

A caixa de ovos de Mendel

Herald Souza dos Reis¹,
Iderval da Silva Júnior Sobrinho²,
Carlos Alberto Machado da Rocha³

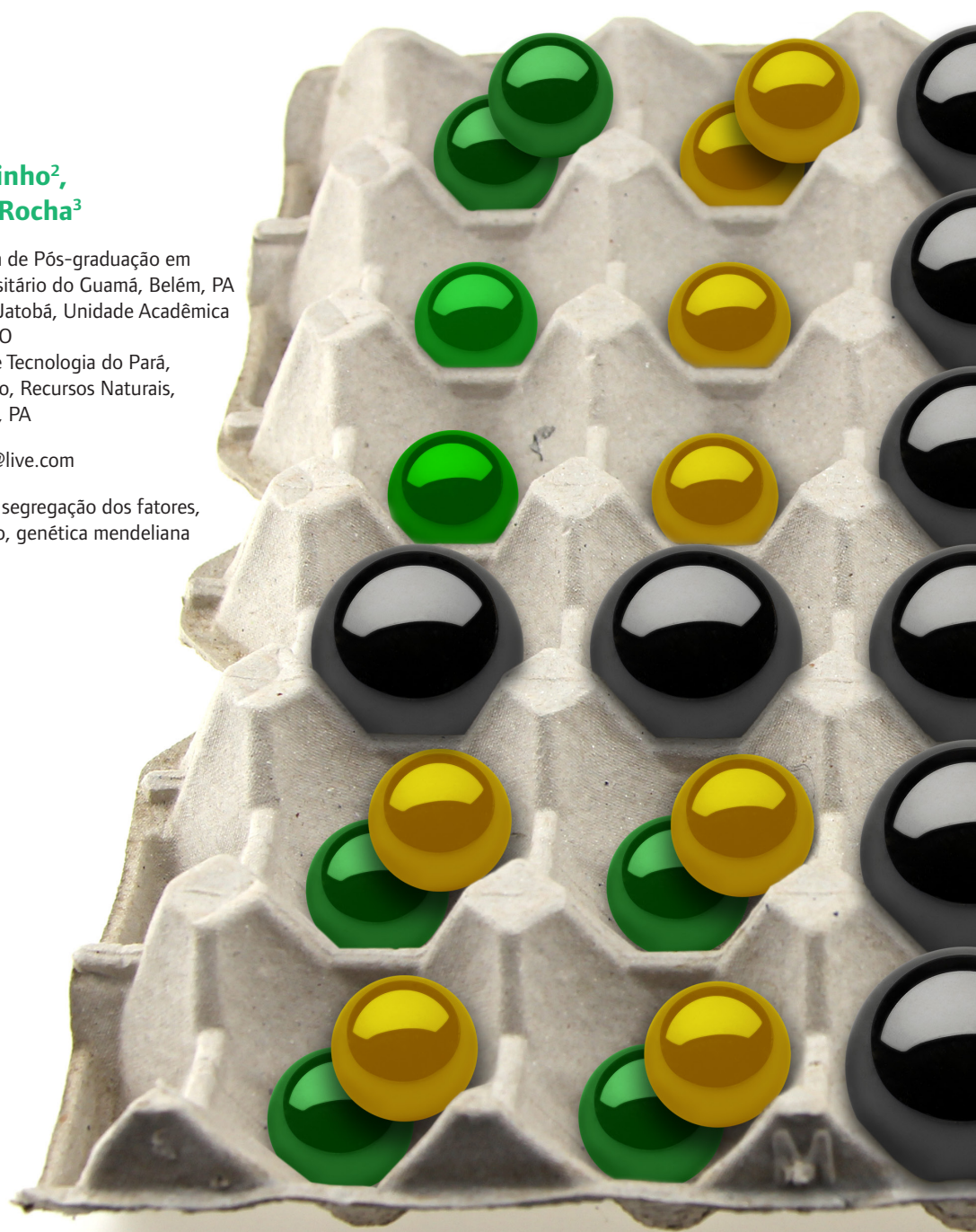
¹ Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Campus Universitário do Guamã, Belém, PA

² Universidade Federal de Jataí, Campus Jatobá, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Biológicas, Jataí, GO

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Belém, Departamento de Ensino, Recursos Naturais, Design e Infraestrutura (DERIN), Belém, PA

Autor para correspondência - herald.reis@live.com

Palavras-chave: primeira lei de Mendel, segregação dos fatores, meiose, atividade prática, recurso didático, genética mendeliana



A compreensão do enunciado da 1ª lei de Mendel: – “Cada característica é determinada por dois fatores que se segregam na formação dos gametas, onde ocorrem em dose simples” – apresenta grande dificuldade para uma vasta parcela dos estudantes. A proposta deste artigo é uma atividade denominada “A Caixa de ovos de Mendel” como forma de auxiliar a compreensão dos conceitos de genética mendeliana relacionados à 1ª lei. O estudante de Ensino Médio constrói e manipula um modelo didático que representa, entre outros detalhes, como os cruzamentos são feitos, as características fenotípicas e genotípicas de plantas de ervilha com diferentes cores de sementes, assim como a relação entre a segregação dos alelos e a teoria cromossômica da herança.



Contextualizando

A hipótese de dominância e recessividade foi comprovada nos diversos experimentos efetuados por Gregor Mendel, que posteriormente levaram à elaboração da sua 1ª lei nos anos 1865-66: “Cada característica é condicionada por um par de fatores que se segregam na formação dos gametas, onde ocorrem em dose simples”. Em outras palavras, cada gameta, feminino ou masculino, é portador de apenas um fator. Embora Mendel não tivesse ideia da composição desses fatores e nem de onde se encontravam, conseguiu demonstrar que eles se separavam durante a formação dos gametas. Somente a partir de 1902, com os trabalhos de Walter Sutton e Theodor Boveri, corroborados pela equipe de Thomas Morgan (1915), ficou provado que os fatores mendelianos (modernamente, os alelos de cada gene) estão localizados nos cromossomos, estabelecendo a Teoria Cromossômica da Herança. Sabemos atualmente que a segregação dos fatores proposta por Mendel resulta da separação de cromossomos na primeira divisão da meiose.

Dentre as características estudadas por Mendel e comumente apresentadas em livros didáticos está a cor da semente de ervilha. A coloração é atribuída ao gene *SGR* (*Stay-green*) que codifica a proteína *SGR* relacionada com a degradação de clorofila e, conseqüentemente, com as cores amarela e verde das sementes. Este gene possui duas formas (alelos): normal (*V*) e mutante (*v*). O alelo mutante não produz uma proteína funcional e, dessa forma, não degrada a clorofila e, conseqüentemente, as sementes permanecem com a coloração verde. Como a mutação é recessiva, as plantas com o alelo mutante em homozigose (*vv*) são verdes, enquanto as plantas heterozigóticas (*Vv*) e homozigóticas com os alelos normais (*VV*) exibem o fenótipo amarelo.

A atividade *Caixa de ovos de Mendel* foi criada com o intuito de facilitar a aprendizagem da 1ª lei de Mendel utilizando como exemplo a cor das sementes de ervilha. O material deve ser utilizado por estudantes do Ensino Médio como uma oportunidade para que os

estudantes mobilizem os conceitos ministrados em aulas teóricas, como dominância, recessividade, alelos, fenótipo, genótipo, geração parental, F₁ e F₂, e consigam inter-relacioná-los.

Foram elaborados dois **Cadernos**, sendo que ambos devem ser usados pelos estudantes durante o desenvolvimento da atividade. O primeiro orienta a preparação do material e o segundo serve como roteiro e explicação de cada etapa. Ambos devem ser impressos e entregues para cada estudante ou grupo de estudantes. Além disso, há um **Formulário** que também deve ser impresso e entregue aos estudantes. Os formulários serão preenchidos ao longo da aula, mas os Cadernos poderão ser utilizados por outras turmas.

Material

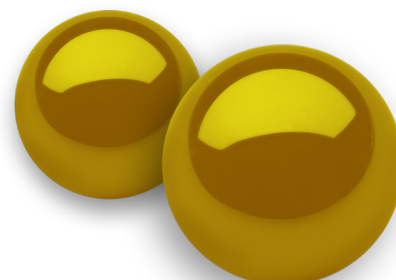
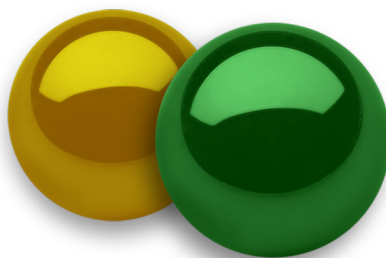
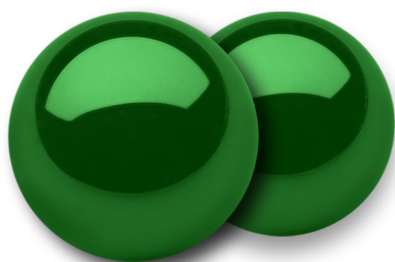
(Por estudante ou grupo de estudantes)

- ♦ 1 caixa de ovos com 30 espaços
- ♦ Massa de modelar branca – cerca de 30 gramas, o suficiente para fazer 32 rolinhos (cromossomos)
- ♦ Massa de modelar verde cerca de 15 gramas, o suficiente para fazer 16 bolinhas (alelos)
- ♦ Massa de modelar amarela – cerca de 15 gramas, o suficiente para fazer 16 bolinhas (alelos)
- ♦ Pincel preto
- ♦ Pincel vermelho
- ♦ Duas folhas de papel A4
- ♦ Caderno 01 – Preparo do Modelo a ser utilizado (imprimir um para cada estudante ou grupo de estudantes)
- ♦ Caderno 02 – Procedimento (imprimir um para cada estudante ou grupo de estudantes)
- ♦ Formulário individual da atividade prática (Anexo 1), que será preenchido pelos estudantes durante o desenvolvimento da atividade (imprimir um para cada estudante)

OBS: Os Cadernos 01 e 02, se forem plastificados, poderão ser utilizados em turmas subsequentes.

Orientações ao professor

1. Aconselha-se que a atividade seja utilizada para estudantes que já saibam os conceitos de cromossomos, genes, alelos e o processo da meiose.
2. Sugere-se que a classe seja dividida em grupos de cerca de 04 estudantes. A primeira fase da atividade, que corresponde à montagem do material didático, deve ocorrer de modo concomitante com as explicações do professor sobre o significado biológico de cada um dos componentes do material didático. Espera-se que, nesta fase, os estudantes possam gradativamente resgatar os conceitos aprendidos em aulas passadas e associá-los à sua representação no modelo do material didático. Portanto, em cada etapa de montagem do material o professor explica para os estudantes o que cada componente representa. Por exemplo, quando os estudantes estiverem preparando os rolos de massa de modelar, o professor explica que eles representam um cromossomo e que as bolinhas coloridas representam alelos do gene que confere cor à ervilha.
3. É importante que o professor se certifique de ter ficado claro para os estudantes a relação entre a segregação dos cromossomos na meiose e a 1ª lei de Mendel durante a execução da prática. O esperado é que os estudantes percebam a existência da referida relação durante o desenvolvimento da atividade, isto é, com o manuseio dos cromossomos e alelos, a construção das gerações parental, F1 e F2, a discussão com os colegas e as respostas às várias questões que são feitas durante cada etapa da atividade. O professor deve ficar atento às discussões que ocorrem entre os diferentes grupos e, em caso de necessidade, interferir pontualmente no sentido de esclarecer a correlação entre a segregação dos cromossomos na meiose e da separação dos alelos (ou fatores de Mendel), base da formulação da primeira lei de Mendel.
4. Na **etapa 5**, especificamente na **questão H**, sugere-se que o professor oriente os estudantes a formularem uma hipótese para responder o porquê de uma das bolinhas (alelos) não ‘aparecer no fenótipo’ mesmo estando no cromossomo. Os estudantes podem dar um nome para essa ‘propriedade’ das bolinhas, como fraca e forte, escondida e evidente etc e, posteriormente, o professor discutirá os conceitos de dominância e recessividade.
5. Enfatizar que a primeira lei de Mendel se refere à segregação dos alelos de apenas um gene
6. Todas as respostas para as perguntas realizadas durante a atividade, assim como aquelas presentes no formulário sobre os fenótipos, genótipos e proporções, estão apresentadas no item **Respostas**.



Caderno 01 - preparo do modelo a ser utilizado

- Dispor sobre uma mesa ou bancada as folhas de papel A4 e sobre elas colocar a caixa de ovos, conforme mostrado na figura 1A. A caixa deve conter cinco depressões ou compartimentos na horizontal e seis na vertical, como mostrado na Figura 1.
- Fazer as seguintes marcações nas folhas A4: identificar as cinco colunas com as letras de A a E e, as seis linhas, com os números de 1 a 6.
- Pintar em preto todas as depressões da coluna C e toda a linha 4.
- Desenhar na caixa de ovos um traço entre as linhas 1 e 2.
- Fazer um traço vertical, na caixa de ovos, entre as colunas A e B, assim como entre D e E, somente na região correspondente às linhas 2 e 3.

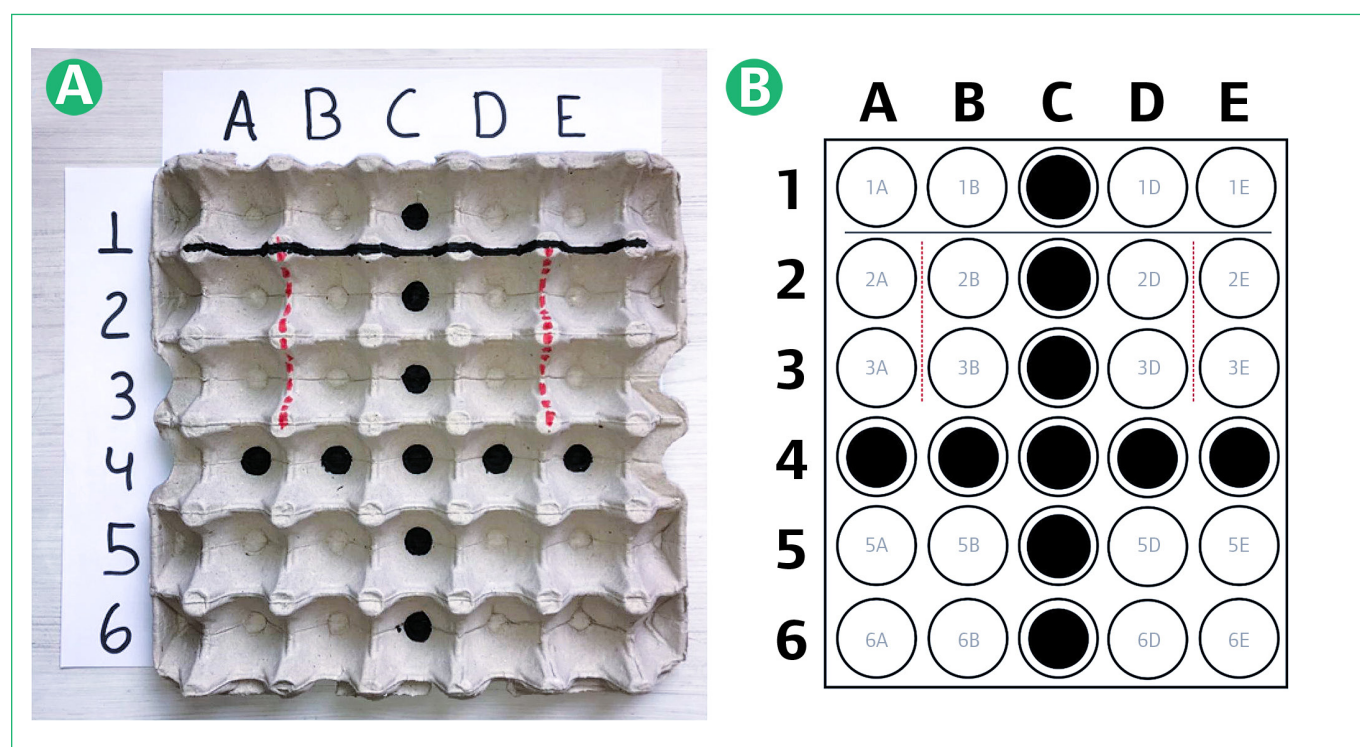


Figura 1.

(A) Foto da divisão da caixa de ovos para a atividade. (B) Esquema da divisão da caixa de ovos.

Entendendo a divisão da caixa

- Cada espaço será chamado pela identificação da linha e depois da coluna. Exemplo: 1A, 1B, 2C, 2D etc.
- As marcações realizadas dividiram a caixa em 6 áreas compostas pelos seguintes espaços ou depressões:

<p>I 1A e 1B,</p> <p>II 2A, 2B, 3A e 3B,</p> <p>III 5A, 5B, 6A e 6B,</p>	<p>IV 1D e 1E,</p> <p>V 2D, 2E, 3D e 3E,</p> <p>VI 5D, 5E, 6D e 6E</p>
---	---

- Os espaços das linhas 1, 5 e 6 representam as plantas com dois cromossomos, cada um deles com um alelo.
- Os espaços das linhas 2 e 3 representam os gametas formados com um cromossomo e tendo um alelo.

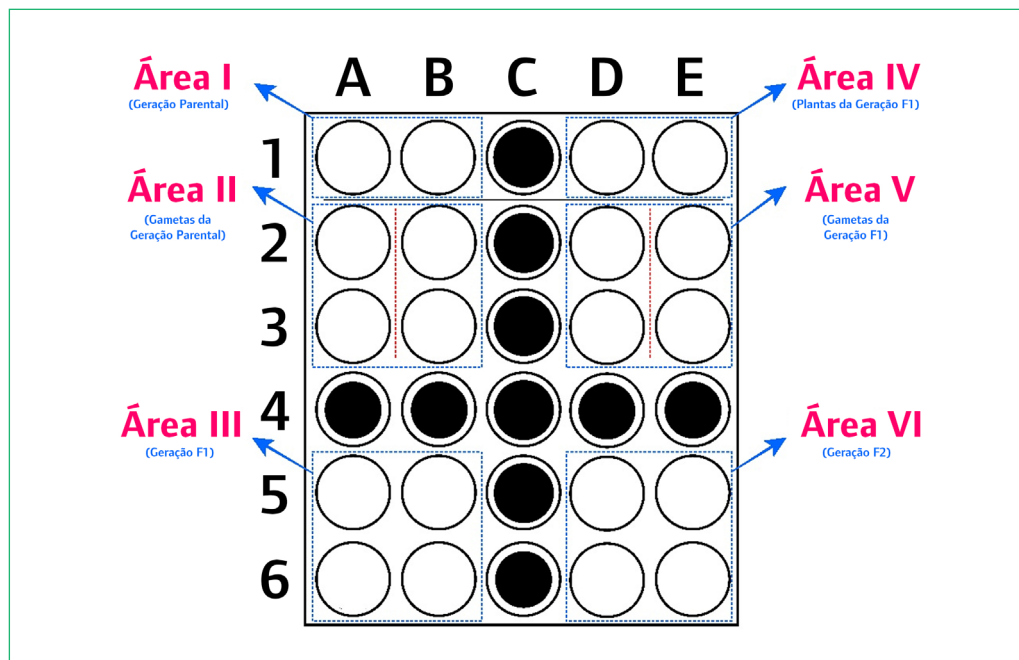


Figura 2.
Esquema mostrando a identificação das áreas da caixa.

Preparando os cromossomos

- Fazer 32 cromossomos com a massa de modelar branca em formatos de pequenos rolos; o comprimento de cada rolinho não deve ultrapassar o diâmetro de cada depressão da caixa de ovos;
- Fazer 16 bolinhas com a massa de modelar verde e outras 16 com a massa de modelar amarela e fixar cada uma das bolinhas em um cromossomo como mostrado na Figura 3: cada bolinha representa um alelo do gene *SGR*, sendo a bolinha verde o alelo recessivo (*v*) e, a amarela, o alelo dominante (*V*):

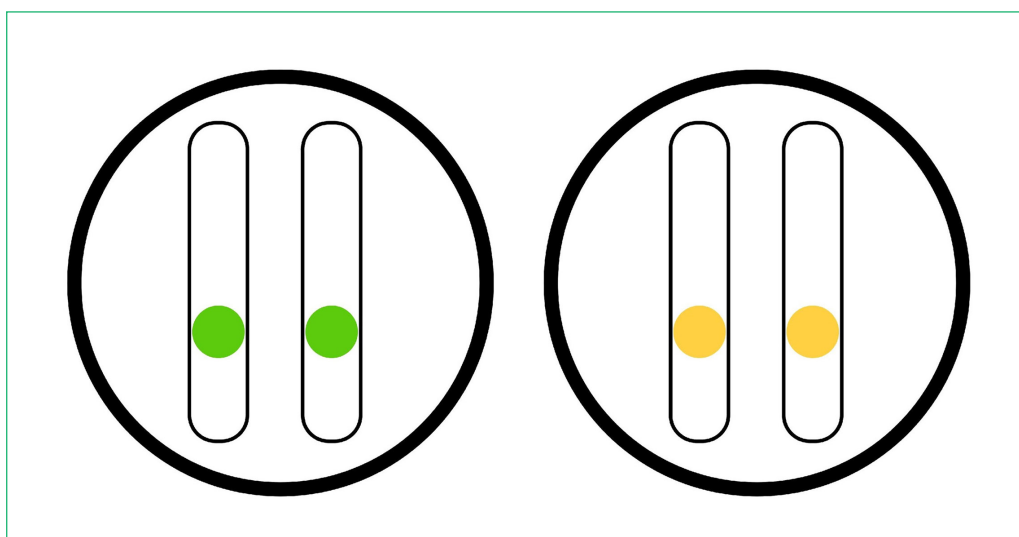


Figura 3.
Representação dos cromossomos com os alelos *V* e *v* confeccionados com massa de modelar.

Caderno 02 – procedimento

1. Ler o enunciado da 1ª lei de Mendel e as afirmações que se seguem:

“Cada característica é condicionada por um par de fatores que se segregam na formação dos gametas, onde ocorrem em dose simples”.

- Atualmente sabemos que cada característica estudada por Mendel é condicionada por um gene e os fatores mencionados por ele correspondem aos alelos.
- Cada gene pode ter mais de um tipo de alelo. No caso das ervilhas, o gene responsável pela cor das sementes (denominado *SGR*) possui dois alelos, o alelo *V* e o alelo *v*. Os genes são trechos do DNA presentes nos cromossomos que podem ser responsáveis por uma determinada característica, como a cor das sementes.
- Nos organismos diploides os cromossomos estão sempre em pares e, portanto, um organismo adulto possui duas cópias de um mesmo gene, uma em cada cromossomo do par. Um par de cromossomos pode apresentar, para um determinado gene, os mesmos alelos ou alelos diferentes.

Nesta prática os cromossomos com bolinhas amarelas representarão os cromossomos com o alelo *V* e os cromossomos com bolinhas verdes representarão os cromossomos com o alelo *v*.

2. A geração parental

- a) Colocar na caixa de ovos um par de cromossomos, confeccionados em massa de modelar, com bolinhas da cor verde no espaço 1A e outro par com bolinhas amarelas no espaço 1B.

Na área I estão representadas as plantas puras para a cor da ervilha (*VV* e *vv*) como as que Mendel utilizou em seus experimentos. Elas representam a **Geração Parental**.

- b) Anotar no formulário individual os fenótipos e genótipos dessas plantas, usando as informações contidas na Tabela 1.

Genótipo	Fenótipo
verde-verde (<i>vv</i>)	ervilhas verdes
amarelo-amarelo (<i>VV</i>)	ervilhas amarelas
amarelo-verde (<i>Vv</i>)	ervilhas amarelas

Tabela 1.

Correspondência entre os alelos do gene *SGR* (*V* e *v*) e os fenótipos gerados pela combinação de uma dupla de alelos.

- c) Verificar, na Figura 4, as seis diferentes áreas da caixa de ovos (I a VI). Preencher no seu formulário qual geração está representada nessa área.

3. Os cromossomos das plantas de ervilha são separados na formação dos gametas durante a meiose

- Representar a separação dos cromossomos colocando os gametas formados nos espaços da mesma coluna correspondente à planta. Esquema: Planta 1A = Gametas 2A e 3A; Planta 1B = Gametas 2B e 3B. Todos os gametas possíveis serão colocados nos dois espaços da mesma coluna.

ATENÇÃO: Os cromossomos colocados nos passos anteriores não poderão ser retirados de suas respectivas casas para formar os gametas e os indivíduos da próxima geração. A cada passo, deverão ser adicionados novos cromossomos aos espaços.

- Discutir com os colegas e responder a questão A.
- A.** Qual a relação entre a separação dos cromossomos e a separação dos alelos durante a meiose?

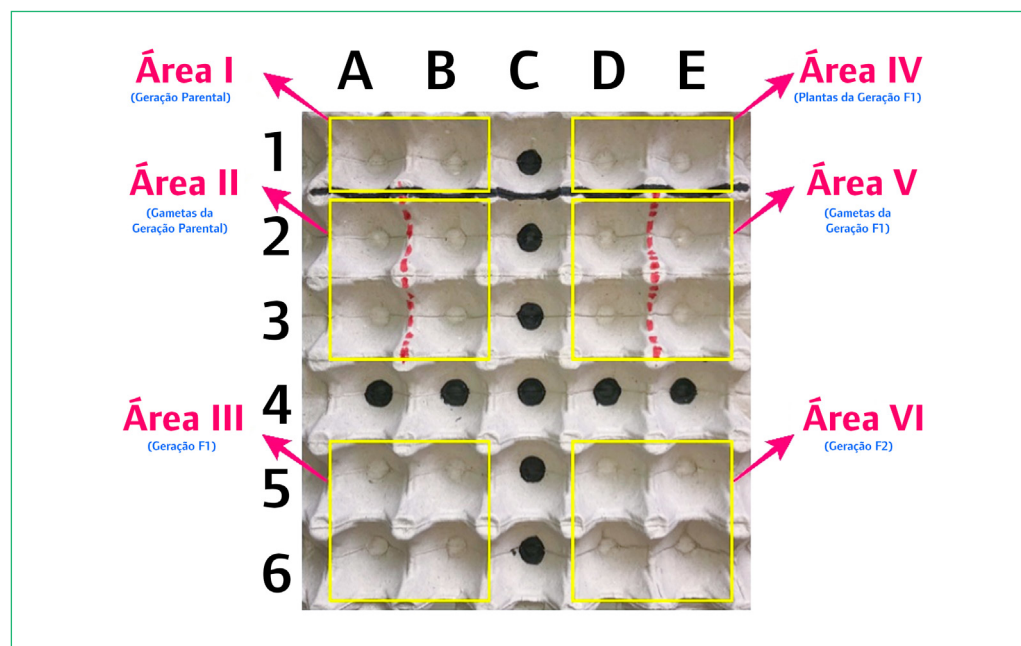


Figura 4.
Esquema mostrando a identificação das áreas da caixa.

4. Fazendo o cruzamento dos parentais

- Fazer a união dos gametas da planta da coluna 1A (gametas 2A e 3A) com os gametas da planta da coluna 1B (gametas 2B e 3B), de forma a simular todas as possíveis combinações entre as duas plantas. Esquema: 2A x 2B; 2A x 3B; 3A x 2B e 3A x 3B. Os cromossomos voltam a ficar em pares após a fecundação. Colocar os resultados do cruzamento nos espaços 5A, 5B, 6A e 6B.
- Discutir com os colegas e responder as questões B, C, D e E:
 - B.** Os gametas se encontram na fecundação. O que acontece com os cromossomos no processo de fecundação? E com os alelos?
 - C.** Como são denominados os indivíduos produzidos pela união de gametas portando os alelos VV e vv ?
 - D.** Como são denominados os indivíduos produzidos pela união de gametas portando os alelos Vv ?
 - E.** O que são alelos?

5. A geração F₁ foi formada com a união dos gametas das plantas parentais

- Agora você tem novas plantas. Consultar a tabela 1 e, com base nas informações nela contidas, anotar no seu formulário os fenótipos e genótipos de cada uma dessas plantas. Anotar também qual é a geração que elas representam.
- Discutir com seus colegas e responder as questões F, G e H:

- F. Na geração F₁ você encontra os mesmos fenótipos presentes na geração Parental?
- G. Qual é a proporção de fenótipos das plantas da geração F₁?
- H. Elaborar uma possível explicação para o seu resultado e discutir com a classe e com o professor.

6. Cruzamento das plantas da geração F₁

- Selecionar duas plantas da geração anterior (5A, 5B, 6A e 6B) e colocar seus genótipos nos espaços 1D e 1E. Essas plantas representam o cruzamento entre as plantas da geração F₁. Fazer primeiro a representação da formação dos gametas. Lembrar que o processo de formação dos gametas é a meiose e o esquema a ser feito é o seguinte:

Planta 1D = gametas 2D e 3D;

Planta 1E = gametas 2E e 3E.

Lembrar também que cada gameta possui um cromossomo com um alelo.

- Discutir com os colegas e responder a questão I:
 - I. Qual será o resultado da meiose nas plantas da geração F₁? Que tipos de gametas foram formados?

7. A fecundação é o passo seguinte

- Fazer a união dos gametas da planta da coluna 1D (2D e 3D) com os da planta da coluna 1E (2E e 3E), simulando todas as possíveis combinações de gametas produzidos pelas duas plantas. O cruzamento deverá ser aleatório, contudo, todos os cruzamentos seguintes deverão ocorrer independentemente da ordem. Esquema de cruzamento: 2D x 2E; 2D x 3E; 3D x 2E e 3D x 3E. Colocar as combinações de cromossomos nos espaços 5D, 5E, 6D e 6E.
- Discutir com os colegas e responder a questão J:
 - J. Como os gametas se encontram no processo de fecundação?

8. A partir da união dos gametas das plantas da Geração F₁, foi formada a Geração F₂, com novas plantas, cada uma com dois alelos para a cor da ervilha

- Discutir com os colegas e responder as questões:
 - K. Consultando a tabela 1, quais são os fenótipos da geração F₂?
 - L. Qual é a proporção esperada de plantas com ervilhas verdes e com ervilhas amarelas?
 - M. Qual é a proporção de heterozigotos?

9. Preencher o formulário com as proporções fenotípicas e genotípicas encontradas na Geração F₂

10. Preencher o restante do formulário

- os gametas formados a partir da geração parental (Área II),
- os fenótipos e genótipos das plantas da geração F₁ selecionadas para o cruzamento (Área IV),
- os gametas gerados a partir da geração F₁ (Área V).

Respostas

1. Caderno de procedimento

- A. Cada cromossomo homólogo carrega apenas uma cópia de cada alelo assim, quando eles se separam, os alelos também são separados.
- B. Os gametas carregam apenas um dos cromossomos homólogos, durante a fecundação e os gametas são unidos em uma nova célula. Com essa união, os homólogos com alelos são novamente reunidos no núcleo da célula.
- C. Tais indivíduos são denominados de homozigóticos porque carregam alelos iguais do mesmo gene.
- D. Tais indivíduos são denominados de heterozigóticos pois carregam alelos diferentes do mesmo gene.
- E. Alelos são formas alternativas de um determinado gene.
- F. Não, a geração F₁ é composta por indivíduos com apenas um dos fenótipos parentais, que é o da ervilha com semente amarela.
- G. 100% dos fenótipos são de ervilhas amarelas.
- H. Todas as ervilhas são amarelas porque, apesar de serem heterozigóticas (Vv), somente o alelo V é expresso no fenótipo, aparecendo apenas o fenótipo determinado por ele.
- I. Cada planta da geração F₁, após a meiose, produzirá gametas que carregarão um único alelo do gene que determina a cor da ervilha, ou seja, eles terão ou o alelo V ou o alelo v.
- J. Considerando que cada planta heterozigótica Vv pode produzir dois tipos diferentes de gameta, um carregando o alelo V e outro levando o alelo v, os gametas podem se encontrar nas seguintes combinações: VV, Vv ou vv.
- K. Em F₂, os fenótipos são ervilhas amarelas e ervilhas verdes.
- L. A proporção esperada de ervilhas amarelas é de 3 em 4 (3/4 ou 75%) e de ervilhas verdes de 1 em 4 (1/4 ou 25%), a famosa proporção de 3:1 (lê-se três para um).
- M. A proporção de heterozigotos será a metade dos genótipos esperados, ou seja, de 1/2 (50%).

2. Formulário da atividade prática

Área I: Geração parental

- Planta 1A: Genótipo (vv); Fenótipo Verde
- Planta 1B: Genótipo (VV); Fenótipo Amarelo

Área II: Gametas da geração parental

- Gametas 2A e 3A: Alelo v
- Gametas 2B e 3B: Alelo V

Área III: Geração F₁

- Planta 5A: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo
- Planta 5B: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo
- Planta 6A: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo
- Planta 6B: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo

Área IV: Plantas da geração F₁ selecionadas para o cruzamento

- Planta 1D: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo
- Planta 1E: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo

Área V: Gametas da geração F₁

- Gametas 2D: (Combinação 1) Alelo v ou (Combinação 2) Alelo V
- Gametas 2E: (Combinação 1) Alelo V ou (Combinação 2) Alelo v
- Gametas 3D: (Combinação 1) Alelo V ou (Combinação 2) Alelo v
- Gametas 3E: (Combinação 1) Alelo v ou (Combinação 2) Alelo V

Área VI: Geração F₂

- Planta 5D: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo
- Planta 5E: Genótipo VV; Fenótipo Amarelo
- Planta 6D: Genótipo vv; Fenótipo Verde
- Planta 6E: Genótipo Vv; Fenótipo Amarelo

Observação: Os resultados dos genótipos e fenótipos acima são somente um exemplo. Os respectivos fenótipos e genótipos “Amarelo VV, Amarelo Vv, Amarelo Vv e Verde vv” devem aparecer, independentemente em relação à ordem.

3. A caixa de ovos de Mendel

Ao completar a atividade, seguindo o roteiro do caderno de procedimento, a caixa de ovos deve estar semelhante à figura 5.

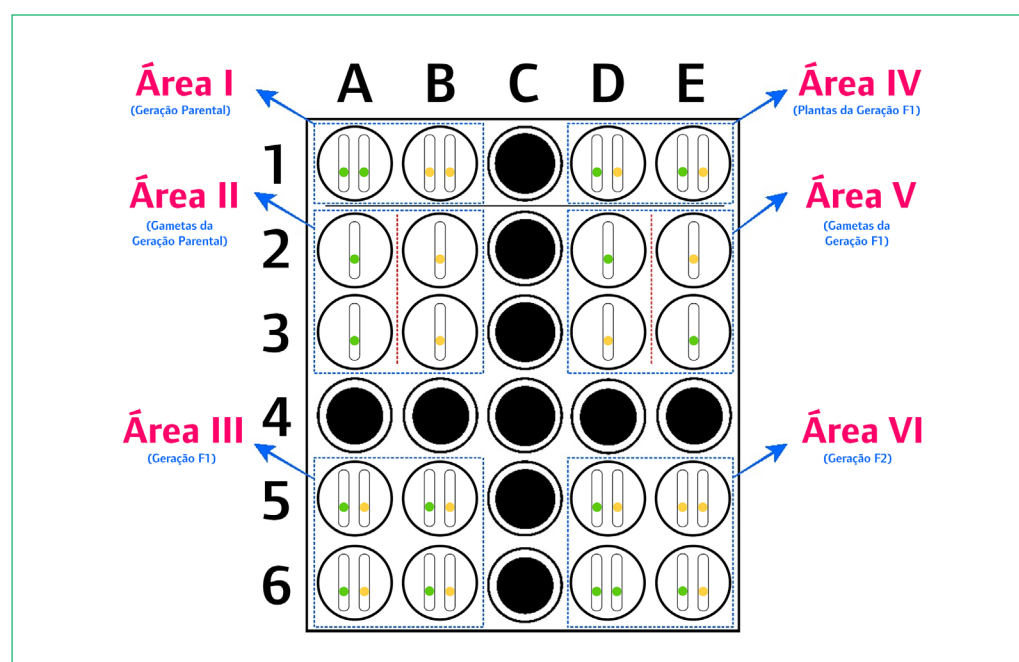


Figura 5. Esquema do modelo didático finalizado após a atividade. Estão indicadas as diferentes áreas, com os respectivos cromossomos e alelos.



Considerações finais

Alguns dos materiais utilizados nesta prática são reutilizáveis, como os cadernos de preparação do material e de procedimento, as caixas de ovos e os cromossomos de massa de modelar (há, no mercado, massinhas sem cheiro, que secam, ficam rígidas e são relativamente resistentes). Esta prática foi elaborada para ser uma prática de baixo custo, facilitando a aplicação da atividade pelo professor.

O professor poderá também reproduzir o vídeo explicativo da prática encontrado no YouTube, onde pode ser baixado ou reproduzido no próprio canal através do link: <https://youtu.be/Cy5bXwFCLv8>.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Capes (CAPES) pela concessão da bolsa do Programa Institucional de Iniciação a Docência (PIBID) ao primeiro autor deste artigo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Belém (IFPA) onde foi desenvolvida a atividade.

Anexo 1

Formulário individual da atividade prática

● = ALELO V

● = ALELO v

Completar os quadros a seguir conforme o desenvolvimento da atividade:

ÁREA I =

PLANTA	GENÓTIPO	FENÓTIPO
1A		
1B		

ÁREA II =

GAMETA	ALELO	
2A e 3A		
2B e 3B		

ÁREA III =

PLANTA	GENÓTIPO	FENÓTIPO
5A		
5B		
6A		
6B		

Proporção Fenotípica da Geração F1 =

Proporção Genotípica da Geração F1 =

● = ALELO V

● = ALELO v

Completar os quadros a seguir conforme o desenvolvimento da atividade:

ÁREA IV =

PLANTA	GENÓTIPO	FENÓTIPO
1D e 1E		

ÁREA V =

GAMETA	ALELO
2D	
2E	
3D	
3E	

ÁREA VI =

PLANTA	GENÓTIPO	FENÓTIPO
5D		
5E		
6D		
6E		

Proporção Fenotípica da Geração F2 =

Proporção Genotípica da Geração F2 =