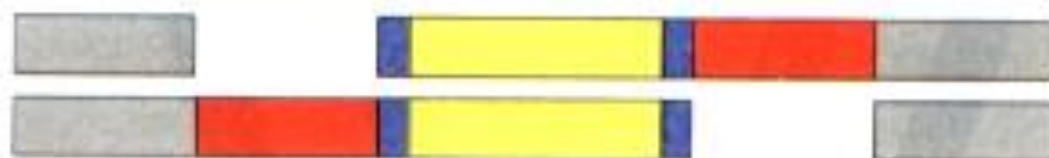


Repetições
terminais

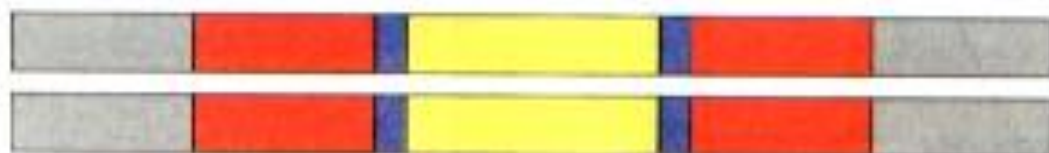
Transposase faz cortes
alternados no sítio alvo.



O transposon é inserido no sítio dos cortes.



A replicação preenche os vazios, duplicando as seqüências
que flanqueiam o transposon.



Elementos de transposição

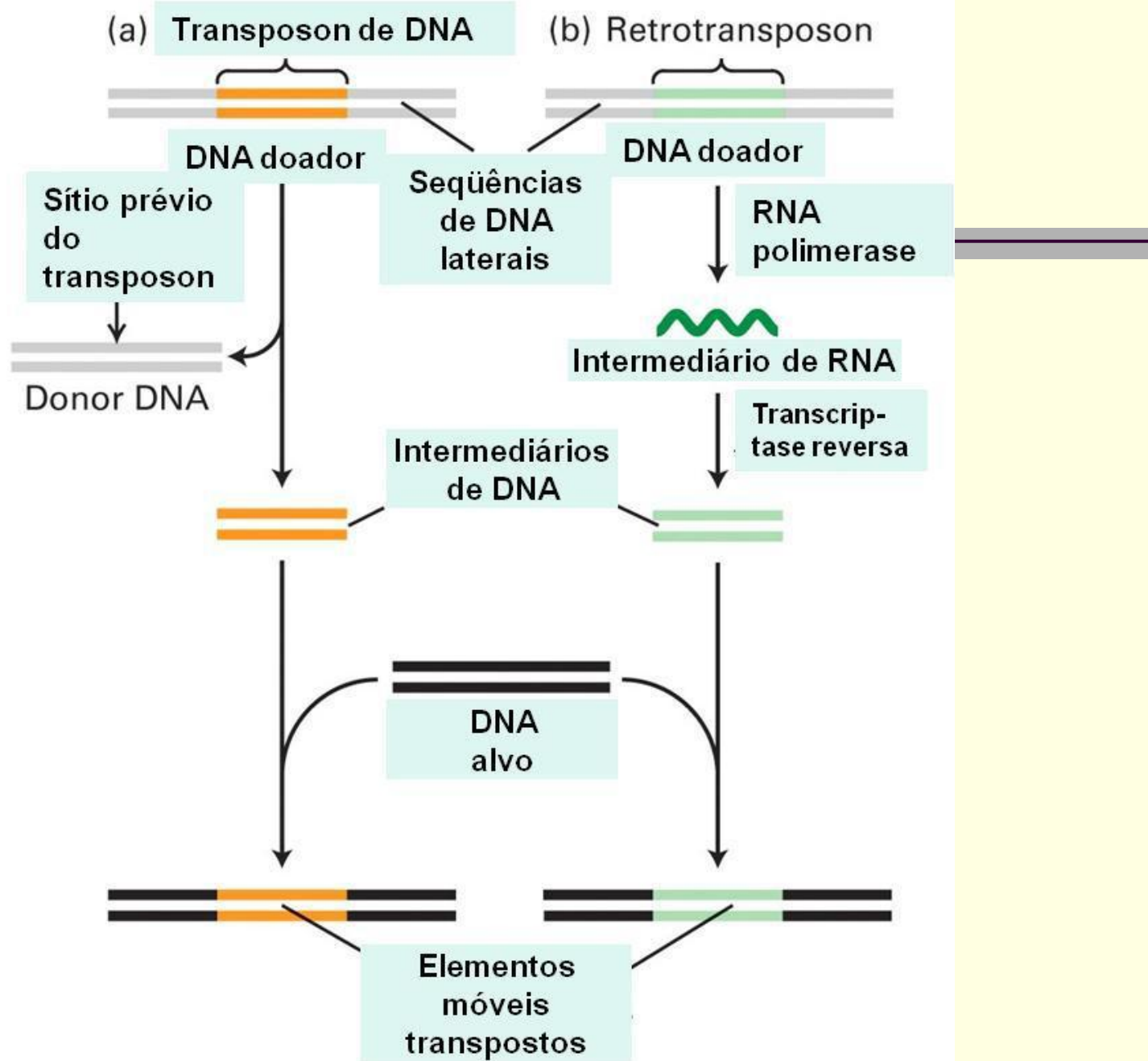
→ *Praticamente todos os organismos apresentam elementos de transposição e que eles compõem uma fração significativa do genoma da maioria dos eucariotos.*

→ *Duas classes: retrotransposons e transposons de DNA*

→ *Divisão é realizada a partir do mecanismo de transposição*

a) Retrotransposons -> mecanismo de transposição possui um intermediário de RNA

b) Transposons de DNA -> São transpostos movendo seu DNA de uma localização para outra sem a presença de um intermediário de DNA



Elementos de transposição em gramíneas são responsáveis por diferenças no tamanho do genoma

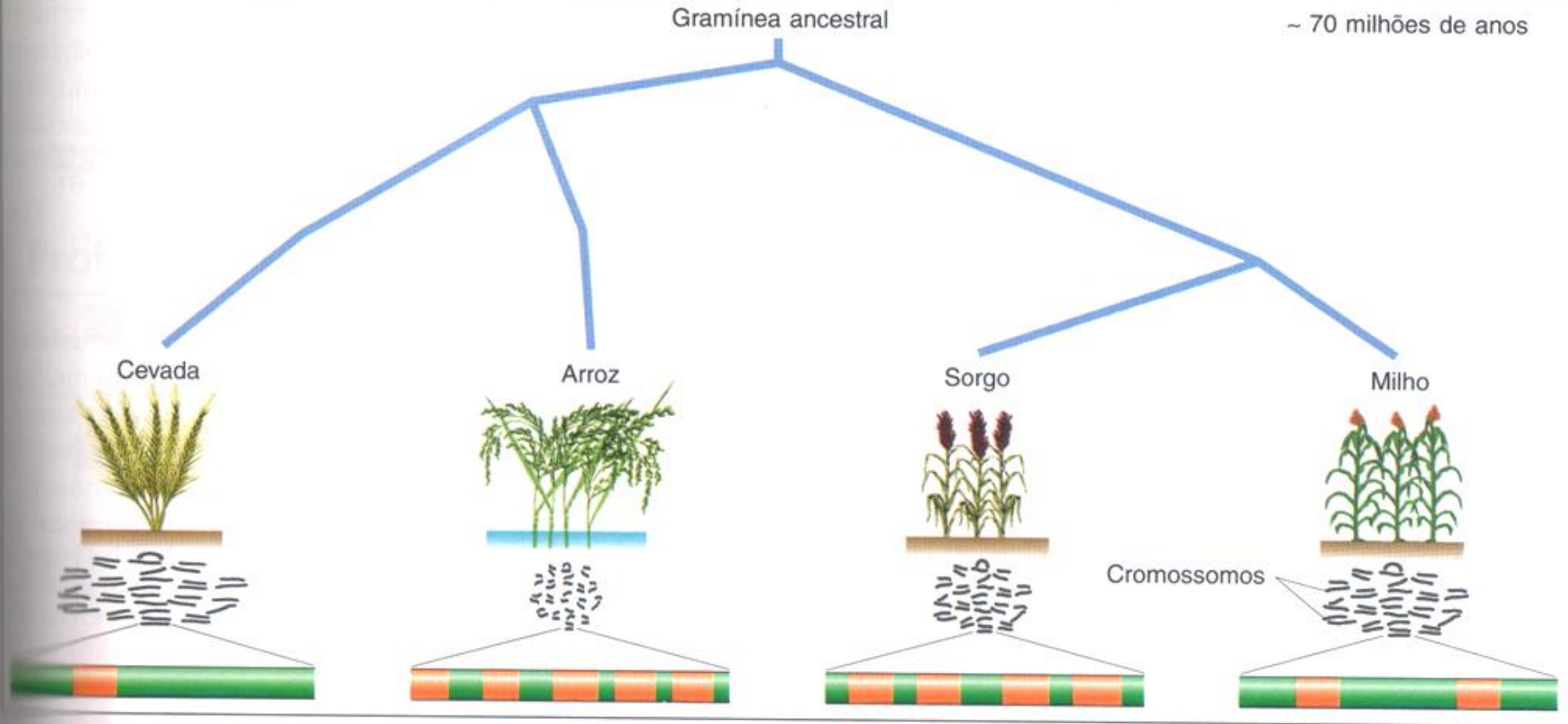


FIG. 14.22 As gramíneas, incluindo cevada, arroz, sorgo e milho, divergiram de um ancestral comum há cerca de 70 milhões de anos. Desde essa época, os elementos de transposição acumularam níveis diferentes de cada espécie. Os cromossomos são maiores em milho e cevada, cujos genomas contêm grandes quantidades de retrotransposons LTR. Verde no genoma parcial na parte de baixo representa um aglomerado de transposons, enquanto laranja representa genes.

Em genética, para considerar qualquer alteração, precisamos ter um ponto de referência fixo.

*Nosso ponto padrão é o **tipo selvagem***

*Um organismo, ou célula, cujo fenótipo alterado é atribuível a uma mutação é chamado **mutante**.*

O tipo selvagem de hoje pode ter sido um mutante no passado evolutivo, e vice-versa.

Drosophila

Fenótipos de Drosophila:

- a. Macho do tipo selvagem, vista lateral
 - b. Fêmea do tipo selvagem, vista lateral (notar as diferenças nas cerdas da pata dianteira (pente sexual) e terminação caudal do abdome)
 - c. Asas vestigiais
 - d. Corpo com coloração ébano (esquerda) e tipo selvagem, vista dorsal
 - e. Corpo preto e asa curvada
 - f. Asas dichaete
- (Cortesia da Carolina Biological Supply Company)

Macho tipo selvagem



Fêmea tipo selvagem



Asas vestigiais



Corpo ébano à esquerda
Tipo selvagem à direita



Corpo preto e asa curvada



Asas tipo dichaete



Fenótipos de antenas e olhos mutantes em *Drosophila*:
a. Cabeça do tipo selvagem, vista dorsal
b. Aristapedia, antena substituída por uma estrutura semelhante à perna, vista dorsal
c. Olho com coloração sépia (esquerda) e do tipo selvagem
d. Olho com coloração white (esquerda) e do tipo selvagem
e. Olho bar
f. Eyles

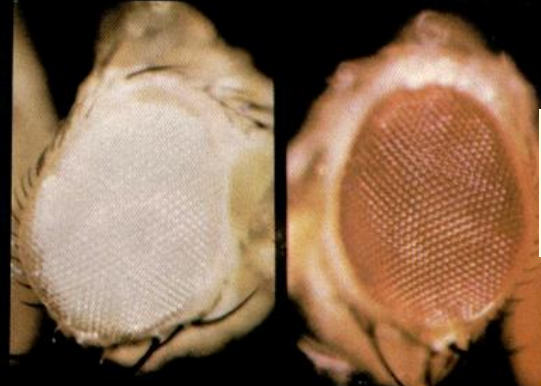
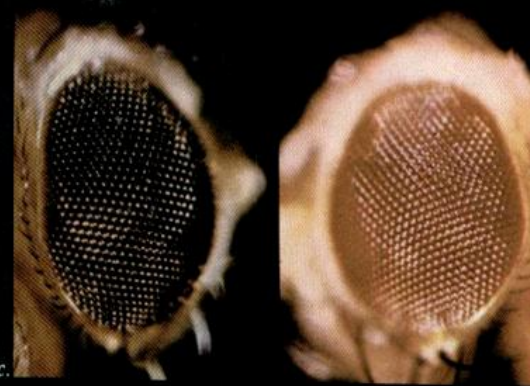
(Cortesia da Carolina Biological Supply Company)

Cabeça tipo selvagem



Antena Substituída Por uma perna

Olho mutante à esquerda



Olho mutante à esquerda

Mutante - olho bar



Mutante - olho eyles

Como mutações causam diferenças no fenótipo?

Gene -----→ polipeptídeo -----→ caráter
(informação) (ação)

Mutação -→ novo -----→ polipeptídeo -----→
alelo (informação #) alterado

-----→ caráter
(ação #) diferente

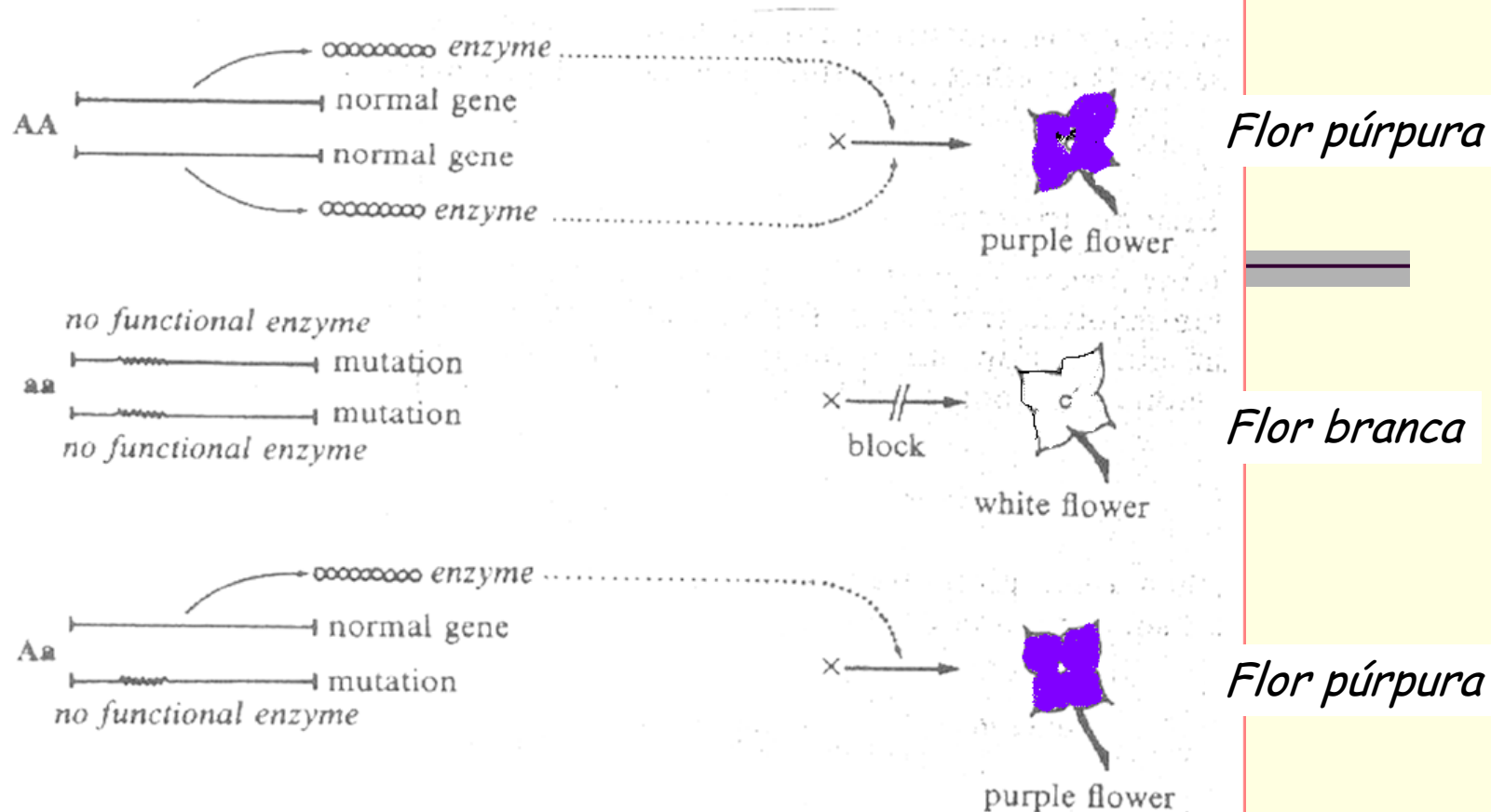


Fig. 15.4 Explanation of how a mutation can cause a character difference, and what is meant by *dominant* and *recessive* in molecular terms. A is the normal

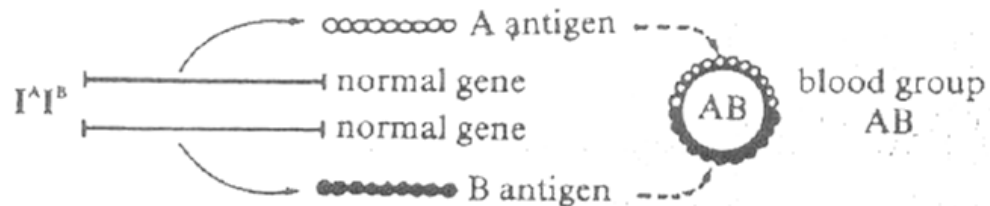


Fig. 15.5

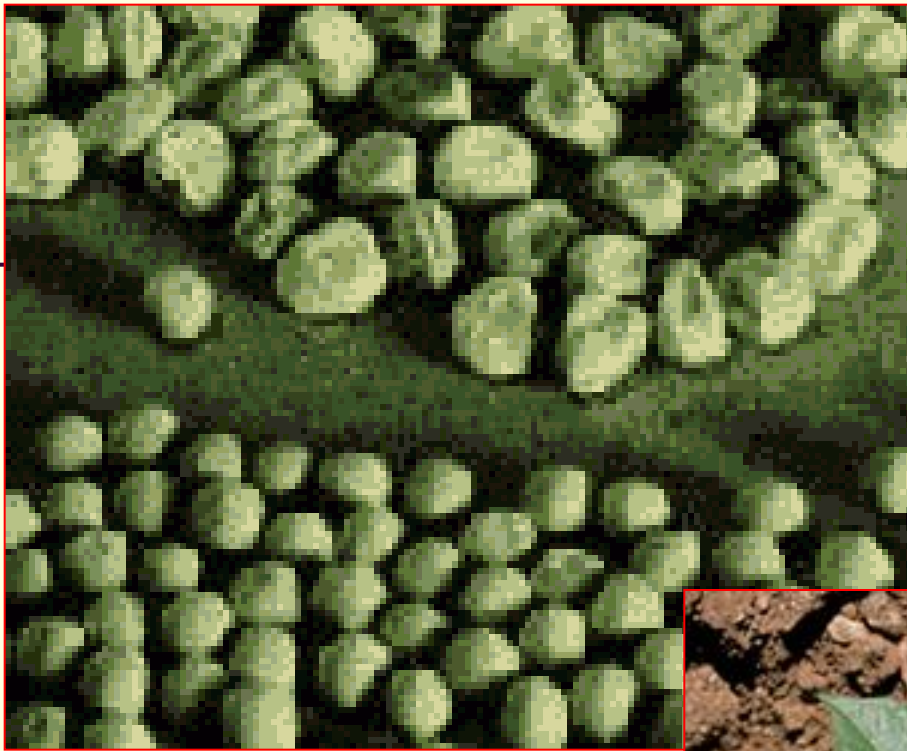
Tipos de mutações

Mutações morfológicas

- ervilhas do Mendel (enrugadas, etc..),
- *Drosophila* (olhos brancos, asas vestigiais, etc)
- Homem (albinismo, cor do olho, etc..) e muitas outras características que afetam o tamanho, cor e forma de um organismo

Mutações letais

- Mutações que matam o organismo. Ex: plantas albinas não têm clorofila e morrem ainda jovens



← *Ervilhas*

Planta albina →



Tipos de mutações

Mutações bioquímicas

→ São identificadas pela perda, ou pelo defeito em alguma função bioquímica específica de uma célula

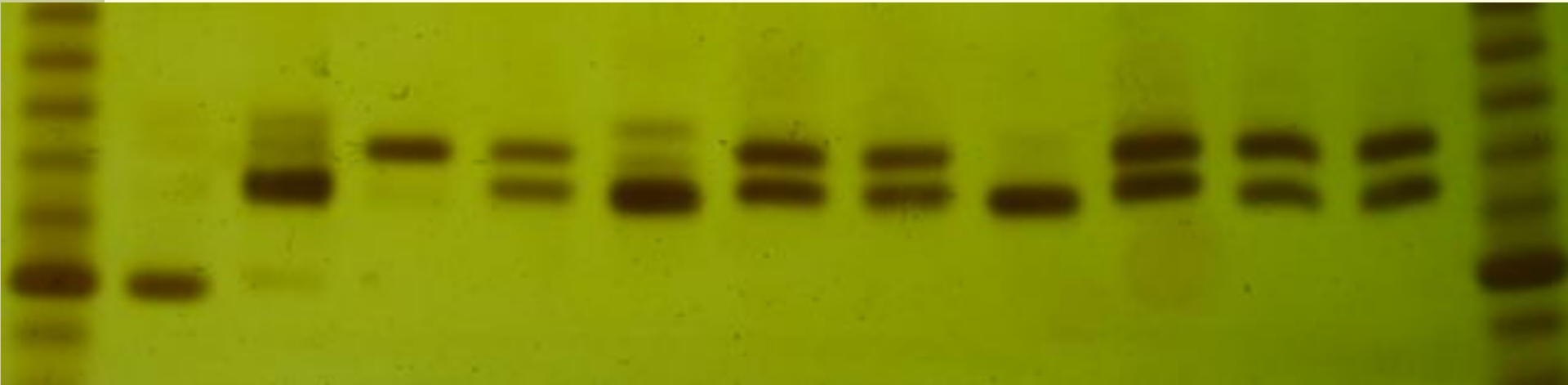
Mutações regulatórias

→ Mutações em genes que controlam a atividade de outros genes. Ex: operon lac
(Regulação gênica)

Polimorfismos de proteínas e marcadores moleculares

→ Mutações sem efeito visível no fenótipo (**mutações neutras**), mas que podem ser detectadas por eletroforese de proteínas ou enzimas, produtos primários do gene, ou por marcadores moleculares (microsatélites, RAPD, AFLP, etc.)

Marcadores microssatélites em mandioca



Mutações são raras !!!

Estimativa das taxas de mutação espontâneas:

1 par de base/10⁹ pares de bases/célula =>
1/1.000.000.000

A maioria das mutações são deletérias, sendo normalmente eliminadas pela *seleção natural*.

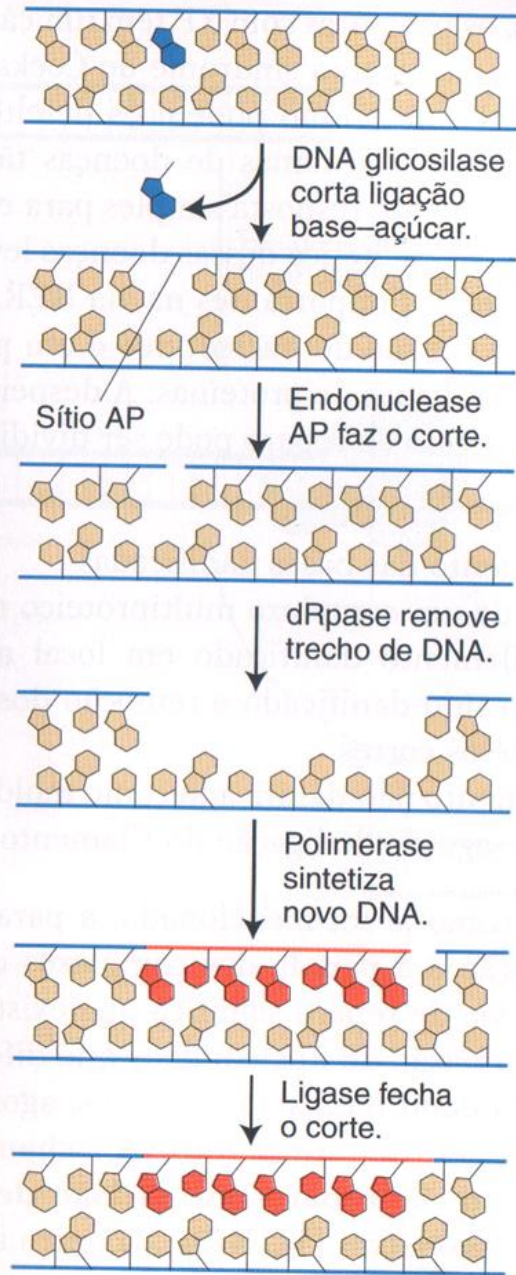


Mecanismos de Reparação do DNA

A sobrevivência de um indivíduo está diretamente relacionada à sua estabilidade genética.

A manutenção desta estabilidade requer não apenas um mecanismo bem desenvolvido de replicação do DNA, mas também de mecanismos de reparação do DNA, que reparam as lesões acidentais (mutações) que ocorrem continuamente no DNA.

Um pequeno dano de base é detectado e restaurado por reparo por excisão de base

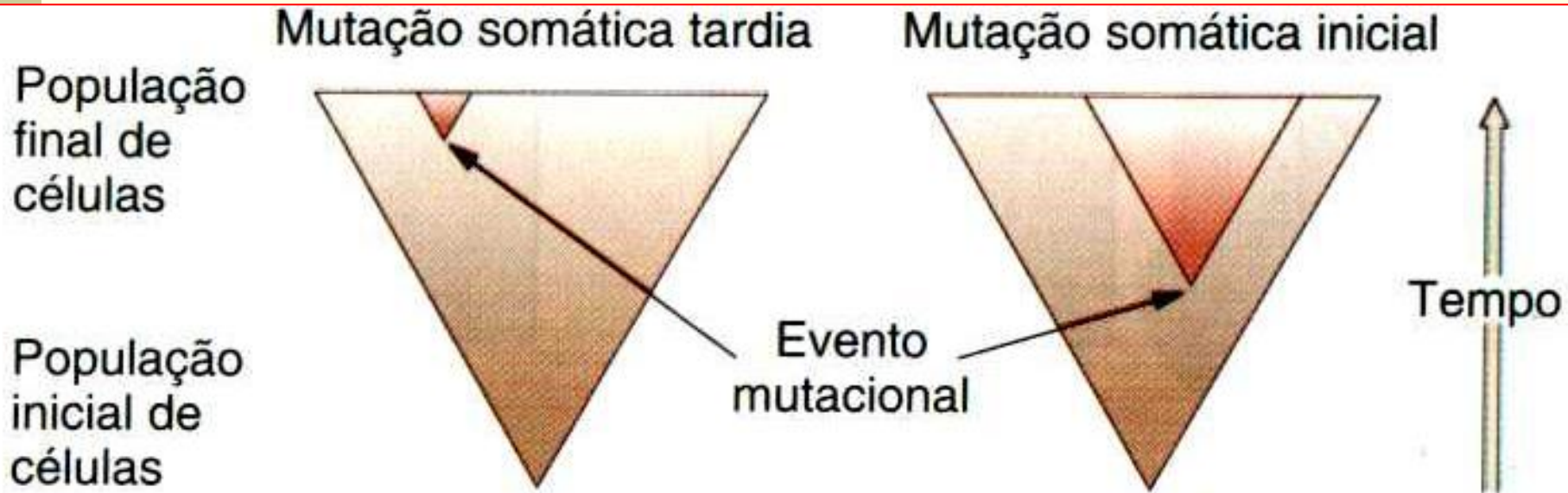


MUTAÇÕES SOMÁTICAS E GERMINATIVAS

Mutações podem ocorrer em qualquer célula e em qualquer estágio no ciclo celular. Portanto, podem ocorrer em **células somáticas** e em **células germinativas**.

⇒ *Mutação somática:*

Aquela que ocorre em genes de células somáticas. Portanto, permanece restrita ao indivíduo que a porta, não sendo transmitida aos descendentes através dos gametas.



- => Uma mutação somática leva, geralmente, a um aglomerado de células fenotipicamente mutantes chamado **setor mutante**.
- => Os setores mutantes podem ser identificados somente se seu fenótipo contrastar visualmente com o fenótipo das células tipo selvagem.

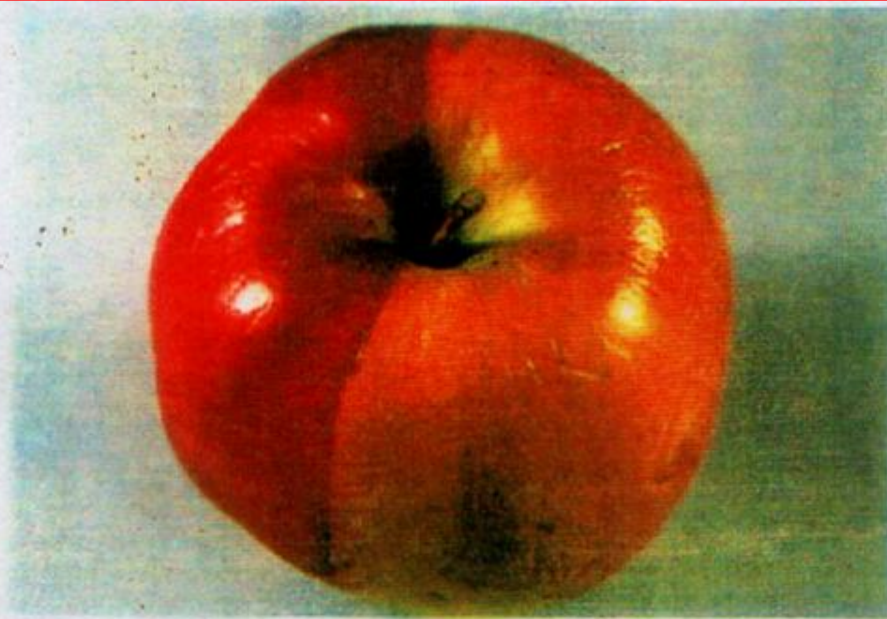


Fig. 7.3 Mutação somática em uma maçã vermelha. O alelo mutante determinando a cor dourada surgiu na parede do ovário de uma flor, que depois se desenvolveu na parte carnosa da maçã. As sementes não seriam mutantes, e originariam macieiras com maçãs vermelhas. (Note que, de fato, a maçã dourada originalmente surgiu como uma ramificação mutante em uma árvore de maçãs vermelhas.) (Anthony Griffiths)

MUTAÇÕES SOMÁTICAS

Exemplo:

◦ *Heterocromia de íris:*
Condição na qual as duas íris são de cores distintas ou apenas uma porção da íris é de cor diferente do restante.



Mutação somática



Pêssegos ornamentais



MUTAÇÕES GERMINATIVAS

- Se a mutação ocorre em **células germinativas** (reprodutivas), que irão produzir os gametas, ela poderá ser transmitida às gerações seguintes (**mutação germinativa**).
- Deve-se, no entanto, excluir a possibilidade de que as diferenças fenotípicas surgiram devido à segregação meiótica e recombinação normais.

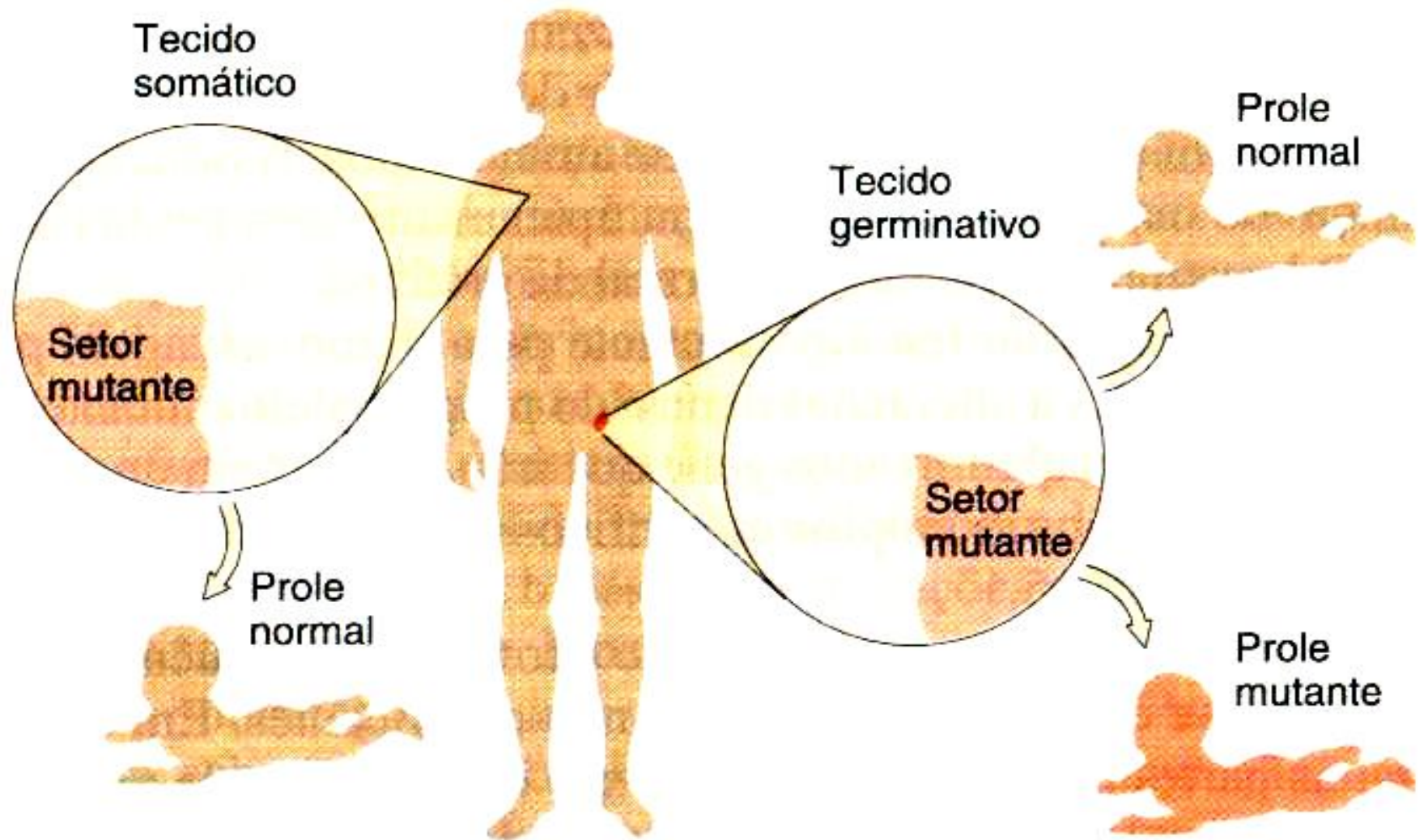


Fig. 15.3 As mutações somáticas não são transmitidas para a prole, mas as mutações germinativas podem ser transmitidas para alguns indivíduos da prole ou para toda ela.

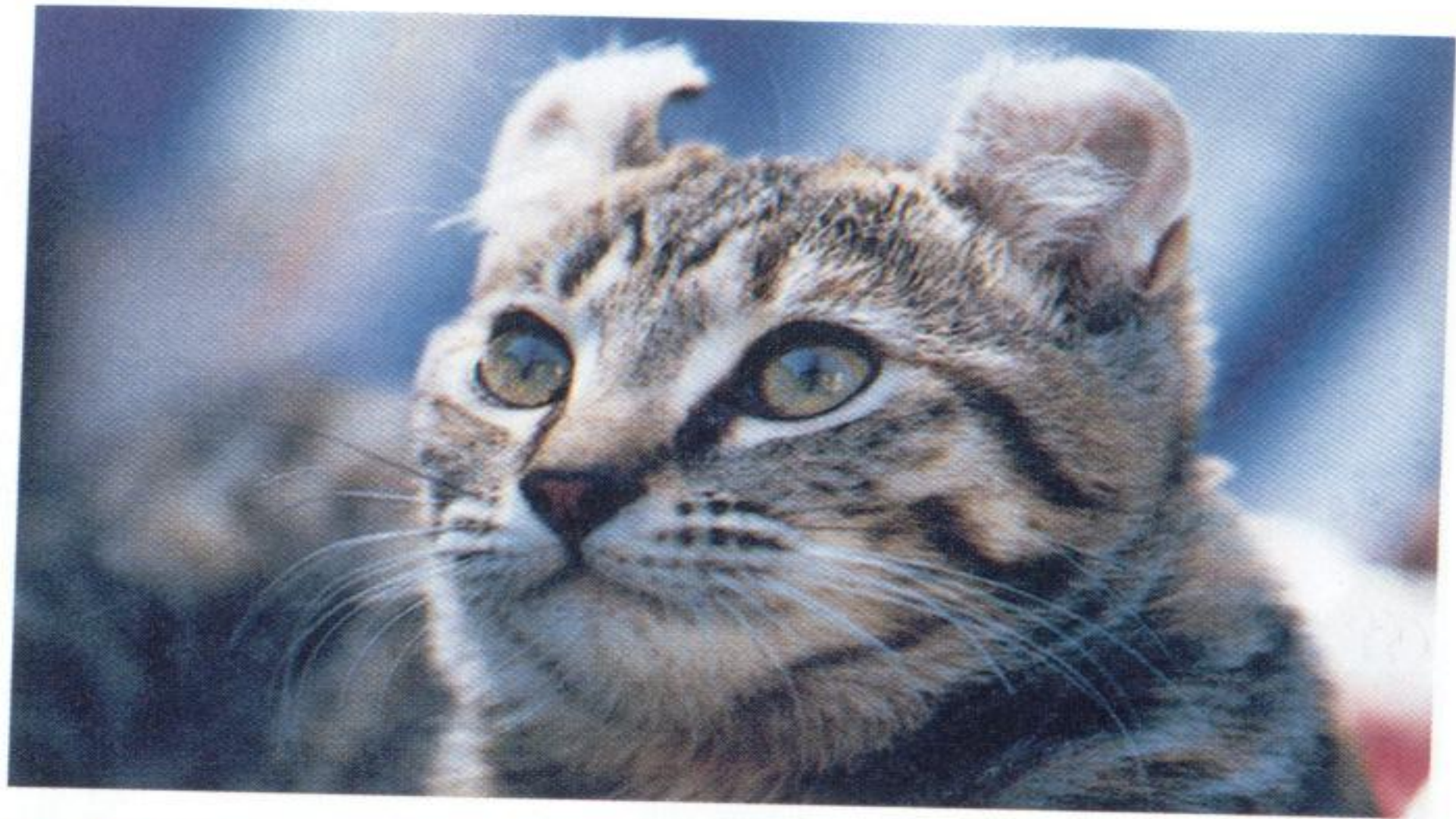


Fig. 15.8 Uma mutação para um alelo que determina orelhas recurvadas surgiu na linhagem germinativa de um gato normal com orelhas retas e expressou-se na prole, como no gato mostrado aqui. Esta mutação surgiu em uma população de Lakewood, Califórnia, em 1981. É autossômica dominante. (De R. Robinson, *Journal of Heredity* 80, 1989, 474.)

São as mutações somáticas transmitidas à prole?

Parece impossível, mas pode acontecer.

⇒ Muda ou caule ou folha que inclua o setor somático mutante

⇒ A planta cresce a partir desta muda e pode desenvolver tecido germinativo portador da mutação.



Ex: Laranja sem umbigo (laranja baiana) -> originada de um mosaico de tecidos somáticos. Célula com gene mutante -> multiplicação -> produção de um ramo inteiro -> propagação vegetativa -> planta mutante.

Como surgem as mutações?

Mutações espontâneas -> o organismo não foi submetido a nenhum tratamento especial

Mutações induzidas -> exposição do organismo a agentes mutagênicos

Mutações espontâneas:

- ❖ Resultam de erros na replicação do DNA.
- ❖ Podem ser causadas por agentes mutagênicos presentes no ambiente (radiações naturais) ou pela ação de compostos químicos
- ❖ São raras e variam de gene para gene e de organismo para organismo.

Mutações induzidas:

- ❖ Alterações no DNA causadas por agentes mutagênicos, tais como radiações ionizantes ou não ionizantes e por vários agentes químicos.
- ❖ Recomendadas quando novos caracteres são desejados num programa de melhoramento e dificilmente ocorrem em populações naturais.
- ❖ Visa também aumentar a variabilidade genética em populações já estabelecidas.

GRUPO

ATRIBUTO MELHORADO

Cereais Precocidade (64), Alto rendimento (63), Resistência a doenças (58), Colmo curto (51), Colmo rígido e resistência ao acamamento(31), Insensibilidade ao inverno(19), Tamanho e forma de grão (18), Tolerância à seca (14), Perfilhamento abundante (9), Resistência a inseto (5).

Legumes Alto rendimento (26), Resistência à doenças (14), Haste curta (9), Grão grande (6), Alto conteúdo protéico (5), Tipo de planta (4), Crescimento vigoroso (4), Boa qualidade (4), Adequado para cultura mecânica (3).

Oleaginosas Alto rendimento (10), Alto conteúdo de óleo (4), Boa qualidade do óleo(3), Talo curto(2), Grão grande (2).

Hortaliças Alto rendimento (7), Precocidade (6), Tolerância a atmosfera quente (4), Boa qualidade (4), Melhor habilidade de armazenamento (3), Forma de fruto (2), Alteração do conteúdo de metabólito secundário (2), Maturação tardia (2), Adequado para cultura mecânica (2).

Frutíferas Haste curta (5), Precocidade (6), Fruto grande (4), Boa qualidade (2), Resistência à doenças (1), Sem semente (1).

Culturas Industriais Alto rendimento (4), Talo longo (7), Precocidade (6), Resistência à doenças (5), Boa qualidade (5), Tipo de planta (2), Mais folhas (20), Alto conteúdo de metabólito secundário (2), Cor de folha (2), Características de processamento (2), Crescimento vigoroso (2).

Farragens Alto rendimento (3), Precocidade (3), Alteração do conteúdo de alcalóide (3), Resistência à doenças (2), Bom brotamento na primavera (1), Tolerância ao congelamento (1), Alto conteúdo protéico (1).

Ornamentais anuais Cor de flor (123), Mais flores (15), Forma de flor (15), Forma da folha (12), Número de pétalas florais(10), Folha grande (5), Planta grande (5), Planta pequena (5), Flor grande (3), Tipo de planta (2), Taxa de crescimento (2), Número de ramos (1), Novidade ornamental (1), Habilidade de regeneração (1), Longevidade da flor (1).

Ornamentais com raízes e tubérculos Cor de flor (52), Forma de flor (18), Tipo de planta (13), Talo longo(7), Cor de folha (7), Neutralidade ao fotoperíodo (5), Precocidade(3), Flor grande (2), Cor do talo (2).

Ornamentais Cor da flor (28), Talo curto (4), Pétalas florais pequenas (1), Folha listrada (3), Crescimento

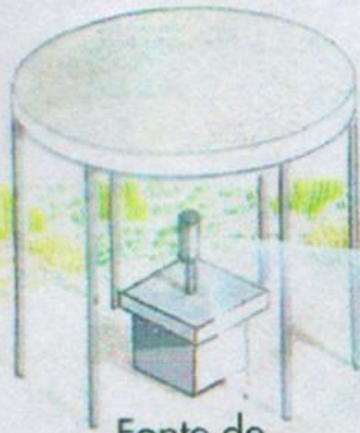
Agentes mutagênicos:

1.a) Radiação Ionizante:

-> raios x, raios alfa, beta e gama, raios cósmicos

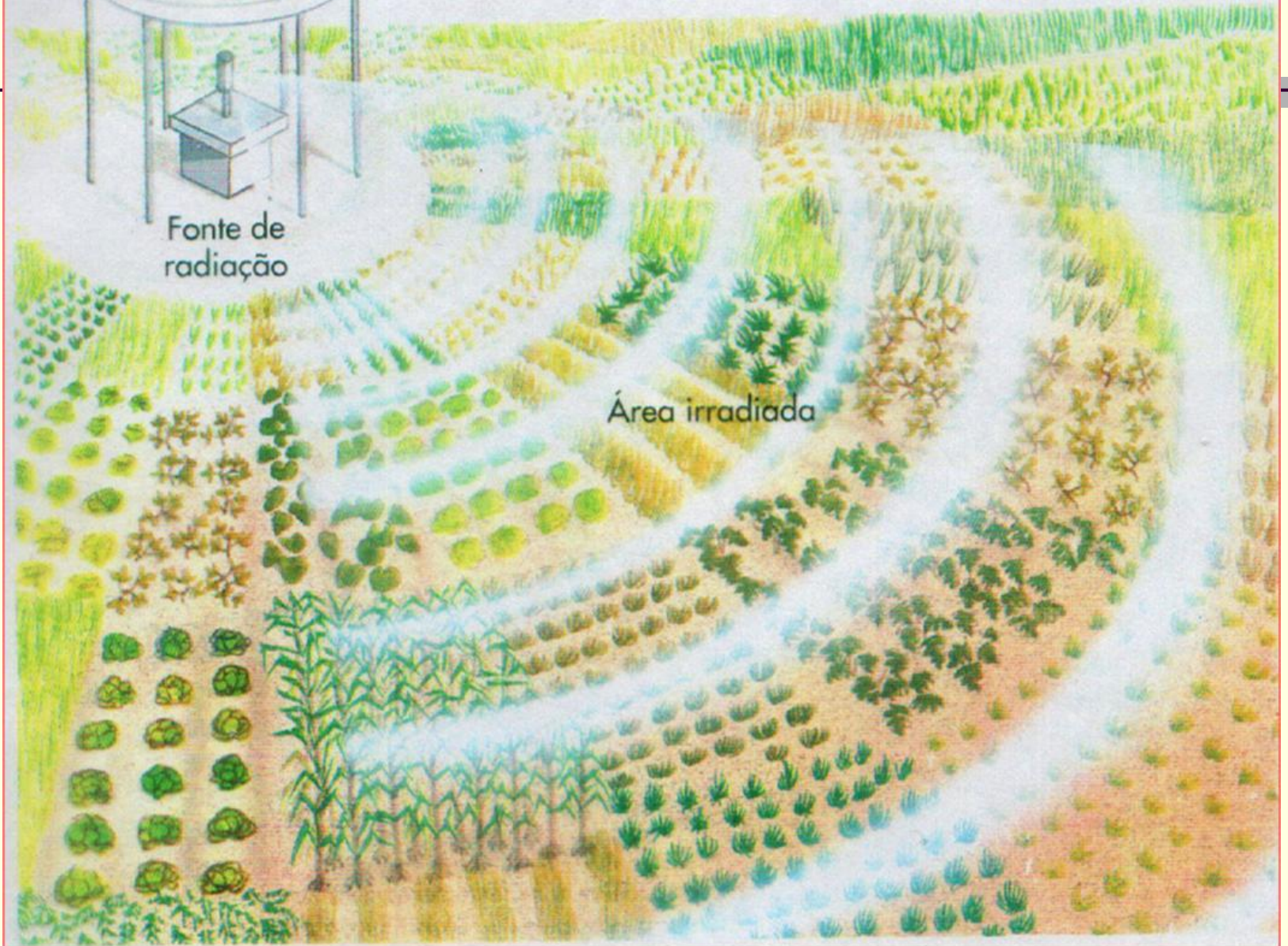
1.b) Radiações não-ionizantes:

→ Luz ultra violeta -> tem pouca energia, é menos penetrante que as radiações ionizantes e atuam de maneira diferente



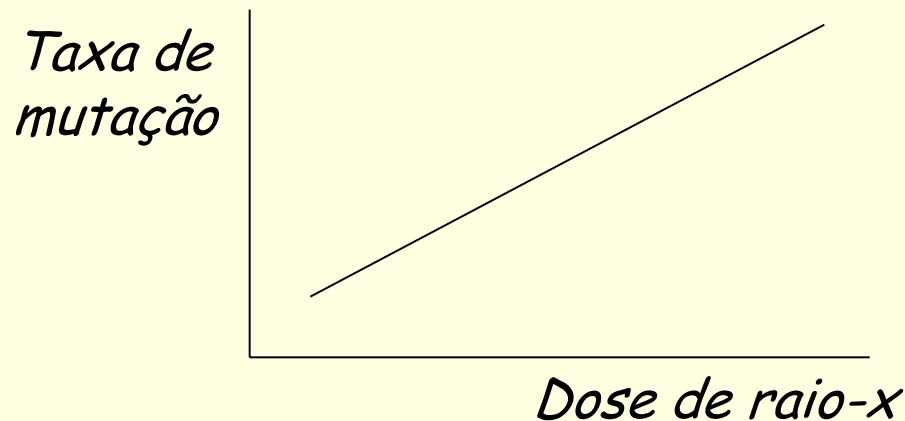
Fonte de radiação

Área irradiada



Agentes mutagênicos:

→ Neste tipo de mutagênico, observa-se uma relação direta entre a taxa de mutação e a dose da radiação administrada



→ Não existe dose segura. Os efeitos são cumulativos, de modo que uma dose alta pode ser administrada como pequenas doses no tempo

Agentes mutagênicos:

2. Substâncias químicas

2a) Reagentes para purinas e pirimidinas
(aldeído fórmico e HNO_2)

2b) Corantes de acridina -> agem permitindo adições ou deleções de bases na replicação do DNA.

2c) Agentes alquilantes (gás mostarda) -> têm vários efeitos sobre o DNA.

Obtenção de mutantes:

- ⇒ Em plantas → indução de mutação em sementes, tubérculos, etc, por tratamento com agentes químicos ou por radiações como raios gama.
- ⇒ Geralmente deve-se trabalhar com um número grande de indivíduos. É comum a indução de mutantes em microorganismos.
- ⇒ Após a indução, é preciso usar um procedimento para identificação de mutantes e sua seleção.

Espécie	Material Vegetal	Mutagênicos	Dose ou concentração
<i>Arachis hypogaea</i> Amendoim	Semente seca	Raios-gama	20-30 krad
<i>Capsicum annuum</i> Pimento	Gametas Semente seca Semente seca	Raios-gama Nêutrons rápidos Raios-gama	750 rad 2,4 krad 14-22 krad
<i>Cicer arietinum</i> (chickpea)	Semente seca	Raios-X	10-16 krad
<i>Glycine max</i> Saja	Semente seca	Raios-gama	10-20 krad
<i>Phaseolus vulgaris</i> Feijão	Semente seca	Raios-gama	8-14 krad
<i>Lycopersicon esculentum</i> Tomate	Semente seca	EMS	0,8%, 24h, 24°C
<i>Lupinus albus</i> Tremoço	Semente seca	Raios-gama	16-28 krad
<i>Pisum sativum</i> Ervilha	Semente seca	DES Raios-X Raios-gama	2%, 15h, 20°C
<i>Avena sativa</i> Aveia	Semente seca	Raios-X	12-24 krad
<i>Hordeum vulgare</i> Cevada	Semente seca	Raios-X Raios-gama	10-22 krad
<i>Oryza sativa</i> Arroz	Semente seca	Raios-X	14-28 krad
<i>Triticum aestivum</i> Trigo para pão	Semente seca	Raios-gama	10-25 krad
<i>Triticum durum</i> Trigo duro	Semente seca	Raios-gama nêutrons rápidos EMS	10-25 krad 600-800 rad 3,76%
	pólen	raios-gama	0,75-3,00 krad
<i>Zea mays</i> Milho	Semente seca	Raios-gama	14-28 krad

Espécie	Material Vegetal	Mutagênicos	Dose ou concentração
<i>Solanum tuberosum</i> Batata	Tubérculos Rachis e peciolo de folhas (<i>in vitro</i>) Lamina de folíolo (<i>in vitro</i>) Ponteira de broto	EMS Raios-X Raios-X Raios-gama	100-500 ppm ⁴ , h 25°C 1,5-2,0 krad 2,25- 2,75 krad 2,5 – 3,5 krad
<i>Chrysanthemum</i> Begônia	Segmento de pedicelos (<i>in vitro</i>) Laminass de folha (<i>in vitro</i>)	Raios-X Raios-X	800 rad 1,5 – 2,0 krad
<i>Dianthus caryophyllus</i> Cravo	Hastes nodosas	Raio-X	1,5-2,0 krad
<i>Corylus avellana</i> Aveleira	Botões dormentes	Raios-gama	7,0-8,0 krad
<i>Malus pumila</i> Maçã	Enxertos dormentes Ponteira de botão dormente	Raios-gama Raios-gama	6,0-7,0 krad 2,5-5,0 kradd
<i>Olea europea</i> Oliva	Ponteira de botão dormente	Raios-gama	3,0-4,0 krad
<i>Prunus cerasus</i> Cerejeira azeda	Botões dormentes	Raios-gama	2,0-5,0 krad
<i>Prunus avium</i> Cerejeira doce	Botões dormentes Células mães de pólen	Raios-gama Raios-X	3,5-4,5 krad 0,8 krad
<i>Citrus sinensis</i> Laranja	Calo de ovulo (<i>in vitro</i>)	Raios-gama	8,0-16,0 krad
<i>Vitis vinifera</i> Uva	Botões dormentes Botões dormentes	Raios-gama ou raios-X EMS	2,5-3,5 krad 0,15-0,20%, 15h, 20°C

Referências para estudo:

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

Cap. 15 - Mutação, reparo e recombinação

Cap. 16 - Alterações cromossômicas em larga escala