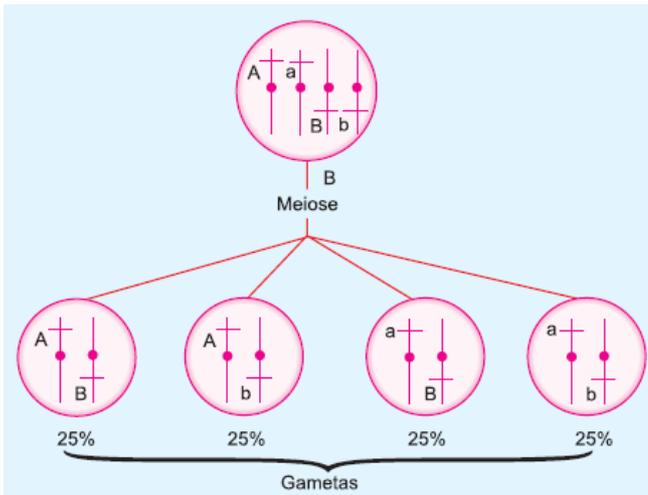


Genes Ligados (LINKAGE), Mapas de Ligação e Permutação (Crossing-Over)

A SEGREGAÇÃO INDEPENDENTE (2ª LEI DE MENDEL)

Aprendemos no módulo de 2ª lei de Mendel, **que os genes não alelos, situados em cromossomos diferentes, distribuem-se nos gametas segundo todas as combinações possíveis.** Assim, um diíbrido (AaBb) pode formar, em proporções idênticas, quatro tipos de gametas: AB, Ab, aB e ab, como esquematizados na figura.



A segregação independente dos genes, estudada no módulo sobre 2ª lei de Mendel e suas variações, verificou o comportamento fenotípico de dois genes que estavam em cromossomos independentes, portanto, para o melhor entendimento do estudo de genes ligados a teoria mendeliana deve estar bem fundamentada.

GENES LIGADOS - LINKAGE

Todas as espécies eucarióticas possuem mais genes do que cromossomos e, portanto, há muitos genes que estão dispostos no mesmo cromossomo. É o que se chama de **ligação genética**. Entretanto, esses genes nem sempre são herdados separadamente. Dependendo da distância que se encontram, podem ser transmitidos juntos ou não. Se juntos a ligação é dita completa, o que é uma exceção, na maioria dos casos os genes recombinam-se provocando naturalmente uma variabilidade nas espécies. Como os genes estão dispostos nas cromátides-irmãs dos cromossomos homólogos, a distância entre eles vai determinar se possuem comportamento independente ou ligado.

Na fase de prófase da meiose I ocorre o pareamento de cromossomos homólogos e a troca de partes entre as cromátides homólogas. Se todas as cromátides homólogas se recombinarem a proporção de cromátides não recombinadas e cromátides recombinadas resultará em 50% de cada uma. Esse valor de recombinação determina que a herança é independente. Além disso, esse valor extremo é uma exceção entre os cromossomos das plantas.

Normalmente o que ocorre é uma recombinação entre algumas cromátides de cromossomos homólogos, de forma que nas tétrades formadas possuem cromátides recombinantes e não recombinantes conjuntamente. Nesse caso, pela descendência obtida, pode-se verificar quanto houve de recombinação.

Quando ocorre a recombinação entre as cromátides citologicamente formam-se os quiasmas, que é a comprovação citogenética da permuta que ocorre nos cromossomos homólogos pareados.

REPRESENTAÇÃO DO GENÓTIPO, HÍBRIDO CIS E TRANS.

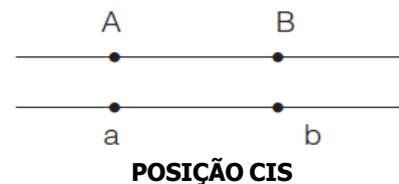
Quando existe ligação gênica, os genótipos podem ser assim representados:

$$\frac{AB}{ab} \text{ ou } \frac{AB}{ab} \text{ ou } AB/ab$$

A forma pela qual os genes estão dispostos nos cromossomos poderá ser denominada **CIS (dois alelos dominantes numa cromátide e dois alelos recessivos na outra cromátide)** ou em **TRANS (um alelo dominante e um alelo recessivo numa cromátide e um alelo recessivo e um alelo dominante na outra cromátide)**.

Sendo assim, dizemos que genes ligados estão na posição CIS quando os dois alelos dominantes se encontram em um mesmo cromossomo, ficando os dois alelos recessivos no outro cromossomo homólogo. Assim, em um diíbrido AaBb, os genes estão dispostos do seguinte modo: AB/ab. A barra inclinada simboliza o par de cromossomos homólogos.

Portanto, **AB/ab** será a posição parental, a que aparecerá em maior quantidade nos gametas. Espera-se que os recombinantes se formem em menor quantidade (Ab/aB).



Enquanto isso, genes ligados estão na posição TRANS quando os dois alelos dominantes se encontram cada um em um dos filamentos homólogos. Assim, em um diíbrido AaBb, os genes estão dispostos do seguinte modo: aB/Ab.

Portanto, **aB/Ab** será a posição parental, a que aparecerá em maior quantidade nos gametas, sendo que os recombinantes, AB/ab, deverão surgir em menor número, já que dependem da ocorrência de crossing over entre os filamentos cromossômicos homólogos.



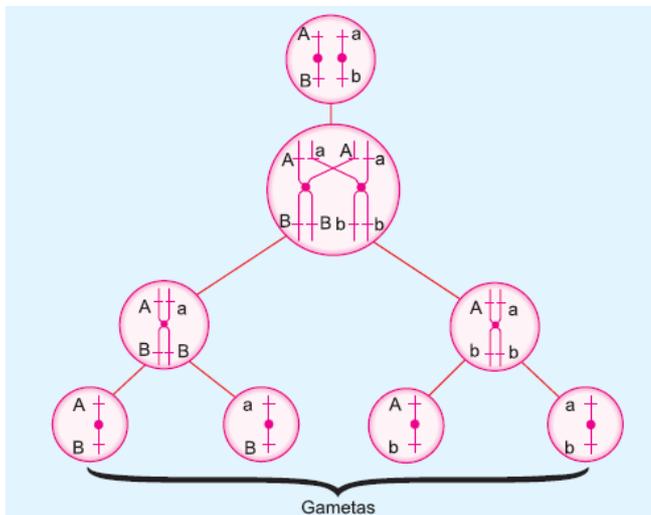
A TAXA DE CROSSING-OVER

Durante a meiose, os cromossomos duplicados formam pares (sinapse) e entre eles pode ocorrer a chamada **permutação** ou **crossing-over**.

Tal fenômeno consiste na troca de segmentos entre duas cromátides homólogas. O processo envolve somente dois dos quatro fios e ocorre em qual quer ponto dos cromossomos.

Observe que dois dos gametas (AB e ab) têm os genes ligados da mesma forma em que se encontravam ligados nos cromossomos parentais. Tais gametas são resultantes das cromátides que não se envolveram na permuta e são designados tipos parentais.

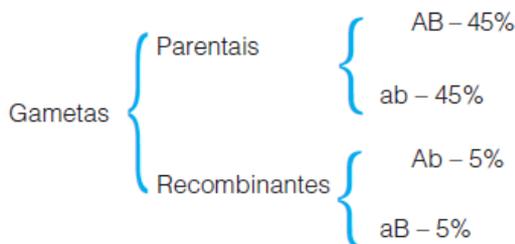
Os outros dois gametas (Ab e aB), produzidos através da permuta, apresentam combinações diferentes daquelas encontradas nos pares e são denominados tipos recombinantes.



Ocorrência de Permuta (crossing-over).

De acordo com o exposto anteriormente, quanto maior a distância entre dois alelos ligados, maior será a probabilidade de haver crossing over entre eles e maior a quantidade e gametas recombinantes que serão formados.

Considere como frequência de permuta entre dois genes a porcentagem de gametas recombinantes. No esquema abaixo, a frequência de permutação é de 10%.



Noutro exemplo, A soma dos gametas recombinantes é a chamada taxa de crossing, como podemos demos demonstrar pelo exemplo a seguir:

Se em 30% das células que possui um indivíduo AB/ab ocorre meiose, determine os tipos de gametas que ele formará, bem como a distância entre os genes.

Resolução: **AB/ab (esses genes estão em posição CIS)**

Gametas: AB – 35%	Ab – 15%
Parentais	Recombinantes
ab – 35%	aB – 15%

A distância entre eles é de 30 U.r. ou morganídeos. Como podemos ver, os 70% das células onde não houve crossing over entre os genes A e B formou apenas gametas do tipo parental e os recombinantes surgidos como resultados do crossing over foram formados em quantidades aproximadamente iguais, 15% para cada tipo.

CONSTRUÇÃO DE MAPAS GENÉTICOS OU CROMOSSÔMICOS

Construir um mapa genético é determinar a posição relativa dos genes no cromossomo. Para tanto, partimos de dois princípios básicos:

1.º Os genes dispõem-se linearmente ao longo dos cromossomos.

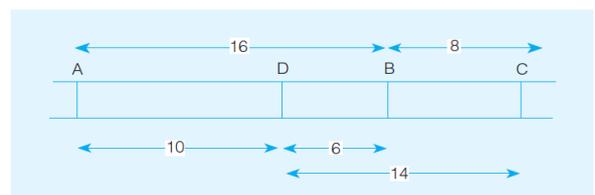
2.º A permutação ocorre em qualquer ponto do cromossomo e, portanto, quanto maior a distância entre dois genes, maior será a probabilidade de ocorrer permuta entre eles; por outro lado, entre genes próximos diminui a probabilidade de permuta.

Convencionou-se que a frequência de permuta entre dois genes é igual à distância que os separa no cromossomo. Assim, por exemplo, se a porcentagem (frequência) de permuta entre dois genes for de 10%, eles distarão de 10 unidades no mapa genético. A citada unidade foi chamada de morganídeo, em homenagem a Morgan, principal responsável por tais conceitos.

Por exemplo, os genes A, B, C e D estão situados no mesmo cromossomo e permutam, entre si, com as seguintes frequências:

Genes	Frequência de permuta
A e B	16%
B e C	8%
A e D	10%
D e C	14%
B e D	6%

A partir desta tabela, construímos o seguinte mapa cromossômico:



ATIVIDADES COMENTADAS:

01. Se em um indivíduo de genótipo AB/ab a distância entre os dois locos gênicos é de 22 unidades, que genótipo apresentarão os descendentes se ele for cruzado com um duplo recessivo?

Comentário: Se os genes distam de 22 unidades, há uma taxa de 22% de crossing entre os genes A e B (11% para cada tipo de recombinante) e se os genes encontram-se em posição CIS, essa será a conformação dos gametas parentais, os que aparecerão em maior número. Assim, teremos: P: AaBb x aabb

F1: AaBb . 39%
Aabb . 11%
aaBb . 11%
aabb . 39%

Note que os tipos que aparecem em maior número são os oriundos dos gametas parentais. Os recombinantes aparecem em menor número.

02. Cruzou-se um diíbrido AaBb com um duplo-recessivo e obteve-se indivíduos com genótipo:
42% dominante-dominante
8% dominante-recessivo
8% recessivo-dominante
42% recessivo-recessivo

a) Qual é a posição dos cromossomos no tipo parental do diíbrido?

b) Qual a distância entre os genes A e B?

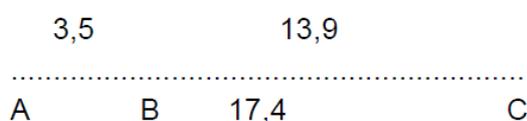
Comentário:

a) Analisando os resultados, temos que os indivíduos produzidos que apareceram em maior número foram os de posição dominante-dominante e recessivo-recessivo, isto é, AB e ab, portanto indicando posição CIS.

b) Para calcular a distância precisamos da taxa de crossing, o que obteremos com a soma dos tipos recombinantes: 8% + 8% = 16%, ou seja, há 16 unidades de recombinação (U.r.) entre os alelos A e B.

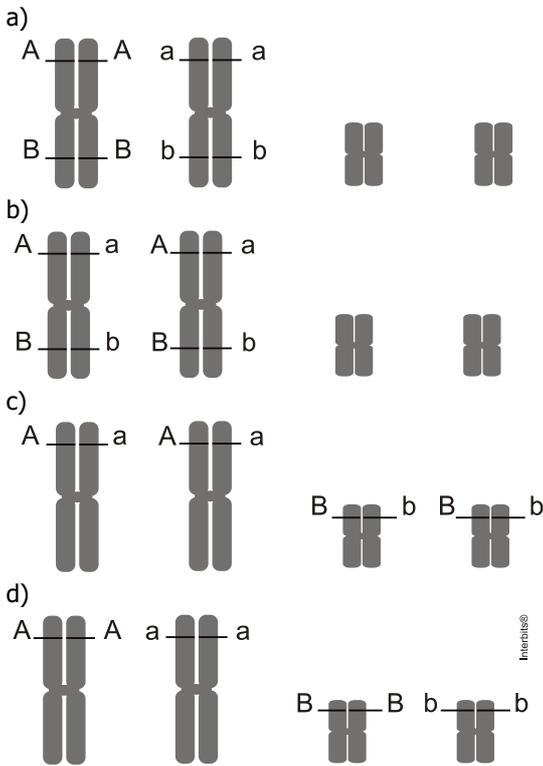
03. Em um indivíduo verificou-se que, para três pares de genes ligados, A, B, C, a taxa de crossing entre A e B é de 3,5%; entre A e C é de 17,4% e entre B e C é de 13,9%. Calcule a ordem dos genes no cromossomo:

Comentário: Se você localizar os genes mais distantes (os que têm taxa de crossing maior), fica fácil depois colocar os alelos intermediários, que ficam entre os alelos extremos. Então, se entre A e C a taxa de crossing (distância) é de 17,4%, esses serão os alelos mais distantes.



Exercícios de aprendizagem

01. (UNICAMP - 2013) Considere um indivíduo heterozigoto para dois locos gênicos que estão em linkage, ou seja, não apresentam segregação independente. A representação esquemática dos cromossomos presentes em uma de suas células somáticas em divisão mitótica é:



02. (UNICAMP - 2011) Considere um indivíduo heterozigoto para três genes. Os alelos dominantes A e B estão no mesmo cromossomo. O gene C tem segregação independente dos outros dois genes. Se não houver crossing-over durante a meiose, a frequência esperada de gametas com genótipo abc produzidos por esse indivíduo é de:

- a) 1/2.
- b) 1/4.
- c) 1/6.
- d) 1/8.

03. (UFPR - 2011) Admita que dois genes, A e B, estão localizados num mesmo cromossomo. Um macho AB/ab foi cruzado com uma fêmea ab/ab. Sabendo que entre esses dois genes há uma frequência de recombinação igual a 10%, qual será a frequência de indivíduos com genótipo Ab/ab encontrada na descendência desse cruzamento?

- a) 50%
- b) 25%
- c) 30%
- d) 100%
- e) 5%

04. (UFPEL - 2006) Uma determinada espécie vegetal apresenta variação para cor da flor - roxo e branco -, cor do hipocótilo - roxo e verde - e pilosidade no cálice da flor - com (piloso) e sem (glabro). A cor roxa da flor e do hipocótilo e a presença de pilosidade são dominantes. Em todos os cruzamentos realizados entre plantas fenotipicamente diferentes e após avaliações em várias gerações segregantes, foi observado que todas as plantas que apresentavam flores roxas, o hipocótilo era roxo e todas as plantas que apresentavam flores de cor branca, o hipocótilo era verde (situação 1). Entretanto, ao cruzarem um duplo heterozigoto para os caracteres cor da flor e pilosidade no cálice da flor com um duplo-recessivo, foi observada na progênie a seguinte proporção (situação 2):

Fenótipo	Proporção
Flor roxa e cálice piloso	45%
Flor branca e cálice glabro	45%
Flor roxa e cálice glabro	5%
Flor branca e cálice piloso	5%

Com base no texto e em seus conhecimentos é correto afirmar que:

- a) a primeira situação pode representar um caso de pleiotropia e a segunda mostra um caso de ligação gênica.
- b) a primeira situação pode representar um caso de pleiotropia e a segunda evidencia uma segregação independente dos genes.
- c) a primeira situação evidencia ligação gênica e a segunda mostra a segregação independente dos genes.
- d) em ambas as situações ficou evidenciado o efeito pleiotrópico entre os genes.
- e) em ambas as situações ficou evidenciada a ligação gênica, sendo que na segunda, a ligação é mais forte do que na primeira, o que mostra uma distância menor entre os genes.

05. (UFRRJ - 1999) Numa certa espécie de milho, o grão colorido é condicionado por um gene dominante B e o grão liso por um gene dominante R. Os alelos recessivos b e r condicionam, respectivamente, grãos brancos e rugosos. No cruzamento entre um indivíduo colorido liso com um branco rugoso, surgiu uma F_1 , com os seguintes descendentes:

150 indivíduos que produziam sementes coloridas e lisas,
150 indivíduos que produziam sementes brancas e rugosas,
250 indivíduos que produziam sementes coloridas e rugosas
e 250 indivíduos que produziam sementes brancas e lisas.

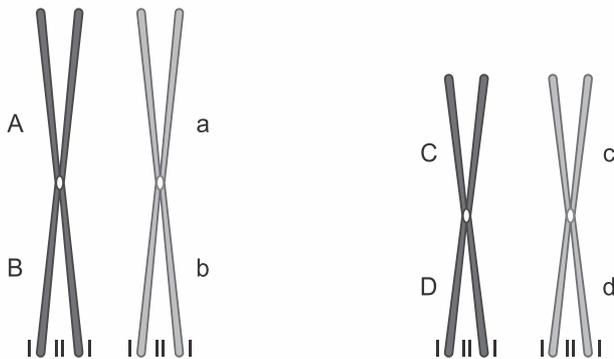
A partir desses resultados, podemos concluir que o genótipo do indivíduo parental colorido liso e a distância entre os genes B e R são:

- a) BR/br; 62,5 U.R.
- b) BR/br; 37,5 U.R.
- c) Br/bR; 62,5 U.R.
- d) Br/bR; 37,5 U.R.
- e) BR/br; 18,75 U.R.

Exercícios de fixação

01. (FAC. PEQUENO PRÍNCIPE - MEDICINA 2020)

Suponha um indivíduo heterozigoto para quatro locus gênicos, distribuídos conforme a imagem. O mecanismo de herança desses genes segue princípios básicos já estabelecidos e está relacionado ao comportamento dos cromossomos durante a meiose.



<https://planetabiologia.com/nucleo-celular-funcao-e-estrutura/>

Sobre o processo de meiose dos genes representados acima, é CORRETO afirmar que

- os pares de genes Aa e Bb estão em ligação, em posição trans.
- os pares de genes Aa, Bb, Cc e Dd possuem segregação independente entre eles.
- os pares Aa e Cc podem participar do crossing-over, gerando novas combinações.
- se não houver crossing-over entre eles, serão formados apenas dois tipos de gametas.
- todos os genes representados obedecem à Primeira Lei de Mendel.

02. (ENEM 2019) Com base nos experimentos de plantas de Mendel, foram estabelecidos três princípios básicos, que são conhecidos como leis da uniformidade, segregação e distribuição independente. A lei da distribuição independente refere-se ao fato de que os membros de pares diferentes de genes segregam-se independentemente, uns dos outros, para a prole.

TURNPENNY, P. D. Genética médica. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009 (adaptado).

Hoje, sabe-se que isso nem sempre é verdade. Por quê?

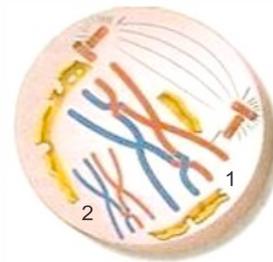
- A distribuição depende do caráter de dominância ou recessividade do gene.
- Os organismos nem sempre herdam cada um dos genes de cada um dos genitores.
- As alterações cromossômicas podem levar a falhas na segregação durante a meiose.
- Os genes localizados fisicamente próximos no mesmo cromossomo tendem a ser herdados juntos.
- O cromossomo que contém dois determinados genes pode não sofrer a disjunção na primeira fase da meiose.

03. (UEFS 2018) Em tomateiros, os genes a e c encontram-se ligados. O cruzamento entre um tomateiro de genótipo AaCc e outro de genótipo aaCC originou plantas adultas em proporção genotípica de 43% AaCC, 43% aaCc, 7% AaCc e 7% aaCC.

A distância entre os genes a e c nos cromossomos do tomateiro é

- 7 UR.
- 14 UR.
- 43 UR.
- 50 UR.
- 86 UR.

04. (UPE-SSA 1 2018) A meiose é um tipo de divisão celular, que persiste entre os seres vivos como um mecanismo gerador de variabilidade e uma consequente evolução biológica. Assinale a alternativa que indica a fase da divisão celular de acordo com o que é observado na célula e que garante essa possibilidade de diversidade.



- Na Prófase I, ocorre o crossing-over. Na figura, observam-se dois quiasmas no par 1 e um quiasma no par 2.
- Na Prófase II, ocorre a permutação. Na figura, observam-se três quiasmas entre cromossomos não homólogos.
- Na Interfase, ocorre a formação das cromátides-irmãs. Na figura, observam-se dois pares de centríolos auxiliando a separação dos centrômeros.
- Na Anáfase I, ocorre a formação do fuso acromático. Na figura, observam-se dois pares de cromossomos acrocêntricos (pares 1 e 2).
- Na Metáfase II, ocorre a formação dos quiasmas. Na figura, observa-se a variabilidade resultante da troca entre cromátides homólogas dos pares 1 e 2.

05. (UPE-SSA 3 2017)



Fonte: http://www.nacozinhabrasil.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/08/800px-Peruvian_corn.jpg

Um pesquisador tenta descobrir se pares de genes alelos, que atuam em duas características para cor (colorido - B e

incolor - b) e aspecto (liso - A e rugoso - a) do grão do milho, se situam em pares de cromossomos homólogos ou no mesmo cromossomo (Linkage). Ele efetuou o cruzamento de um duplo-heterozigoto com um duplo-recessivo, ou seja,
P : AaBb × aabb

Assinale a alternativa que resulta na CORRETA F₁.

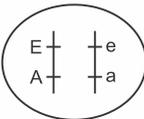
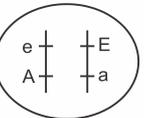
- a) Distribuição independente, de acordo com a 1ª Lei de Mendel, apresentando 4 genótipos e 2 fenótipos: coloridos/rugosos e incolores/lisos.
b) Distribuição independente, de acordo com a 2ª Lei de Mendel, apresentando as proporções 280 coloridos/lisos, 290 incolores/rugosos, 17 coloridos/rugosos e 13 incolores/lisos.
c) Linkage com crossing-over apresentando 4 genótipos e 2 fenótipos coloridos/lisos e incolores/rugosos.
d) Linkage sem crossing-over apresentando as proporções 75% AaBb : 25% aabb.
e) Linkage com 4 genótipos e 4 fenótipos com dois tipos parentais em alta frequência, sem crossing e dois tipos recombinantes em baixa frequência com crossing-over.

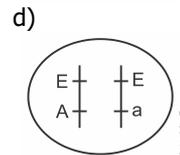
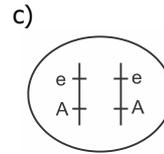
06. (UEFS 2017) A partir de um heterozigoto AaBb em trans, e sabendo-se que a distância entre os seus genes é de 8 morganídeos, o percentual possível de gametas AB, considerando-se que houve permutação, é de

- a) 46%.
b) 23%.
c) 8%.
d) 4%.
e) 2%.

07. (UFU 2016) Nos camundongos, o gene e, recessivo, produz pelos encrespados, e seu alelo dominante, pelos normais. Em outro par de genes alelos, o gene recessivo a produz fenótipo albino, enquanto seu alelo dominante produz fenótipo selvagem. Quando camundongos diíbridos foram cruzados com camundongos albinos e de pelos encrespados, foram obtidos 79 camundongos de pelos encrespados e selvagens, 121 com pelos encrespados e albinos, 125 de pelos normais e selvagens e 75 com pelos normais e albinos.

Qual esquema representa a posição dos genes no diíbrido?

- a) 
- b) 



08. (ENEM 2016) O Brasil possui um grande número de espécies distintas entre animais, vegetais e microrganismos envolvidos em uma imensa complexidade e distribuídos em uma grande variedade de ecossistemas.

SANDES. A. R. R.; BLASI. G. Biodiversidade e diversidade química e genética. Disponível em: <http://novastecnologias.com.br>. Acesso em: 22 set. 2015 (adaptado).

O incremento da variabilidade ocorre em razão da permuta genética, a qual propicia a troca de segmentos entre cromátides não irmãs na meiose.

Essa troca de segmentos é determinante na

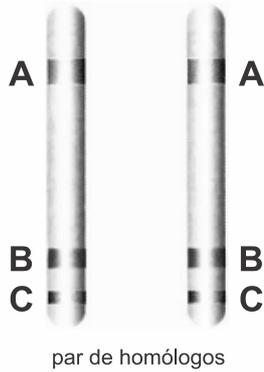
- a) produção de indivíduos mais férteis.
b) transmissão de novas características adquiridas.
c) recombinação genética na formação dos gametas.
d) ocorrência de mutações somáticas nos descendentes.
e) variação do número de cromossomos característico da espécie.

09. (UDESC 2016) A *Drosophila melanogaster* (mosca de frutas) possui em um dos seus cromossomos dois genes (A e B) que se encontram a uma distância de 28 U.R (Unidades de recombinação). Considere um macho desta espécie com o genótipo AaBb em posição trans. Espera-se que ele produza espermatozoides com os genes AB, em um percentual de:

- a) 33%
b) 25%
c) 50%
d) 75%
e) 14%

10. (UEG 2015) O processo de divisão celular é extremamente importante nos processos biológicos. Durante a prófase da primeira divisão da meiose, os cromossomos homólogos podem passar por permutações entre si (recombinação ou crossing over), gerando gametas com uma combinação de alelos diferentes das combinações existentes nos cromossomos dos pais. A soma desses recombinantes é chamada de taxa ou frequência de recombinação.

A figura a seguir exemplifica um caso de três genes (A, B, C) situados em um par de cromossomos homólogos.

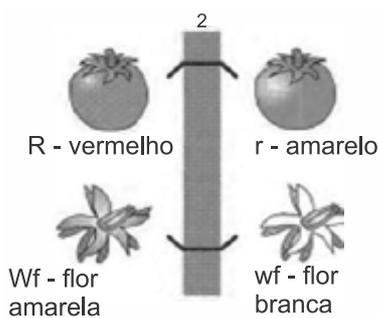


GEWANDSZNAJDER, F.; LINHARES, S.
Biologia hoje. São Paulo: Ática, vol.3, 2014, p. 73.

Sobre as taxas de recombinação entre esses loci, verifica-se que a taxa de recombinação entre

- a) A, B e C é randomizada e inespecífica.
- b) A e C é maior que entre A e B.
- c) A e B é equivalente à taxa entre B e C.
- d) A e B é menor que entre B e C.

11. (UPE 2015) O tomate *Solanum lycopersicum* tem 12 pares de cromossomos, e sua flor é hermafrodita, ocasionando percentual de cruzamento natural inferior a 5%. A geração parental foi submetida a cruzamento por meio de uma polinização cruzada artificial, utilizando a parte feminina da flor de uma planta selvagem para cruzamento com a parte masculina de outra, com características recessivas, resultando em uma F_1 duplo-heterozigota. No quadro a seguir, observamos: a representação esquemática do cromossomo 2 de tomate com dois genes, seus respectivos alelos e características fenotípicas; os resultados da prole de um cruzamento de tomates duplo-heterozigotos (F_1) com duplo-homozigotos.



(Griffiths et al., 2008. Introdução à genética.
9ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. Adaptada)

PERCENTUAL F_2	FENÓTIPO
41%	Fruto vermelho e flor amarela
41%	Fruto amarelo e flor branca
9%	Fruto vermelho e flor branca
9%	Fruto amarelo e flor amarela

Com base nessas informações, conclui-se que

- a) o cruzamento-teste de plantas duplo-heterozigotas F_1 mostra a formação de quatro tipos de gametas em proporções esperadas para uma distribuição do tipo independente.
- b) o desvio nas proporções ocorre por causa da ligação entre o gene para a cor do fruto e o gene para a cor das flores que distam 9% centimorgans.
- c) o resultado de gametas apresentado para a prole F_2 configura arranjo do tipo trans para o cromossomo 2 dos indivíduos da F_1 .
- d) os gametas portadores dos alelos R/Wf e r/wf ocorrem em percentual maior que os não parentais R/wf e r/Wf , evidenciando a ligação.
- e) parte da prole F_2 mostra fenótipo recombinante em maior frequência, indicando que os alelos dos dois genes se recombinaram na F_1 , e a distância entre eles é de 18% unidade de recombinação.

12. (UFU 2015) Uma espécie de tomateiro apresenta os genes A, D, E e F, ligados a um determinado cromossomo, que determinam a cor e textura das folhas, a morfologia do fruto e as cores do caule.

As frequências de crossing-over encontradas nos cruzamentos testes para dois pares de genes foram:

Entre F – E = 14%	Entre D – A = 11%
Entre F – D = 9%	Entre F – A = 20%
Entre D – E = 5%	Entre E – A = 6%

Qual é a sequência desses genes localizados no mesmo cromossomo?

- a) EFAD.
- b) DEFA.
- c) AFED.
- d) FDEA.

13. (ACAFE 2014) Um cruzamento entre uma fêmea duplo-heterozigota ($AaBb$) com um macho duplo recessivo revelou a seguinte proporção genotípica entre os descendentes: 40% $AaBb$, 40% $aabb$, 10% $Aabb$, 10% $aaBb$.

Assim, assinale a alternativa correta.

- a) Não há evidência que tenha ocorrido permutação na formação dos gametas.
- b) A segregação observada dos genes está de acordo com a Segunda Lei de Mendel.
- c) Os resultados indicam que os genes estão em ligação, a uma distância de 20 UR.
- d) O arranjo dos genes alelos na fêmea é trans (AB/ab).

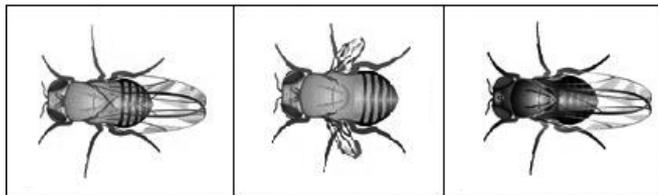
14. (UCS 2014) Considerando que, em dois pares de genes AB e ab , em arranjo cis, durante a gametogênese (meiose) das células reprodutoras de um indivíduo, ocorra uma taxa de permutação de 24%, os gametas formados serão: AB _____%; Ab _____%; aB _____%; ab _____%.

Assinale a alternativa que completa correta e respectivamente as lacunas acima.

- a) 26; 24; 24; 26
- b) 02; 48; 48; 02
- c) 24; 26; 26; 24
- d) 38; 12; 12; 38
- e) 48; 2; 2; 48

15. (FGV 2013) Em experimentos envolvendo cruzamentos de moscas *Drosophila melanogaster*, cujos alelos apresentam ligação gênica, estudantes analisaram insetos selvagens, insetos com asas vestigiais e insetos com corpo escuro.

As características fenotípicas e genotípicas estão ilustradas no quadro a seguir.



Selvagem V_ E_

Asas vestigiais vv

Corpo escuro ee

(<http://bioinfo.mol.uj.edu.pl/articles/Stozek07>. Modificado)

O cruzamento entre moscas duplo heterozigotas, VE/ve, com duplo recessivas, ve/ve, para essas características gerou cerca de 4 800 descendentes.

Admitindo-se que não ocorreu permutação entre os alelos, espera-se que o número de descendentes selvagens; com asas vestigiais; com corpo escuro; e com asas vestigiais e corpo escuro seja, respectivamente, em torno de

- a) 3 600; 450; 450 e 300.
- b) 2 700; 900; 900 e 300.
- c) 2 400; 0; 0 e 2 400.
- d) 2 400; 1 200; 1 200 e 0.
- e) 1 200; 1 200, 1 200 e 1 200.

16. (UPE 2012) Um dado indivíduo heterozigoto para os genes A e B (configuração cis) é submetido a um cruzamento-teste. Se os dois genes forem

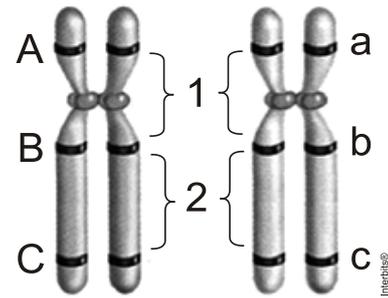
- I. não ligados (segregação independente)
- II. separados por 40 centimorgam (cM)

que porcentagem da prole desse cruzamento será aabb?

- a) I- 50%; II - 40%.
- b) I- 20%; II- 50%
- c) I- 25%; II- 30%
- d) I- 40%; II- 20%
- e) I- 30%; II- 25%

17. (UNIOESTE 2012) Crossing over ou permuta é um importante fenômeno que ocorre na prófase I meiótica, responsável pela recombinação entre os diferentes pares de genes de cromossomos homólogos. O desenho abaixo representa um par de cromossomos homólogos, com 3 genes: gene A, gene B e gene C, cada um destes possuindo

dois alelos (alelo dominante e alelo recessivo). A partir deste desenho, assinale a alternativa correta.



- a) Se houver crossing over apenas na região 1 serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, AbC e aBc.
- b) Se houver crossing over apenas na região 2 serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, Abc e aBC.
- c) Se houver crossing over nas regiões 1 e 2 serão produzidos gametas com as combinações ABC, abc, AbC e aBc.
- d) Se houver crossing over apenas na região 1 serão produzidos somente gametas com as combinações Abc e aBC.
- e) Se houver crossing over apenas na região 2 serão produzidos somente gametas com as combinações ABC e abC.

18. (UNICAMP 2011) Considere um indivíduo heterozigoto para três genes. Os alelos dominantes A e B estão no mesmo cromossomo. O gene C tem segregação independente dos outros dois genes. Se não houver crossing-over durante a meiose, a frequência esperada de gametas com genótipo abc produzidos por esse indivíduo é de

- a) 1/2.
- b) 1/4.
- c) 1/6.
- d) 1/8.

19. (UFPR 2011) Admita que dois genes, A e B, estão localizados num mesmo cromossomo. Um macho AB/ab foi cruzado com uma fêmea ab/ab. Sabendo que entre esses dois genes há uma frequência de recombinação igual a 10%, qual será a frequência de indivíduos com genótipo Ab/ab encontrada na descendência desse cruzamento?

- a) 50%
- b) 25%
- c) 30%
- d) 100%
- e) 5%

20. (UEL 2009) Na cultura do pepino, as características de frutos de cor verde brilhante e textura rugosa são expressas por alelos dominantes em relação a frutos de cor verde fosco e textura lisa. Os genes são autossômicos e ligados com uma distância de 30 u.m. (unidade de mapa de ligação).

Considere o cruzamento entre as plantas duplo heterozigotas em arranjo cis para esses genes com plantas duplo homozigotas de cor verde fosca e textura lisa.

Com base nas informações e nos conhecimentos sobre o tema, considere as afirmativas a seguir, com as proporções esperadas destes cruzamentos.

I - 15% dos frutos serão de cor verde fosco e textura rugosa.

II - 25% dos frutos serão de cor verde fosco e textura lisa.

III - 25% dos frutos de cor verde brilhante e textura lisa.

IV - 35% dos frutos serão de cor verde brilhante e textura rugosa.

Assinale a alternativa CORRETA.

- a) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- b) Somente as afirmativas II e III são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.

GABARITOS E PADRÕES DE RESPOSTAS

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

01.
02.
03.
04.
05.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. [E]

[A] Incorreta. Os alelos dominantes no indivíduo heterozigoto estão em um cromossomo e os alelos recessivos em outro, portanto, em posição cis.

[B] Incorreta. Os pares Aa/Bb e Cc/Dd não possuem segregação independente, pois estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos, sendo que o princípio da segregação independente é válido para duas ou mais características, com genes localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, que se separam com total independência uns dos outros no processo de meiose e se combinam ao acaso.

[C] Incorreta. Aa e Cc não podem fazer crossing-over, pois estão em cromossomos não homólogos.

[D] Incorreta. Se não houver crossing-over, podem ser formados quatro tipos de gametas, ABcd, ABCD, abcd e abCD.

[E] Correta. Todos os genes representados obedecem à Primeira Lei de Mendel, que tem como princípio que cada característica é determinada por dois alelos, que se segregam na meiose, o que faz cada gameta portar apenas um alelo de cada gene, como é o caso dos genes representados, pois estão em cromossomos homólogos e na formação dos gametas se separam, ocorrendo em dose simples.

02. [D]

A segregação independente dos pares de genes não ocorre quando eles se situam fisicamente muito próximos no mesmo cromossomo. Nesse caso a tendência é serem herdados juntos.

03. [B]

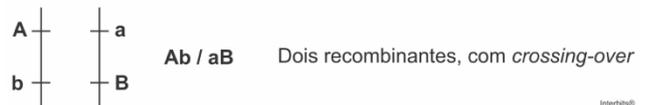
Os genes ligados ou em ligação gênica estão localizados no mesmo cromossomo e tendem a ir juntos para o mesmo gameta, mas durante a meiose pode ocorrer quebra e troca de pedaços entre cromossomos homólogos, através do crossing-over, que originará gametas recombinantes. Os recombinantes são a menor taxa de proporção produzida, no caso, 7% AaCc e 7% aaCC (7% + 7% = 14% ou 14UR).

04. [A]

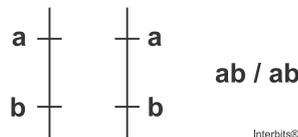
Na prófase I da meiose observam-se permutações (crossing-over) entre as cromátides homólogas internas dos cromossomos 1 e 2. A troca de segmentos entre essas cromátides gera variabilidade genética por recombinações gênicas.

05. [E]

A distribuição independente relaciona-se à 2ª Lei de Mendel. Não é possível definir as proporções sem as quantidades passadas no enunciado. Portanto, são apresentados 4 genótipos e 4 fenótipos em Linkage com 4 genótipos, sendo que dois serão parentais (sem crossing-over) e dois recombinantes (com crossing-over), representados abaixo: O duplo-heterozigoto em Linkage, produzirá os seguintes gametas:



O duplo-recessivo aabb produzirá apenas ab, genótipo igual ao de um gameta parental do duplo-heterozigoto



Produzindo, assim,

AaBb (parental) / aabb (parental) / Aabb (recombinante) / aaBb (recombinante)

06. [D]

O duplo heterozigoto trans Ab/aB forma gametas parentais (46% Ab e 46% ab) e recombinantes (4% AB e 4% ab).

07. [A]

Os resultados apontam que o animal diíbrido utilizado no cruzamento-teste apresenta os genes dominantes com arranjo cis, porque a proporção de descendentes parentais com as duas características dominantes, pelos normais e selvagens, supera a proporção dos recombinantes, os quais apresentam apenas um caráter dominante.

08. [C]

A permuta genética (ou crossing-over) corresponde à troca de segmentos entre cromátides homólogas (não irmãs). Ocorre durante a prófase I da meiose e produz variabilidade,

porque promove a recombinação gênica da formação dos gametas animais.

09. [E]

A distância entre os genes A e b ligados é igual à frequência de crossing-over (ou permutação). Dessa forma, um macho com genótipo Ab/aB formará os seguintes tipos de gametas: 28% com crossing-over (14% AB e 14% ab) e 72% parentais (36% Ab e 36% aB).

10. [B]

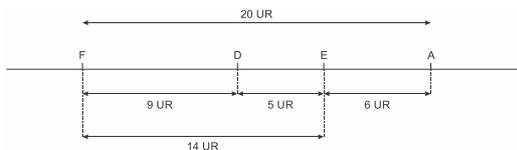
A taxa de recombinação entre dois genes situados no mesmo cromossomo é diretamente proporcional à distância entre os mesmos. Dessa forma, a taxa de recombinação (crossing over) entre os genes A e C é maior do que entre os genes A e B.

11. [D]

Os genes estudados no tomateiro estão em ligação com arranjo cis, distam 18 centimorgans entre si e produzem gametas parentais em maior proporção (82%) e recombinantes em menor proporção (18%).

12. [D]

Observe o mapa cromossômico a seguir:



13. [C]

Pelos dados do resultado do cruzamento, verificamos que os gametas recombinantes são Ab e aB pois são os que estão em menor quantidade 10% cada um. Para o cálculo da distância entre os genes devemos somar as porcentagens de gametas recombinantes, o que resulta em 20%. A distância dos genes no cromossomo será de 20 UR (unidades de recombinação).

14. [D]

Parental cis: AB/ab



15. [C]

Pais: $\text{♂ } VE/ve \times \text{♀ } ve/ve$

$\text{♀ } \text{ve}$	$\text{♂ } VE$	ve
	VE	ve
	ve	ve

Filhos: 50% VE/ve e 50% ve/ve

Portanto, são esperados 2400 filhos selvagens e 2400 filhos com asas vestigiais e corpo escuro.

16. [C]

O cruzamento-teste ($AaBb \times aabb$) com segregação independente entre os genes A e B, produzirá 25% dos descendentes com genótipo $aabb$.

Caso os genes A e B estejam em ligação cis, o cruzamento-teste ($AB/ab \times ab/ab$) com 40% de permutação, produzirá descendentes ab/ab com frequência de 30%.

17. [C]

O crossing over ou permuta é a troca de pedaços de cromátides irmãs entre cromossomos homólogos; a ocorrência deste fenômeno nas regiões 1 e 2 ocasionará a formação de gametas ABC, abc, AbC e aBc.

18. [B]

O genótipo heterozigoto é representado por $AB/ab Cc$. Dessa forma, considerando o princípio da segregação independente, serão formados quatro tipos de gametas: ABC, ABc, abC e abc. A frequência do gameta abc é, portanto, igual a $1/4$.

19. [E]

pais: $\text{♂ } AB/ab \times \text{♀ } ab/ab$

cruzamento:

$P(Ab/ab) = 5\%$

20. [A]

$\text{♂ } \text{♀}$	<u>AB</u>	<u>ab</u>	<u>Ab</u>	<u>aB</u>
<u>ab</u>	<u>AB</u> ab 45%	<u>ab</u> ab 45%	<u>Ab</u> ab 5%	<u>aB</u> ab 5%
	90% <u>parentais</u>		10% <u>recombinantes</u>	