

GENÉTICA

Prof. Kennedy Ramos

UNIDADE 16: Interação Gênica, Epistasia e Pleiotropia

Interações de genes não-alelos

A análise das proporções entre as classes fenotípicas da descendência de um cruzamento pode nos informar sobre o número de genes envolvidos em determinado caráter. Por exemplo, quando se trata de herança controlada por um único par de alelos com dominância completa, a segregação leva à clássica proporção 3:1, ou seja, no cruzamento entre heterozigotos, 3/4 da descendência têm a característica dominante e 1/4 tem a característica recessiva. Isso indica que apenas um gene está envolvido na herança.

Quando analisamos simultaneamente duas características, cada uma condiciona por um par de alelos com dominância completa e segregação independente, surge a proporção 9:3:3:1. A descendência do cruzamento de duplo-heterozigotos é constituída por 9/16 com ambas as características dominantes, 6/16 com uma das características dominante e outra recessiva e 1/16 com ambas as características recessivas.

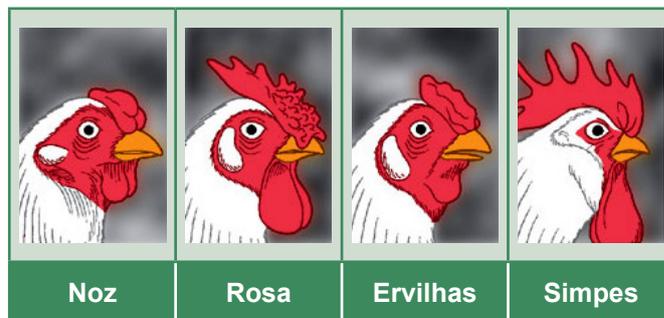
Existem casos em que dois ou mais genes, localizados ou não no mesmo cromossomo, interagem para produzir um determinado caráter. Quando isso acontece, a análise das proporções fenotípicas entre os descendentes pode nos informar quantos genes estão envolvidos na formação da característica e qual o tipo de interação existente entre eles.

Interação gênica na forma da crista de galinhas

Em 1905, o geneticista inglês William Bateson e seus colaboradores concluíram, depois de uma série de cruzamentos experimentais, que o caráter forma da crista em galinhas é condicionado pela interação de dois pares de alelos que se segregam independentemente. As combinações entre os diferentes alelos podem produzir quatro tipos de crista: **rosa, ervilha, noz e simples**.

Genótipo	Tipo de crista (fenótipos)
R_E_	Noz
R_ee	Rosa
rr R_	Ervilha
rr ee	Simples

Exemplificando, teremos...



Epistasia

Existem casos em que os alelos de um gene inibem a ação dos alelos de um outro par, que pode ou não estar no mesmo cromossomo.

Esse fenômeno é chamado **epistasia** (do grego *epi*, sobre, e *stasis*, parada, inibição). O gene que exerce a ação inibitória é chamado **epistático**, e o que sofre a inibição é chamado **hipostático**.

Se o gene epistático atuar em dose simples, isto é, se a presença de um único alelo epistático for suficiente para causar a inibição do hipostático, fala-se em **epistasia dominante**.

Por outro lado, se o alelo que determina a epistasia atua somente em dose dupla, fala-se em **epistasia recessiva**.

Um exemplo de epistasia recessiva

Os camundongos comuns podem ter três diferentes cores de pelagem:



Estes fenótipos são determinados por dois locos gênicos, que interagem entre eles. Vamos separar os locos para entender o fenômeno: o loco que determina a cor da pelagem foi batizado como **A**. Quando o genótipo do indivíduo for (**A_**), ele apresentará a cor **aguti** e quando for (**aa**) o indivíduo terá os pêlos pretos. O outro loco apenas controla a expressão do loco A. Sempre que o genótipo do indivíduo for **P_**, ele apresentará o fenótipo determinado por A, e quando o genótipo for **pp**, o indivíduo será albino, independente do genótipo para o loco **A**.

Observe o cruzamento abaixo e veja como funciona esta interação:

		Gametas femininos			
		AP	aP	Ap	ap
Gametas masculinos	AP	 Aguti AAPP	 Aguti AaPP	 Aguti AAPp	 Aguti AaPp
	aP	 Aguti AaPP	 Preto aaPp	 Aguti AaPp	 Preto aaPp
	Ap	 Aguti AAPp	 Aguti AaPp	 Branco AApp	 Branco Aapp
	ap	 Aguti AaPp	 Preto aaPp	 Branco Aapp	 Branco aapp
		Geração F2			

Repare que a única "função" do loco P é controlar a expressão de A. Assim, só é possível saber o genótipo de um indivíduo para o loco P se ele for albino, e neste caso, será impossível prever o genótipo para alelo A.

Este é um exemplo clássico de **Epistasia**. Neste caso ela é chamada de **Epistasia Recessiva**, já que ocorre quando o loco epistático exerce influência sobre o outro ao ocorrer em homozigose recessiva.

Lembrando: Epistasia é definida como a interação onde os alelos de um par de gene inibem a ação dos alelos de um outro par, que pode ou não estar num mesmo cromossomo.

Um exemplo de epistasia dominante

Há outro tipo de epistasia, que é chamada de **Epistasia Dominante**. Como você pode imaginar, este tipo de epistasia acontece quando o loco epistático exerce influência sobre o outro ao apresentar pelo menos um alelo dominante.

A cor da plumagem em galinhas é determinada por dois locos. Um deles determina a cor propriamente dita e o outro controla a ação deste primeiro (não esqueça que este é um exemplo de epistasia). O alelo **C** condiciona plumagem colorida e **c** plumagem branca. Estes alelos interagem com os alelos **I** e **i**, de forma que, se um indivíduo tem um alelo **I** no genótipo, sua plumagem será branca.

	Gene C → penas coloridas.	
	Gene c → penas brancas.	
	Gene I → epistático sobre gene C.	
	Fenótipos	Genótipos
	Pernas coloridas	C_ii
Pernas brancas	cc__	
	C_I_	

Assim, apenas as aves de genótipo **C_ii** são coloridas. As aves ccii são brancas por não apresentarem o alelo de pigmentação (**C**) e as aves **C_I_** são brancas porque o alelo I impede a pigmentação. Basta que a galinha tenha o alelo I em seu genótipo (**_ _ I _**) para que não seja produzido pigmento. Portanto, o gene epistático I atua em dose simples, comportando-se como se fosse dominante. Daí esse tipo de interação gênica ser conhecida como epistasia dominante.

Ação gênica complementar

A cor da flor das ervilhas de cheiro

Bateson e Punnet descreveram outro caso de interação gênica ao analisarem a herança da cor da flor em plantas de ervilha-de-cheiro. As flores, nessas plantas, podem ter coloração branca ou púrpura.

Cruzando duas plantas de flores brancas de origens diferentes, obtiveram em F1 somente plantas produtoras de flores púrpura.

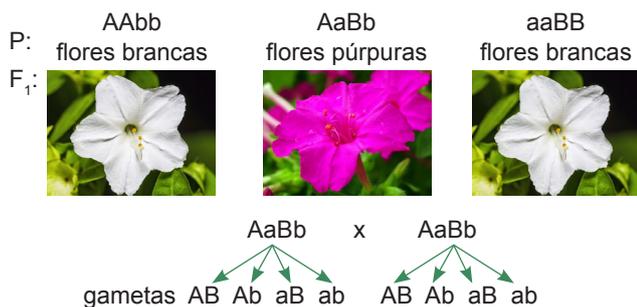
Esses indivíduos de F1, intercruzados, produziram em F2 dois tipos de fenótipos, na proporção de : **9/16 plantas produtoras de flores púrpura e 7/16 plantas produtoras de flores brancas.**

Neste caso, também temos a interação de dois pares de genes na determinação de um caráter (cor da flor). A cor púrpura é condicionada pela interação dos dois genes dominantes, A e B (A_B_).

Para a ocorrência de flores da cor branca, temos duas possibilidades:

- A presença de apenas um dos genes dominantes, A ou B (A_bb ou aab_); ou
- A ausência dos dois genes dominantes (aabb).

Genótipo	Fenótipos
A_B_	púrpura
A_bb	branca
aaB_	branca
aabb	branca



Detalhando os cruzamentos realizados com flores brancas de origens diferentes, temos:

P	AAbb X aaBB
F ₁	AaBb flores púrpuras

AaBb X AaBb

Gametas possíveis: AB, Ab, aB, ab

Vamos ver o cruzamento em detalhe:

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB púrpura 	AABb púrpura 	AaBB púrpura 	AaBb púrpura 
Ab	AABb púrpura 	AAbb branca 	AaBb púrpura 	Aabb branca 
aB	AaBB púrpura 	AaBb púrpura 	aaBB branca 	aaBb branca 
ab	AaBb púrpura 	Aabb branca 	aaBb branca 	aabb branca 

Pleiotropia

Um par de genes, várias características

Pleiotropia (do grego, *pleion* = mais numeroso e *tropos* = afinidade) é o fenômeno em que **um par de genes alelos condiciona o aparecimento de várias características** no mesmo organismo. A pleiotropia mostra que a idéia mendeliana, de que cada gene afeta apenas uma característica, nem sempre é válida. Por exemplo, certos ratos nascem com costelas espessadas, traquéia estreitada, pulmões com elasticidade diminuída e narinas bloqueadas, o que fatalmente os levará a morte. Todas essas características são devidas à ação de apenas um par de genes, portanto, um caso de pleiotropia.

Penetrância e Expressividade

A braquidactilia é uma anomalia genética que provoca o encurtamento dos dedos da mão, traço causado por um gene dominante. Entretanto, podem ocorrer diferentes graus de braquidactilia pela expressão variável.



Vimos que, em alguns casos, os genes se manifestam com fenótipos bem distintos. Por exemplo, os genes para a cor das sementes em ervilhas manifestam-se com fenótipos bem definidos, sendo encontradas sementes amarelas ou verdes. A essa manifestação gênica bem determinada chamamos de **variação gênica descontínua**, pois não há fenótipos intermediários.

Há herança de características, no entanto, cuja manifestação do gene (também chamada de expressividade) não determina fenótipos tão definidos, mas sim uma gradação de fenótipos. A essa gradação da expressividade do gene, variando desde um fenótipo que mostra leve expressão da característica até sua expressão total, chamamos de norma de reação ou **expressividade variável**. Por exemplo, os portadores dos genes para braquidactilia (dedos curto) podem apresentar fenótipos variando de dedos levemente mais curtos até a total falta deles.

Alguns genes sempre que estão presentes se manifestam, dizemos que são **altamente penetrantes**. Outros possuem uma **penetrância incompleta**, ou seja, apenas uma parcela dos portadores do genótipo apresenta o fenótipo correspondente.

Importante: Observe que o conceito de penetrância está relacionado à expressividade do gene em um conjunto de indivíduos, sendo apresentado em termos percentuais. Assim, por exemplo, podemos falar que a penetrância para o gene para a doença de Huntington é de 100%, o que quer dizer que 100% dos portadores desse gene apresentam (expressam) o fenótipo correspondente).



ATIVIDADES PROPOSTAS



01. (Ufpe) Na espécie humana há um gene que exerce ação simultaneamente sobre a fragilidade óssea, a surdez congênita e a esclerótica azulada. Assinale a alternativa que define o caso:

- a) Ligação genética.
- b) Penetrância completa.
- c) Pleiotropia.
- d) Herança quantitativa.
- e) Polialelia.



02. (Uece) Em periquitos australianos observam-se, principalmente, as seguintes cores de plumagem: amarela, azul, branca e verde, condicionadas por dois pares de genes de segregac o independente e que interagem entre si. Sabendo-se que os indivíduos homocigotos recessivos são brancos; os indivíduos que apresentam em ambos os loci pelo menos um dos alelos dominantes são verdes; e que os indivíduos que apresentam um loci com genes recessivos e o outro com, pelo menos, um alelo dominante ou são azuis ou amarelos, podemos afirmar corretamente que a propor o esperada de um cruzamento de periquitos com ambos os loci heterocigotos  :

- a) Amarela: 9/16; Azul: 3/16; Branca: 3/16; Verde: 1/16.
- b) Amarela: 1/16; Azul: 3/16; Branca: 9/16; Verde: 3/16.
- c) Amarela: 3/16; Azul: 3/16; Branca: 1/16; Verde: 9/16.
- d) Amarela: 3/16; Azul: 1/16; Branca: 3/16; Verde: 9/16.



03. (Ufu) Em uma determinada raça de c o há três possibilidades de cores de pelo: preta, amarela e marrom. O alelo M   responsável pela cor preta, e seu alelo recessivo, pela cor marrom. O gene E, não al lico de M, condiciona o depósito de pig-

mento preto ou marrom no pelo. Já o alelo recessivo (e) impede esse depósito, originando o pelo amarelo.

No cruzamento entre dois cães dessa raça, um de pelo preto heterocigoto para os dois pares de genes e outro marrom descendente de uma mãe amarela, espera-se na descendência uma propor o fenotípica de::

- a) 6 pretos: 2 amarelos.
- b) 3 pretos: 3 marrons: 2 amarelos.
- c) 3 pretos: 5 marrons.
- d) 4 pretos: 3 marrons: 1 amarelo.



04. (Uern) A tabela apresenta duas situa es isoladas, em que o mesmo genótipo para determinar a cor da pelagem de determinados animais pode apresentar dois fenótipos diferentes, pois são intera es g nicas diferentes:

	Animal I	Animal II
Genótipo	Fenótipo I	Fenótipo II
B_pp	Branco	Branco
bb P_	Preto	Preto
B_P_	Marrom	Branco
bb pp	Cinza	Cinza

Após a análise da tabela, pode-se concluir que a ocorrência de intera es g nicas   muito significativa, pois mostra que os fenótipos resultam de processos complexos envolvendo, muitas vezes, vários pares de genes. Diante do exposto,   correto afirmar que

- a) o animal I apresenta uma intera o epistática dominante, ou seja, um alelo dominante impede o efeito de um alelo de outro gene.
- b) o fato do animal II possuir um gene inibidor dominante, não impede de se encontrar outro exemplo em que o mesmo gene seja recessivo.
- c) os dois animais apresentam intera es não epistáticas, em que a propor o 9 : 3 : 3 : 1 indica que agem dois pares de alelos, como ocorre no di-hibridismo clássico mendeliano.
- d) o animal II apresenta uma intera o não epistática, em que a presença de dois genes dominantes originam um fenótipo diferente dos fenótipos produzidos por cada par separadamente.



05. (Uepb) Em cães da raça labrador, o alelo dominante B determina a produ o de pigmento de cor preto e o alelo recessivo b determina a produ o de pigmento da cor chocolate. Um outro gene "E" está envolvido na determina o da cor da pelagem dos labradores, controlando a deposi o

de pigmento nos pelos, mas não nas células epidérmicas dos lábios e nariz; assim, o alelo dominante E condiciona a deposição de pigmentos nos pelos, enquanto o alelo recessivo “e” não condiciona essa deposição, atuando sobre B e b. Esses cães podem apresentar três tipos de pelagem: preta, chocolate e dourada. Utilizando os dados apresentados acima, podemos afirmar que:

I. O cruzamento de cães pretos duplo-heterozigóticos (BbEe) produz descendentes pretos (B_E_), chocolates (bbE_) e dourados (_ _ee) na proporção de 9:3:4, respectivamente.

II. Os cães dourados descendentes do cruzamento de labradores duplo-heterozigóticos podem ter genótipos BBee (1/4), Bbee (2/4) ou bbee (1/4), o que resultaria em 3/4 de cães dourados com lábios e nariz pretos e 1/4 de cães dourados com lábios e nariz marrons.

III. É um caso de epistasia recessiva, ou seja, quando um gene, em dose dupla, impede a expressão dos alelos de outro par, que pode ou não estar no mesmo par de cromossomos homólogos. Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) Apenas I.
- b) I, II e III.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e III.
- e) Apenas II.



ATIVIDADES ENEM



06. (MODELO ENEM) Em galináceos, foram observados quatro tipos de cristas: rosa, ervilha, simples e noz.

Quando aves homozigóticas de crista rosa foram cruzadas com aves de crista simples, foram obtidas 75% de aves com crista rosa e apenas 25% com crista simples em F2. Do cruzamento de aves homozigóticas de crista ervilha com aves de crista simples foram obtidas 75% de aves com crista ervilha e apenas 25% com crista simples, também em F2. Quando aves homozigóticas de crista rosa foram cruzadas com aves homozigóticas de crista ervilha, todos os descendentes F1 apresentaram um novo tipo de crista, o tipo noz. Na F2, produzida a partir do cruzamento de indivíduos F1, foi observado que, para cada 16 descendentes, nove apresentavam crista noz, três, crista rosa, três, crista ervilha e apenas um apresentava crista simples.

Esses dados indicam que, na herança da forma da crista nessas aves, tem-se um caso de:

- a) Pleiotropia, em que quatro alelos de um loco estão envolvidos.
- b) Interação gênica entre alelos de dois locos distintos.
- c) Epistasia dominante e recessiva.
- d) Herança quantitativa.
- e) Alelos múltiplos.



07. (MODELO ENEM) 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 pode-se inferir 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.



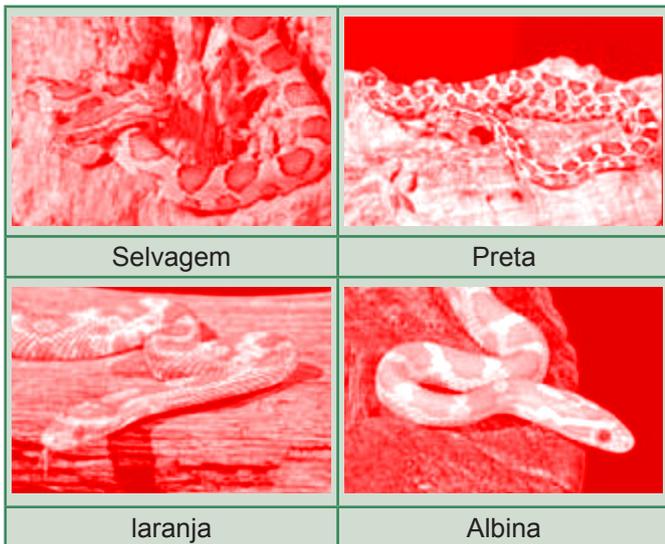
08. (MODELO ENEM) Em genética, em alguns casos, um único par de alelos determina mais de uma característica no organismo. Isso ocorre, por exemplo, com ervilhas, em que um único par de alelos é responsável por três características fenotípicas: cor das flores, cor das sementes, presença ou ausência de manchas nas axilas foliares. Esse fenômeno é conhecido como:

- a) herança aditiva
- b) poligenia
- c) pleiotropia
- d) co-dominância
- e) dominância intermediária.



09. (MODELO ENEM) Na cobra do milho, os alelos A e B regulam a coloração da pele. O pigmento preto é determinado pelo alelo dominante A, enquanto o alelo recessivo a não produz esse pigmento. O pigmento laranja é determinado pelo alelo dominante B, enquanto o alelo b não produz esse pigmento. A cobra selvagem produz os pigmentos preto e laranja. Cobras pretas produzem apenas pigmento preto. Cobras laranja produzem apenas pigmento laranja. Existem ainda cobras albinas, que não produzem os dois pigmentos.

As figuras apresentam os quatro fenótipos possíveis de coloração da pele:



Assinale a alternativa na qual os genótipos representam, respectivamente, uma cobra selvagem e uma cobra albina.

- a) AaBb e aabb.
- b) aaBb e aabb.
- c) AaBb e AAbb.
- d) aaBB e Aabb.
- e) Aabb e aaBb.



10. (MODELO ENEM) Leia as informações a seguir. Em uma dada espécie de abóbora, a interação de dois pares de genes condiciona a variação fenotípica dos frutos. Frutos na forma discoide são resultantes da presença de dois genes dominantes. A forma esférica deve-se à presença de apenas um dos dois genes dominantes. Já a forma alongada é determinada pela interação dos dois genes recessivos.

De acordo com as informações, o cruzamento entre uma abóbora esférica duplo homocigota com uma abóbora alongada resulta, na linhagem F1, em uma proporção fenotípica de:

- a) 6/16 alongada.
- b) 8/16 esférica.
- c) 9/16 discoide.
- d) 16/16 alongada.
- e) 16/16 esférica.

GABARITOS

QUESTÃO 01: Gabarito: C

QUESTÃO 02: Gabarito: C

Comentário:

Genótipos	Fenótipos
A ₁ B ₁	verde
A ₁ bb	azul
aaB ₁	amarelo
aabb	branco

Pais: AaBb x AaBb

Filhos: verdes $\left\{ \frac{9}{16} A_B_ \right\}$; azuis $\left\{ \frac{3}{16} A_bb \right\}$;
 amarelos $\left\{ \frac{3}{16} aaB_ \right\}$; brancos $\left\{ \frac{1}{16} aabb \right\}$.

QUESTÃO 03: Gabarito: B

Pais: MmEe x mmEe

filhos: 3 pretos (1MmEE e 2MmEe)
 3 marrons (1mmEE e 2mmEe)
 2 amarelos (1Mmee e 1mmee)

QUESTÃO 04: Gabarito: B

Comentário: Por exclusão, conclui-se que a alternativa [B] é correta, apesar de não deixar claro a qual fenótipo se refere o gene inibidor em questão.

QUESTÃO 05: Gabarito: B

Comentário:

Pais: ♂BbEe x ♀BbEe

Filhos: 9 B_ Ee (pretos) : 3 bbE_ (chocolate) : 4 _ ee (dourados)

Entre os animais dourados, espera-se a proporção de 3/4 B_ ee dourados com lábios e nariz pretos e 1/4 bbee dourados com lábios e nariz marrons (chocolate).

QUESTÃO 06: Gabarito: B

Comentário: As proporções de 9:3:3:1, obtidas no cruzamento de indivíduos da F1, indicam que a herança do tipo de cristas das galinhas é determinada pela interação de dois pares de genes com segregação independente, isto é, genes situados em locos de cromossomos distintos..

QUESTÃO 07: Gabarito: A

QUESTÃO 08: Gabarito: C

QUESTÃO 09: Gabarito: A

Comentário: Tratando-se de um caso de dois genes com segregação independente e interação, as cobras selvagens apresentam, pelo menos, um gene dominante de cada par (A _ B _), enquanto as albinas não produzem pigmento e são genotipicamente aabb.

QUESTÃO 10: Gabarito: E

Comentário:

fenótipos	genótipos
discoide	A_ B_
esférica	A_ bb ou aaB_
alongada	aabb

pais: AAbb x aabb
gametas Ab ab
Filhos 100% Aabb (esféricas)

pais: AAbb x aabb.
gametas Ab ab.
Filhos 100% Aabb (esféricas).

REFERENCIAL TEÓRICO

GRIFFITHS, A.J.F. et al. Introdução à Genética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 9ª ed., 2010.

SNUSTAD, D.P. e SIMMONS, M.J. Fundamentos de genética. 2º ed. Rio de Janeiro: guanabara Kogan, 200.

GARDNER, E. J. e SNUSTAD, D.P. Genética. 7º ed. Rio de Janeiro: guanabara Kogan, 1986

BURNS, G. W. e BOTTINA, P. J. Genética 6º ed. Rio de Janeiro: guanabara Kogan,
STANFIELD, W. D. Genética 2º ed. Editora Mc Graw - Hill.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 1 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 2 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010

LOPES, S.; ROSSO, S.; BIO volume 2. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; Biologia, volume único 1. Ed. São Paulo: Ática, 2011. DOS SANTOS, F.S.; VICENTIN, J.B; DE OLIVEIRA,

M.M.A. Ser Protagonista- Biologia (ensino médio) – Vol 2. 1º edição, São Paulo, Edições SM, 2010.