



## DINÂMICA DOS ALFINETES NO ENSINO DA GENÉTICA DE POPULAÇÕES

Klautau-Guimarães<sup>1</sup>, MN; Oliveira<sup>1</sup>, SF; Aurora Moreira<sup>2</sup>, Helena Pedrosa<sup>2</sup> e António Correia<sup>3</sup>

1- Departamento de Genética e Morfologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília - Brasil

2- Departamento de Didática, Universidade de Aveiro – Portugal

3- Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro – Portugal.

### 1- Introdução

A evolução dos seres vivos é um tema unificador das Ciências Biológicas e constitui-se num tema chave para o ensino em todos os níveis acadêmicos. A evolução pode ser definida como qualquer alteração na constituição genética de uma população, ou seja, uma alteração na frequência dos alelos dos genes.

Os princípios básicos de Genética de Populações devem ser introduzidos nas escolas com um aprendizado ativo para que os estudantes façam questionamentos, resolvam problemas, discutam e expliquem resultados.

O ensino de Genética de Populações representa uma das unidades básicas mais complexas de se abordar, Mertens (1992). De acordo com Alonso (2005), “essas dificuldades aumentam, consideravelmente, ao analisar os mecanismos básicos que regem os processos evolutivos englobados pela teoria sintética da evolução, pois requer pensar em termos de populações, genes e frequências de alelos, considerando que a evolução é uma alteração na constituição genética das populações ao longo das gerações”

É necessário proporcionar aos professores estratégias de ensino e aprendizagem além de criar novos recursos didáticos, adequados ao espaço e ao tempo disponível em aula, que permitam melhor trabalhar e superar as dificuldades associadas ao ensino e à aprendizagem de Genética, em particular de Genética de Populações. É importante criar mais oportunidades para atividades estruturadas, em que os alunos tenham uma participação ativa na construção de um conhecimento mais profundo dos princípios de Genética (Griffiths and Mayer-Smith, 2000). As dificuldades associadas à aprendizagem do princípio de Hardy-Weinberg também são vivenciadas no ensino médio e universitário no Brasil e em Portugal, necessitando assim de estratégias mais adequadas e de objetivos bem determinados para trabalhar e esclarecer esses conceitos.

### 2- Objetivos

A dinâmica com os alfinetes tem como objetivo facilitar o entendimento do princípio de Hardy-Weinberg e o entendimento do efeito dos fatores evolutivos nas populações. O uso dos alfinetes também facilita a visualização dos componentes matemáticos envolvidos na demonstração do teorema, auxiliando, assim, os estudantes a trabalharem os conceitos sobre evolução. O ponto importante inicial é colocar a idéia de que a unidade básica da evolução é a população.

### 3- Metodologia

O material necessário:

- um conjunto de alfinetes de cabeças coloridas com as pontas cortadas para evitar que os estudantes se machuquem;
- , uma caixa e um apoio de isopor.

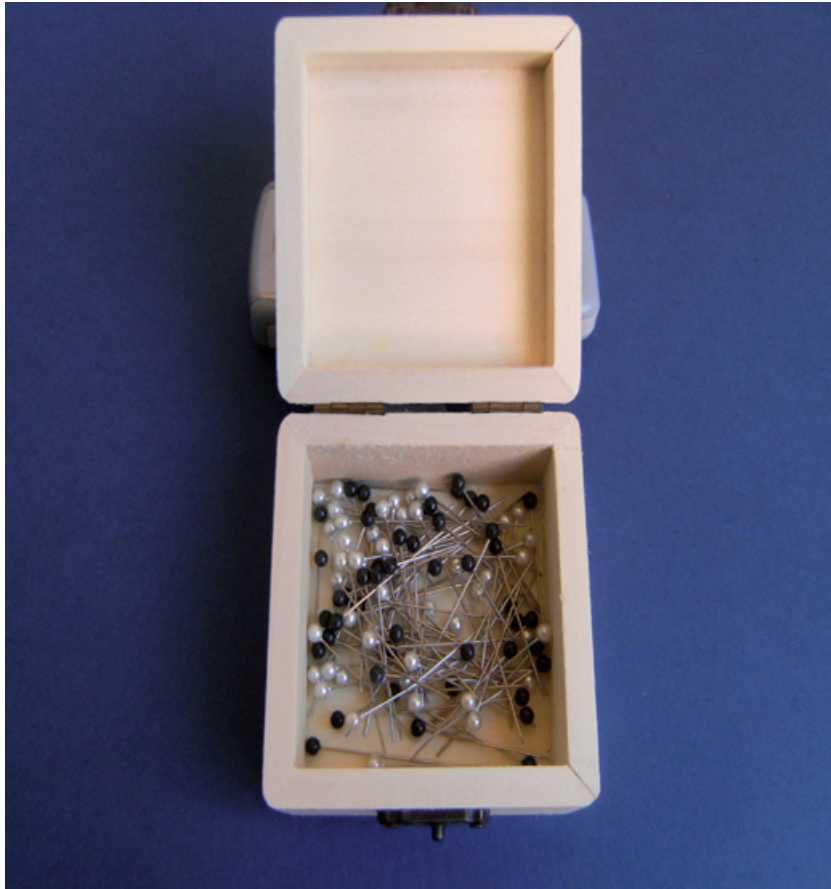
Este material fará a representação de indivíduos de uma população apresentando seus genótipos para um determinado marcador genético. Os alfinetes representam os alelos e um par de alfinetes representa um indivíduo com seu genótipo.

O gene e seus diferentes alelos, representados por alfinetes com cores diferentes, deverá ter os genótipos homozigotos em cores iguais e, os heterozigotos, em cores diferentes. A sugestão inicial para trabalhar é de um loco com 2 alelos codominantes. A caixa com os alfinetes simula o conjunto dos alelos do marcador genético para uma dada população (Figura 1). O número dos alfinetes de diferentes cores devem ser colocados na caixa de acordo com: - o número de indivíduos desejado para o tamanho da população (N); - o número de diferentes alelos para o marcador; - a frequência desejada para cada alelo.

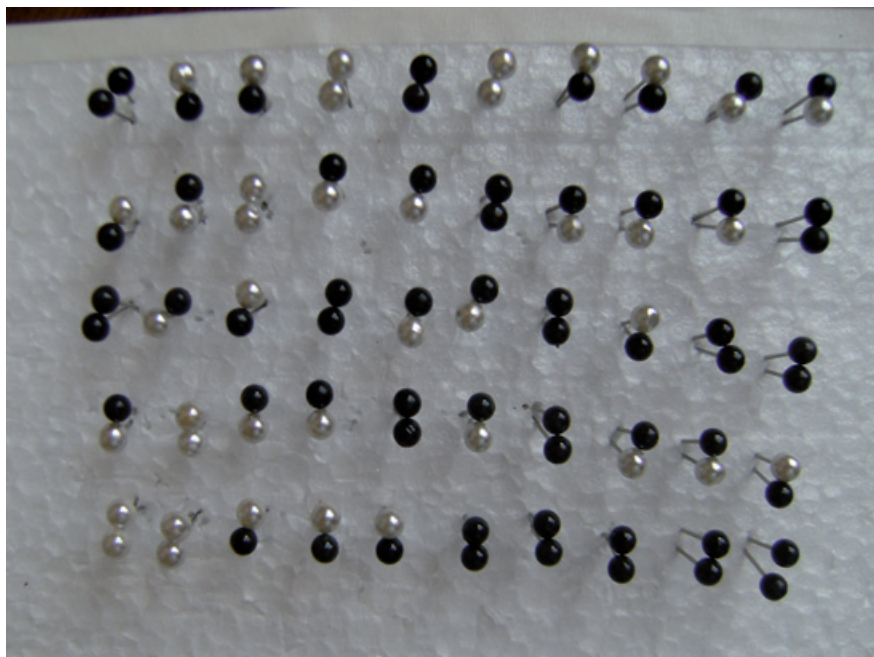
O apoio de isopor ajuda na visualização dos indivíduos da população e na manipulação para a contagem dos genótipos e alelos. O procedimento envolve a retirada

da, ao acaso, de 2 alfinetes da caixa que serão colocados juntos no isopor (um indivíduo), repetindo este procedimento até não restarem mais alfinetes na caixa. Assim,

todos os indivíduos da população, com seus genótipos aparentes, estarão ali representados (Figura 2).



**Figura 1.** Caixa com os alfinetes.



**Figura 2.** Alfinetes sorteados em dupla e fixados no suporte demonstrando os indivíduos da população.

As atividades envolvem obtenção de frequências alélicas e genotípicas, organização dos dados em tabelas, análise dos dados e discussão dos resultados. Essas atividades são adequadas para serem realizadas em grupo de, no máximo, 3 indivíduos. O tempo estimado para cada atividade é de 1½h.

Se for conveniente, poderão utilizar também as frequências fenotípicas. Com um marcador com interação alélica de codominância não haverá diferenças entre as frequências genotípicas e as fenotípicas que ocorrerão somente quando forem utilizados marcadores que apresentem características dominantes ou recessivas.

#### 4- Sugestões de Aplicação

##### a) Equilíbrio de Hardy-Weinberg

O teorema de Hardy-Weinberg é modelo de uma população infinitamente grande na qual não ocorre mutação, seleção natural, migração e os acasalamentos ocorrem aleatoriamente. Nestas condições não ocorrem alterações genéticas na população ao longo das gerações e, como consequência, a população não evolui.

No entanto, se as frequências alélicas, ao longo de várias gerações, desviam dos valores esperados pelo equilíbrio proposto por este modelo, a população sofrerá alterações genéticas, ou seja, evoluirá.

A primeira aplicação tem como objetivo principal a compreensão dos princípios de Hardy-Weinberg. Para isso, durante três gerações, será utilizada a simulação da dinâmica dos alelos a fim de que sejam analisadas as frequências alélicas e genotípicas de um marcador genético com 2 alelos codominantes, em uma população de  $N= 50$  indivíduos. A caixa terá 60 alfinetes pretos (alelo A1) e

40 alfinetes brancos (alelo A2) representando os 2 alelos nas frequências de 60% e 40%, respectivamente.

Procedimentos para a primeira geração (G1):

- entregar a cada grupo o suporte de isopor com a distribuição dos indivíduos (com seus respectivos genótipos) de acordo com as frequências esperadas em equilíbrio ( $A1A1= 18 ;A1A2= 24 ;A2A2= 08$ );

- pedir aos estudantes que contem o número de indivíduos de cada genótipo, o número dos alelos A1 e A2;

- pedir que determinem as frequências genotípicas e alélicas, colocando os dados na tabela 1, em anexo.

OBS: fazer a explicação sem envolver nenhuma fórmula de cálculo das frequências utilizadas na Genética de Populações, contando somente com o raciocínio lógico e com o auxílio de uma calculadora.

Dessa maneira é simples entender que:

- (i)- a frequência alélica deve ser calculada com o número de alfinetes pretos que representam o alelo A1 sobre o número total de alelos da população ( $2N$ );

- (ii)- nos homocigotos existem 2 alelos do mesmo tipo e nos heterocigotos existe 1 alelo de cada tipo;

- (iii)- a frequência dos genótipos é calculada com a contagem dos indivíduos com cada genótipo sobre o número total de indivíduos.

A partir dos dados da G1 poderá ser necessário explicar a distribuição esperada dos genótipos da próxima geração (G2) de acordo com as frequências alélicas, utilizando o quadro de Punnett. Aproveitar a oportunidade para rever os princípios básicos da probabilidade e colocar a frequência de  $A1=p$ ,  $A2=q$  e dos genótipos, como sendo  $p^2$ ,  $2pq$  e  $q^2$ .

**Tabela 1.** Frequência esperada dos genótipos da geração 2 sabendo-se as frequências alélicas na geração 1.

Gametas femininos	Gametas masculinos	
A1 (●) = 0,6	A1 (●) = 0,6	A2 (○) = 0,4
	A1A1 (● ●) = 0,36	A1 A2 (● ○) = 0,24
A2 (○) = 0,4	A1 A2 (● ○) = 0,24	A2 A2 (○ ○) = 0,16

Procedimentos para a segunda geração (G2):

- começar com a pergunta: - “como fazer? ou como simular?”. A simulação pressupõe que cada indivíduo da população produzirá gametas (A1 e/ou A2) que farão parte do conjunto de alelos (para este gene) desta população e serão colocados todos na caixa;

- após realizar a simulação da fertilização ao acaso dos gametas, retirando os alfinetes 2 a 2 sem olhar, montar os genótipos da G2 no suporte de isopor;

- prosseguir com os cálculos das frequências alélicas e genotípicas da G2;

- organizar os dados na tabela.

Para a terceira geração, G3, os procedimentos deverão ser da mesma forma descrita para G2.

Após a obtenção dos dados até a terceira geração, prosseguir desta forma:

- começar a análise dos dados e perguntar aos alunos o que mais chamou a atenção deles. Com certeza, os dados das distribuições genotípicas serão semelhantes entre as gerações e os das frequências gênicas não se alterarão;

- deixar que eles formulem hipóteses tentando responder o porquê de terem surgido esses resultados;

- avaliar se as frequências alélicas e genotípicas estão constantes entre as 3 gerações de acordo com o esperado e discutir as possíveis causas.

Na simulação consideramos:

a) a manutenção dos mesmos alelos (não fluxo gênico) com iguais probabilidades de fertilização ao acaso (não seleção);

b) mesmo tamanho da população e mesma proporção de homens e mulheres;

c) sem mutação e sem sobreposição de gerações.

É possível encontrar variação ao acaso entre as gerações devido ao número amostral da população ( $N=50$ ), que poderá ser aumentado para  $N=100$ , se o tempo para o exercício permitir. Este é o princípio de Hardy-Weinberg. Quando a população desvia das proporções genotípicas esperadas, então ela está fora do equilíbrio de Hardy-Weinberg porque algum fator está interferindo dentro da lei de probabilidades que regem o equilíbrio, ou seja, esta população evoluiu.

É interessante colocar diferentes frequências alélicas para cada grupo, assim, durante a discussão, cada grupo pode apresentar seus dados e desmistificar a idéia de que sempre as frequências dos alelos são de 50%.

As análises dos valores das frequências observadas e esperadas poderão ser testadas pelo teste do *qui quadrado*, dependendo do nível de aprofundamento desejado.

b) Fatores que influem nas frequências alélicas e genotípicas

De acordo com os princípios de Hardy-Weinberg, o acasalamento é ao acaso em relação ao genótipo, e as frequências alélicas não mudam como resultado da reprodução. O acasalamento não casual afeta o modo pelo qual os alelos combinam-se para formar os genótipos e, embora não afete diretamente as frequências alélicas, altera as frequências genotípicas da população. Os processos que causam alterações nas frequências alélicas são: mutação, migração, deriva genética e seleção natural.

O objetivo principal da segunda aplicação é observar o efeito de cada fator evolutivo nas frequências alélicas e genotípicas. Para esta simulação será utilizada a mesma estrutura de população da atividade anterior:

- os estudantes receberão o suporte de isopor com a distribuição dos indivíduos de acordo com uma distribuição genotípica em equilíbrio;

- cada grupo deverá simular, nesta população, o efeito de um fator evolutivo de cada vez como nos exemplos:

a) Um dos genótipos homocigotos é suscetível a uma infecção viral que leva à morte;

b) 10 indivíduos de diferentes genótipos (a escola) migram para a população ( $N=60$ );

c) 20 indivíduos da população foram tomar banho no rio e os demais morreram no incêndio da floresta;

d) surgiu mais um alelo diferente para este gene, ou seja, existe um indivíduo heterocigoto A1A3 (alelo A3 é vermelho);

e) os indivíduos com genótipos homocigotos só se acasalam entre si.

Após definir a situação na qual a população estará submetida, os estudantes deverão prosseguir do seguinte modo:

- formar a geração posterior (G2);

- calcular as frequências alélicas e genotípicas;

- organizar os dados obtidos na tabela 2;

- discutir os dados;

- sumarizar os efeitos dos fatores evolutivos.

Conceitos importantes adicionais que podem ser trabalhados com esses dados:

- Após cessarem os efeitos dos fatores evolutivos e, após uma geração de acasalamento ao acaso, a população volta ao equilíbrio. Este conceito poderá ser simulado com a dinâmica dos alfinetes. Lembrar que a população volta ao equilíbrio de acordo com os princípios de Hardy-Weinberg mas não volta às mesmas frequências gênicas e genotípicas da geração anterior.

- Análise do efeito de cada um dos fatores evolutivos, isoladamente, na variação da frequência de um gene, dentro e entre as populações. Utilizar os dados já obtidos considerando cada grupo como uma população diferente, fazer as comparações e discutir os resultados, utilizando a sugestão abaixo (Pierce, 2003).

**Tabela 2:** O efeito na variação genética de várias forças evolutivas.

Alteração na Variação Genética	Dentro da população	Entre as populações
Aumenta a variação genética	Mutação, migração, alguns tipos de seleção natural	Mutação, deriva genética, alguns tipos de seleção natural
Diminui a variação genética	Deriva genética e alguns tipos de seleção natural	Migração e alguns tipos de seleção natural

## 5- Considerações Finais

Embora neste trabalho os efeitos da mutação, migração, deriva genética e seleção natural tenham sido enfocados isoladamente, a fim de facilitar o entendimento da ação de cada fator evolutivo, é importante ter em mente que as populações naturais são afetadas simultaneamente

por muitas forças evolutivas, e a evolução resulta de uma interação complexa desses processos (Pierce, 2003).

Uma avaliação informal, em contexto de aulas de graduação na UnB, indica que estas atividades envolvem os estudantes ativamente e que a maioria dos alunos demonstra ter entendido o Teorema de Hardy-Weinberg.

## 6- Bibliografía

Alonso M Stella C Yankilevich ML Galagovsky L (2005) Una simulación con planilla de cálculo para el aprendizaje de mecanismos evolutivos a partir del equilibrio de Hardy-Weinberg. *Enseñanza de Las Ciencias*, 2005. Number Extra. VII Congress

Griffith AJF & Mayer-Smithies J (2000) Understanding genetics: strategies for teachers and learners in

universities and high schools. WH freeman and Company, New York.

Mertens TR (1992). Introducing students to population genetics & the Hardy-Weinberg principle. *The Am. Biol. Teacher* 54 (2): 103-107.

Pierce, BP (2003). Genetics – A Conceptual Approach. W. H. Freeman and Company, NY.

### Anexo: tabelas para organização das frequências fenotípicas e genotípicas obtidas nas três gerações, simuladas em três rodadas de sorteio dos resultados

Tabela 2- Princípio de Hardy-Weinberg

#### Geração 1 = G1

Genótipos	Fenótipos	N	Freq. Genótipo	Freq. Fenótipo	Freq. Alélica
A1 A1					A1 =
A1 A2					A2 =
A2 A2					
Total					

#### Geração 2 = G2

Genótipos	Fenótipos	N	Freq. Genótipo	Freq. Fenótipo	Freq. Alélica
A1 A1					A1 =
A1 A2					A2 =
A2 A2					
Total					

#### Geração 3 = G3

Genótipos	Fenótipos	N	Freq. Genótipo	Freq. Fenótipo	Freq. Alélica
A1 A1					A1 =
A1 A2					A2 =
A2 A2					
Total					

#### Avaliação das frequências genotípicas

Genótipos	Freq. observadas	N	Freq. esperadas	N
A1 A1				
A1 A2				
A2 A2				
Total				

Tabela 3- Avaliação das frequências após ação de um fator evolutivo

Geração inicial: Frequência dos alelos A1=      A2 =

Situação:

#### Geração inicial

#### Geração após a situação

Genótipos	N	Freq. genótipos	N	Freq. Genótipos	Freq. alélica
A1 A1					A1 =
A1 A2					A2 =
A2 A2					
Total					