

Avaliação da depressão endogâmica em populações de araticunzeiro: apoio pedagógico ao Ensino de Genética*

Edivaldo Barbosa de Almeida Júnior^{1,3}; Núbia Esther de Oliveira Miranda^{1,2}; Rosane Garcia Collevatti^{1,2}

¹ Laboratório de Genética & Biodiversidade, ICB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

² Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, ICB, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO.

³ Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

E-mail para correspondência: rosanegc68@hotmail.com.

*Material didático desenvolvido na disciplina de Genética da Conservação, coordenado pela Profa. Rosane Garcia Collevatti, do curso de graduação em Ecologia e Análise Ambiental do Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, como uma atividade do Estágio Docência (bolsistas CAPES/UFG) dos discentes dos Programas de Pós-graduação em Ecologia e Evolução e Genética e Melhoramento de Plantas.

Esta atividade estimula o raciocínio lógico e auxilia a aprendizagem de conceitos básicos de Genética da Conservação, Ecologia Molecular e Genética de Populações. Ela demonstra uma metodologia para avaliar a ocorrência de depressão endogâmica em populações naturais de plantas, determinada a partir do conhecimento da endogamia em populações naturais e do valor médio do fenótipo para caracteres quantitativos adaptativos. A atividade pode ser utilizada como simulação de aula prática ou como uma atividade complementar à aula expositiva para alunos de ensino superior.

Aptidão é sinônimo de valor adaptativo ou “fitness”. É uma medida do sucesso reprodutivo quantificada pela probabilidade de sobrevivência e reprodução diferencial de um indivíduo.

Marcador Molecular é qualquer sequência de bases (no DNA) ou de aminoácidos (na proteína) capaz de evidenciar polimorfismo entre indivíduos e é herdável.

Microsatélites são curtas sequências de 1 a 4 nucleotídeos de comprimento que são repetidas sequencialmente no genoma. Ex: (CA)₃₀ representa uma sequência de 30 repetições dos nucleotídeos citosina (C) e adenina (A). Essas regiões têm altas taxas de mutação, por isso são muito polimórficas o que as tornam adequadas para discriminar indivíduos geneticamente.

FUNÇÃO PEDAGÓGICA

A atividade procura mostrar os efeitos do acasalamento entre indivíduos aparentados na redução da **aptidão** da prole, por meio da avaliação de caracteres adaptativos, ou seja, caracteres ligados ao vigor das prole. Nesse sentido, a atividade proposta procura utilizar dados provenientes da análise genética de **marcadores moleculares** do tipo **microsatélites**, para estimar os coeficientes de endogamia, e dados de caracteres quantitativos adaptativos para medir a aptidão da prole. Dessa forma, são trabalhados conceitos básicos de Genética de Populações e Genética Quantitativa, além de métodos de Ecologia Molecular.

OBJETIVO

O objetivo da atividade é permitir a compreensão da depressão endogâmica, ou seja, a redução da aptidão da prole devida ao cruzamento entre indivíduos aparentados. A partir de dados simulados (fictícios) do genótipo da prole oriunda de diversas plantas de diferentes populações e de caracteres quantitativos adaptativos, o estudante poderá determinar o nível de endogamia entre os indivíduos de uma prole, bem como os valores médios de caráter adaptativo. Este procedimento permite identificar se há depressão endogâmica para o caráter adaptativo estudado em proles oriundas de cruzamento entre indivíduos mais aparentados.

PROBLEMA PROPOSTO

Em populações tipicamente **exogâmicas** muitos **lôcus** gênicos estão em **heterozigose** e pode ocorrer dominância entre **alelos**. A consequência desse fato é que alelos recessivos deletérios podem permanecer na população, ao longo das gerações, mascarados pela **dominância** porque esses alelos não são expostos à seleção natural. Quando ocorre acasalamento entre parentes (endogamia) é maior o número de alelos compartilhados, herdados de ancestral comum, do que quando o cruzamento ocorre entre indivíduos não relacionados da população. Por isso, alelos recessivos deletérios presentes na população podem expressar seu fenótipo, em uma proporção dos descendentes, pois estarão em **homozigose**. A implicação imediata da expressão fenotípica desses alelos é a redução no vigor da prole. Esse efeito é conhecido por depressão endogâmica.

A endogamia em populações naturais pode ocorrer naturalmente, por restrições intrínsecas da espécie à dispersão. Assim, os indivíduos de uma mesma população cruzam entre si com frequência maior que entre indivíduos de populações diferentes. Entretanto, a restrição ao **fluxo gênico** pode ser resultado da fragmentação, redução e isolamento dos habitats causados especialmente

pela atividade humana (efeitos antrópicos).

A fragmentação leva à restrição do fluxo gênico e potencialmente à depressão endogâmica, comprometendo a conservação das espécies. Por isso, a depressão endogâmica causada por efeitos antrópicos deve ser minimizada nas populações naturais, em programas de manejo e conservação, com o intuito de manter o potencial evolutivo dessas populações e a sua persistência ao longo das gerações (FRANKHAM *et al.* 2003)

Nesta atividade foi proposta a avaliação da ocorrência de depressão endogâmica em populações naturais, a partir de teste de **progênie** no araticunzeiro (*Annona crassiflora* Mart., Annonaceae). Esta espécie é uma fonte de alimento e renda para pequenos agricultores no Centro-Oeste que utilizam os frutos *in natura* ou para produção de doces, sorvetes e sucos. O araticunzeiro é uma árvore autocompatível, ou seja, pode ocorrer autopolinização. A polinização é feita por besouros da espécie *Cyclocephala octopunctata* Burmeister (CAVALCANTE *et al.* 2009). A atividade foi desenvolvida com dados simulados para os genótipos e para os caracteres quantitativos. Assim, foram amostradas quatro populações naturais de *A. crassiflora* (populações 01, 02, 03 e 04). De cada população foram coletadas

Exogamia é o cruzamento entre indivíduos não aparentados ou pouco aparentados geneticamente.

Lôcus é a região do cromossomo onde se localiza um gene, ou marcador molecular.

Heterozigose é o estado em que um **lôcus** apresenta alelos diferentes nos cromossomos homólogos.

Alelos são as diferentes formas alternativas do mesmo gene.

Dominância é a interação alélica em que o alelo dominante se manifesta no fenótipo.

Progênie é a descendência ou prole de um indivíduo. É o conjunto de indivíduos que apresentam pelo menos um dos genitores em comum.

Homozigose é o estado em que um **lôcus** apresenta o mesmo alelo nos cromossomos homólogos.

Fluxo gênico é a migração de genes entre populações. Em plantas, pode ocorrer em dois estágios – via pólen (migração de gametas) e via semente (migração de indivíduos).



Delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC)

é um delineamento experimental que se refere à forma como são organizadas as unidades experimentais. O modelo mais simples de delineamento é o inteiramente casualizado. Neste delineamento, as unidades experimentais são destinadas a cada tratamento por meio de sorteio de forma casual e considera os princípios de repetição e casualização, ou seja, os tratamentos do experimento são divididos em parcelas de forma inteiramente casual (por sorteio). Para se aplicar este tipo de delineamento experimental é necessário que o material experimental seja semelhante e que as condições de estudo sejam completamente uniformes (por exemplo, mesmo tipo de solo ou de adubação).

Genótipo é a constituição genética de uma célula ou indivíduo para um ou mais loci.

sementes de 13 plantas matrizes. Foi semeada uma semente por matriz em **delineamento experimental inteiramente casualizado**. Conhecendo o parentesco dos indivíduos (quanto maior a proximidade genética, maior a semelhança fenotípica) pode-se usar um delineamento experimental inteiramente casualizado, que permita ao pesquisador separar os efeitos ambientais e genéticos na composição do fenótipo. Quatorze anos após o plantio, para avaliar a aptidão dos indivíduos, as 13 plantas já em idade reprodutiva, tiveram o locus microsatélite Acr 12 caracterizados, para determinação do nível de endogamia das populações. Foi medido o diâmetro maior dos frutos (DM) de quatro árvores (A, B, C e D) por população (populações 01, 02, 03 e 04). Esse caráter quantitativo está ligado à aptidão dos indivíduos porque frutos maiores possuem mais sementes e atraem mais dispersores. Em caso de ocorrência da depressão endogâmica, espera-se que as populações com maiores valores de endogamia, estimada pelo parâmetro f (coeficiente de endogamia), apresentem as menores médias fenotípicas para o caráter avaliado.

Para a avaliação da ocorrência de depressão endogâmica nas populações é preciso:

1. Obter os **genótipos** das 13 plantas matrizes, que foram plantadas no experimento e das quais foram amostradas os frutos, e calcular os coeficientes de endogamia (f) das populações.
2. Obter os dados quantitativos, ou seja, o diâmetro maior dos frutos (DM), das plantas em delineamento experimental e condições controladas, para obter as médias fenotípicas da prole de cada árvore (médias de diâmetro maior dos frutos).
3. Comparar os valores dos coeficientes de endogamia com as médias fenotípicas das plantas de cada população e interpretar os resultados observados.

INSTRUÇÕES PARA O PROFESSOR

1. Esta atividade poderá ser realizada individualmente, ou em grupos de alunos de, no máximo, três pessoas.

2. Cada grupo deverá receber o problema proposto, uma cópia do procedimento para realizar a atividade, uma cópia de cada painel (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2 e 3) e das questões para serem discutidas.
3. É recomendável que o professor aplique esta atividade em turmas que já tiveram contato prévio com os conceitos de estrutura e organização do material genético, marcadores moleculares e segregação mendeliana.

PROCEDIMENTO PARA OS ESTUDANTES

1. Ler com atenção o problema proposto.
2. Analisar o Painel 1.1 que apresenta os resultados da genotipagem do locus microsatélite Acr 12 de treze plantas pertencentes a quatro populações diferentes.
 - a. Observar os genótipos das plantas adultas e anotar os genótipos das plantas no Painel 1.2.
 - b. Comparar os alelos de cada indivíduo (banda preta) com os da escada alélica "M" bandas vermelhas, para obtenção dos genótipos.
 - c. Denominar os alelos dos indivíduos de forma que correspondam aos nomes dos alelos da escada alélica.
3. A partir dos genótipos obtidos, calcular as frequências alélicas e estimar a heterosiguidade esperada (H_e) sob as condições de Equilíbrio de Hardy-Weinberg (EHW) e a heterozigosidade observada (H_o) para estimar a endogamia (f) da população sendo:
 - ♦ Frequência alélica $f(A_i)$:

$$f(A_i) = n_i / n_t$$
, onde
 - n_i – número de alelos i presentes nos 13 indivíduos
 - n_t – número total de alelos em todos os 13 indivíduos
 - ♦ Heterozigosidade esperada pelo equilíbrio de Hardy-Weinberg H_e :

$$H_e = 2pq + 2pr + 2qr$$
, sendo que
 - p , q e r representam as frequências de cada um dos três alelos (A_1 , A_2

e A3, respectivamente) presentes no locus Acr 12.

- Heterozigosidade observada (H_o):

$$H_o = \frac{H_{obs}}{N}, \text{ sendo}$$

- H_{obs} número de genótipos heterozigotos observados nos 13 indivíduos
- N número total de genótipos avaliados.

- Endogamia (f):

$$f = \frac{H_e - H_o}{H_e};$$

Anotar no Pannel 1.3 as estimativas H_e , H_o e endogamia (f) das populações 01, 02, 03 e 04.

4. Analisar o Pannel 2.1 que apresenta os frutos coletados de quatro indivíduos (A, B, C e D) adultos de *Annona crassiflora*, provenientes de sementes coletadas nas populações naturais 01, 02, 03 e 04, que foram mantidos em condições controladas de solo, irrigação e adubação, em delineamento experimental inteiramente casualizado.

- a. Medir o diâmetro maior do fruto, com o auxílio de régua comum, respeitando a escala 1:6 cm.

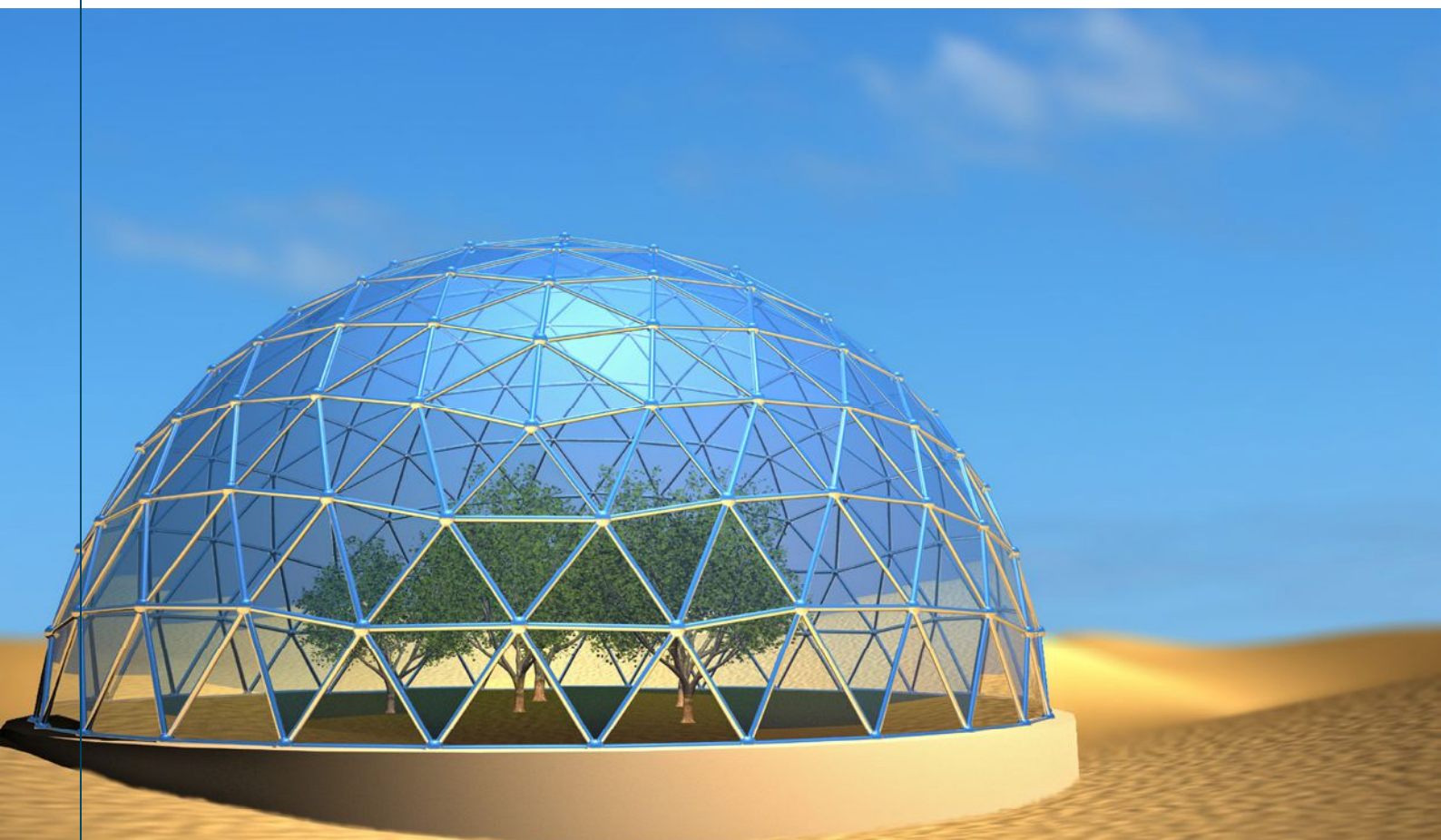
- b. Anotar os valores de diâmetro no Pannel 2.2

5. Calcular a média de diâmetro maior do fruto por população e anotar no Pannel 3. Transcrever para o Pannel 3 os valores do coeficiente de endogamia de cada população do Pannel 1.3.

6. Calcular o coeficiente de depressão endogâmica δ (LANDE; SCHEMSKE, 1985) para a(s) população(ões) endogâmica(s) para o caráter adaptativo diâmetro do fruto e transcrever para o Pannel 3. As populações não endogâmicas tem valor de $\delta = 0,0$

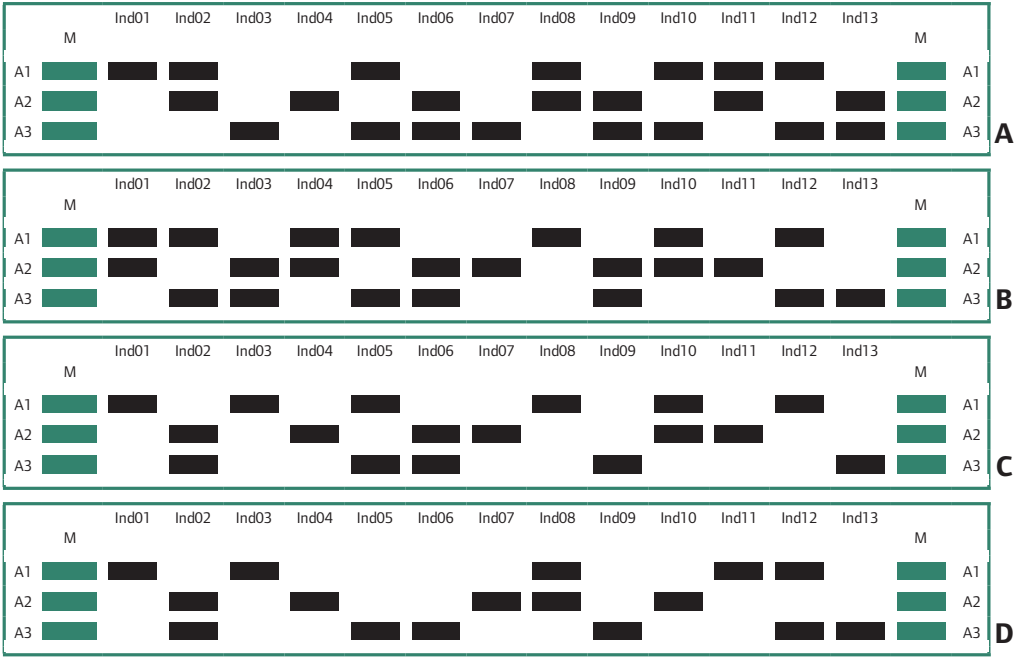
$$\delta = 1 - \left(\frac{x_1}{x_0} \right), \text{ sendo}$$

- x_1 , valor do caráter adaptativo da população endogâmica
- x_0 , valor do caráter adaptativo da população não endogâmica com o maior valor do caractere entre as populações analisadas.



PAINÉIS

Painel 1.1.
Representação esquemática do gel de poliacrilamida, corado com nitrato de prata com os genótipos para o locus microsatélite Acr 12 de treze plantas pertencentes às populações 01; 02; 03 e 04. “M” é a escada alélica para determinação dos alelos.



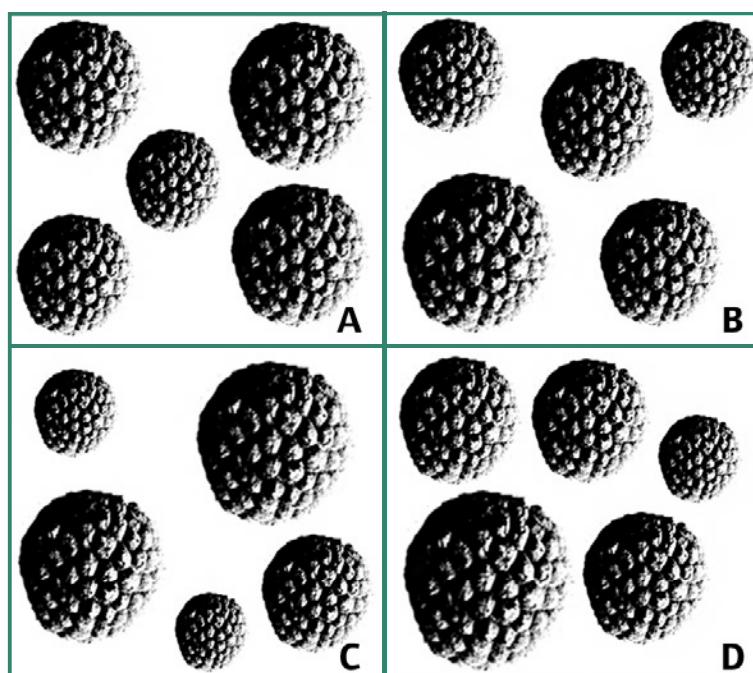
Painel 1.2.
Genótipos de treze indivíduos pertencentes às populações 01, 02, 03 e 04 para o locus microsatélite Acr 12 da espécie *Annona crassiflora* Mart.

População 01		População 02		População 03		População 04	
Indivíduos	Genótipos	Indivíduos	Genótipos	Indivíduos	Genótipos	Indivíduos	Genótipos
Ind01		Ind01		Ind01		Ind01	
Ind02		Ind02		Ind02		Ind02	
Ind03		Ind03		Ind03		Ind03	
Ind04		Ind04		Ind04		Ind04	
Ind05		Ind05		Ind05		Ind05	
Ind06		Ind06		Ind06		Ind06	
Ind07		Ind07		Ind07		Ind07	
Ind08		Ind08		Ind08		Ind08	
Ind09		Ind09		Ind09		Ind09	
Ind10		Ind10		Ind10		Ind10	
Ind11		Ind11		Ind11		Ind11	
Ind12		Ind12		Ind12		Ind12	
Ind13		Ind13		Ind13		Ind13	

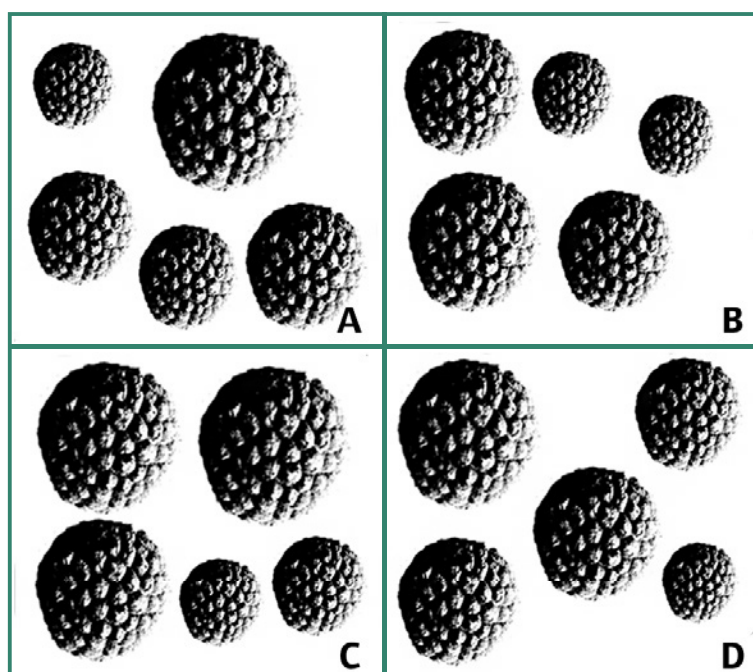
Índices	Populações			
	01	02	03	04
H_e				
H_o				
f				

Painel 1.3.

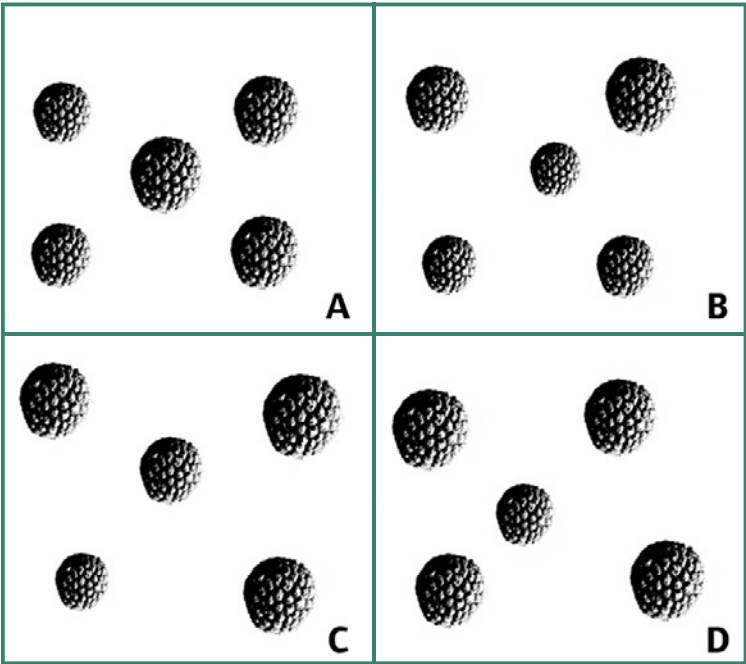
Estimativas de diversidade genética (heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg: H_e), heterozigosidade observada (H_o) e endogamia (f) das população 01, 02, 03 e 04 referente ao locus microsatélite Acr 12 da espécie *Annona crassiflora* Mart.

População 01**Painel 2.1.**

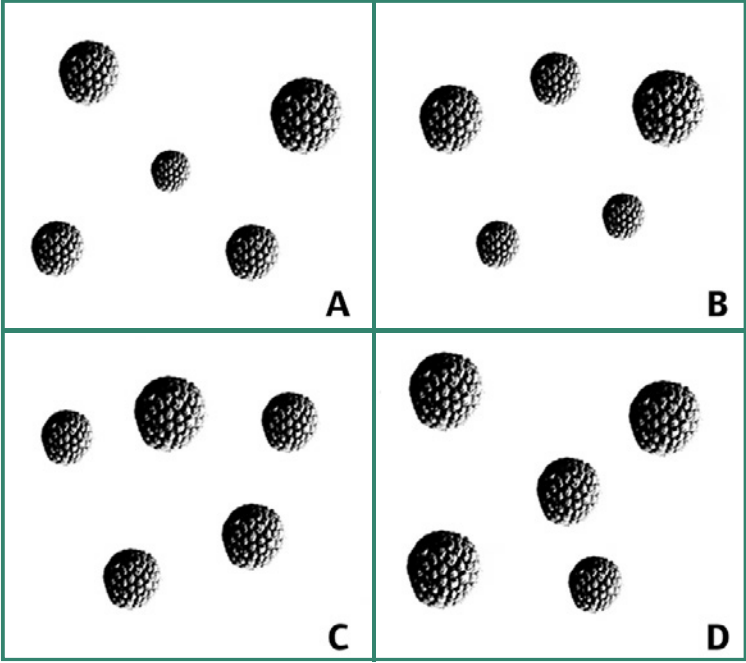
Frutos coletados de quatro indivíduos (A, B, C e D) adultos de *Annona crassiflora*, provenientes de sementes coletadas nas populações naturais 01, 02, 03 e 04, e mantidos em condições controladas de solo, irrigação e adubação, em delineamento experimental inteiramente casualizado.

População 02

População 03



População 04



DM					
Indivíduos	Frutos	População 01	População 02	População 03	População 04
A	01				
	02				
	03				
	04				
	05				
B	01				
	02				
	03				
	04				
	05				
C	01				
	02				
	03				
	04				
	05				
D	01				
	02				
	03				
	04				
	05				

Painel 2.2.

Diâmetro maior (DM) de frutos de quatro indivíduos (A, B, C e D) adultos de *Annona crassiflora*, provenientes de sementes coletadas nas populações naturais 01, 02, 03 e 04 e mantidos em condições controladas de solo, irrigação e adubação, em delineamento experimental inteiramente casualizado.



Painel 3.

Estimativas dos valores do coeficiente de endogamia (f) e médias fenotípicas para diâmetro maior do fruto (DM) de indivíduos adultos de *Annona crassiflora*, provenientes de sementes coletadas em populações naturais e mantidas em condições controladas de solo, irrigação e adubação, em delineamento experimental inteiramente casualizado.

Índices	Populações			
	01	02	03	04
f				
Média de DM				
δ_{DM}				

ENTENDENDO A ATIVIDADE

Questão 1. Existe relação entre a endogamia e a redução da diversidade genética, que é representada pela heterozigosidade esperada pelo EHW (H_e)?

Questão 2. O que a relação entre os coeficientes de endogamia (f) das populações e as médias fenotípicas de diâmetro dos frutos permite concluir?

Questão 3. É possível inferir que as populações naturais de araticunzeiro – *A. crassiflora* – possuem depressão endogâmica?

Questão 4. Qual o papel dos marcadores moleculares microssatélites na avaliação da ocorrência de depressão endogâmica?

Questão 5. Qual a importância da avaliação da depressão endogâmica para as estratégias de manejo e conservação de populações ameaçadas?

Questão 6. Para qual população você aconselharia um plano de manejo devido ao risco de depressão endogâmica?



RESPOSTAS

a. Preenchimento do painel 1.2

Indivíduos	Genótipo	Indivíduos	Genótipo	Indivíduos	Genótipo	Indivíduos	Genótipo
Ind01	A1A1	Ind01	A1A2	Ind01	A1A1	Ind01	A1A1
Ind02	A1A2	Ind02	A1A3	Ind02	A2A3	Ind02	A2A3
Ind03	A3A3	Ind03	A2A3	Ind03	A1A1	Ind03	A1A1
Ind04	A2A2	Ind04	A1A2	Ind04	A2A2	Ind04	A2A2
Ind05	A1A3	Ind05	A1A3	Ind05	A1A3	Ind05	A3A3
Ind06	A2A3	Ind06	A2A3	Ind06	A2A3	Ind06	A3A3
Ind07	A3A3	Ind07	A2A2	Ind07	A2A2	Ind07	A2A2
Ind08	A1A2	Ind08	A1A1	Ind08	A1A1	Ind08	A1A2
Ind09	A2A3	Ind09	A2A3	Ind09	A3A3	Ind09	A3A3
Ind10	A1A3	Ind10	A1A2	Ind10	A1A2	Ind10	A2A2
Ind11	A1A2	Ind11	A2A2	Ind11	A2A2	Ind11	A1A1
Ind12	A1A3	Ind12	A1A3	Ind12	A1A1	Ind12	A1A3
Ind13	A2A3	Ind13	A3A3	Ind13	A3A3	Ind13	A3A3

Painel 1.2.

Genótipos de treze indivíduos pertencentes às populações 01, 02, 03 e 04 baseados na amplificação via **PCR** do locus microssatélite Acr 12 da espécie *Annona crassiflora* Mart.

PCR ou reação em cadeia da polimerase (em inglês *Polymerase Chain Reaction*) é um método de amplificação *in vitro* que permite criar milhões de cópias de um fragmento específico de DNA, sem o uso de um organismo vivo. A técnica permite determinar o genótipo de um indivíduo, para um dado locus gênico selecionado.

b. Cálculo das frequências alélicas, da heterozigosidade esperada (H_e) sob EHW, heterozigosidade observada (H_o) e coeficientes de endogamia (f)

b.1. População 01:

✦ Cálculo das frequências alélicas

$$n(A1) = 8$$

$$n(A2) = 8$$

$$n(A3) = 10$$

$$nt = 8 + 8 + 10 = 26$$

$$f(A1) = n(A1) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A2) = n(A2) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A3) = n(A3) / nt = 10 / 26 = 0,4$$

✦ Cálculo da heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_e):

$$H_e = 2pq + 2pr + 2qr$$

$$H_e = 2(0,3 \times 0,3) + 2(0,3 \times 0,4) + 2(0,3 \times 0,4)$$

$$H_e = 0,660$$

✦ Cálculo da heterozigosidade observada (H_o):

$$H_o = f(AiAj) / f(AiAi)$$

$$H_o = 9/13$$

$$H_o = 0,692$$

- Cálculo do coeficiente de endogamia (f):

$$f = \frac{H_e - H_o}{H_e} \rightarrow f = \frac{0,660 - 0,692}{0,660} \rightarrow f = -0,048$$

b.2. População 02:

- Cálculo das frequências alélicas

$$n(A1) = 8$$

$$n(A2) = 10$$

$$n(A3) = 8$$

$$nt = 8 + 10 + 8 = 26$$

$$f(A1) = n(A1) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A2) = n(A2) / nt = 10 / 26 = 0,4$$

$$f(A3) = n(A3) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

- Cálculo da heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_e):

$$H_e = 2pq + 2pr + 2qr$$

$$H_e = 2(0,3 \times 0,4) + 2(0,4 \times 0,3) + 2(0,3 \times 0,3)$$

$$H_e = 0,660$$

- Cálculo da heterozigosidade observada (H_o):

$$H_o = f(AiAj) / f(AiAi)$$

$$H_o = 9/13$$

$$H_o = 0,692$$

- Cálculo do coeficiente de endogamia (f):

$$f = \frac{H_e - H_o}{H_e} \rightarrow f = \frac{0,660 - 0,692}{0,660} \rightarrow f = -0,048$$

b.3. População 03:

- Cálculo das frequências alélicas

$$n(A1) = 8$$

$$n(A2) = 10$$

$$n(A3) = 8$$

$$nt = 8 + 10 + 8 = 26$$

$$f(A1) = n(A1) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A2) = n(A2) / nt = 10 / 26 = 0,4$$

$$f(A3) = n(A3) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

- Cálculo da heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_e):

$$H_e = 2pq + 2pr + 2qr$$

$$H_e = 2(0,3 \times 0,4) + 2(0,4 \times 0,3) + 2(0,3 \times 0,3)$$

$$H_e = 0,660$$

- Cálculo da heterozigosidade observada (H_o):

$$H_o = f(AiAj) / f(AiAi)$$

$$H_o = 4/13$$

$$H_o = 0,307$$

- Cálculo do coeficiente de endogamia (f):

$$f = \frac{H_e - H_o}{H_e} \rightarrow f = \frac{0,660 - 0,307}{0,660} \rightarrow f = -0,535$$

b.4. População 04:

- Cálculo das frequências alélicas

$$n(A1) = 8$$

$$n(A2) = 10$$

$$n(A3) = 8$$

$$nt = 8 + 8 + 10 = 26$$

$$f(A1) = n(A1) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A2) = n(A2) / nt = 8 / 26 = 0,3$$

$$f(A3) = n(A3) / nt = 10 / 26 = 0,4$$

- Cálculo da heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_e):

$$H_e = 2pq + 2pr + 2qr$$

$$H_e = 2(0,3 \times 0,3) + 2(0,3 \times 0,4) + 2(0,3 \times 0,4)$$

$$H_e = 0,660$$

- Cálculo da heterozigosidade observada (H_o):

$$H_o = f(AiAj) / f(AiAi)$$

$$H_o = 3/13$$

$$H_o = 0,231$$

- Cálculo do coeficiente de endogamia (f):

$$f = \frac{H_e - H_o}{H_e} \rightarrow f = \frac{0,660 - 0,231}{0,660} \rightarrow f = -0,650$$

MATERIAIS DIDÁTICOS

c. Preenchimento do painel 1.3

Índices	Populações			
	01	02	03	04
H_e	0,660	0,660	0,660	0,660
H_o	0,692	0,692	0,307	0,231
f	-0,048	-0,048	0,535	0,650

d. Preenchimento do Pannel 2.2. Diâmetro dos frutos

DM					
Indivíduos	Frutos	População 01	População 02	População 03	População 04
A	01	16,8	1,8	1,3	1,4
	02	18	3,3	1,5	1,7
	03	12,6	2,4	1,6	0,9
	04	15	2,2	1,3	1,2
	05	18	2,6	1,5	1,1
B	01	14,4	2,6	1,4	1,4
	02	15,6	1,8	1,6	1,1
	03	12,6	1,7	1,1	1,6
	04	19,8	2,9	1,2	1
	05	16,2	2,5	1,3	0,9
C	01	10,8	3,1	1,6	1,2
	02	20,4	3,4	1,4	1,6
	03	19,2	3	1,8	1,3
	04	9,6	1,9	1,2	1,2
	05	14,4	2,1	1,7	1,4
D	01	16,2	3,1	1,7	1,7
	02	15	2,4	1,6	1,6
	03	10,8	2,9	1,4	1,4
	04	22,2	2,7	1,5	1,7
	05	16,2	1,7	1,7	1,2



e. Preenchimento do Painel 3

Índices	Populações			
	01	02	03	04
f	-0,048	-0,048	0,535	0,650
Média de DM	15,7 cm	15,0 cm	8,8 cm	8,0 cm
δ_{DM}	0,0	0,0	0,44	0,49

Questão 1.

A endogamia não é responsável pela redução da diversidade genética, medida por meio da heterozigosidade esperada sob equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_e). O acasalamento entre indivíduos aparentados não leva à perda de alelos, mas à fixação deles em genótipos homozigotos. Assim, a diversidade genética é deslocada do componente “dentro de indivíduos”, para o componente “entre indivíduos”. A endogamia não altera as frequências alélicas, apenas as genotípicas, motivo pelo qual o parâmetro H_e não se modifica, mesmo nas populações endogâmicas.

Questão 2.

Populações endogâmicas (03 e 04) apresentaram valores médios de diâmetro de frutos menores que as populações não endogâmicas (01 e 02).

Questão 3.

Sim, das quatro populações de araticunzeiro avaliadas, duas (03 e 04) apresentaram depressão endogâmica. A população 04 apresentou maior redução de valor adaptativo, com perda de valor fenotípico, ou seja, perda do valor médio do diâmetro de fruto, de 49%.

Questão 4.

Os marcadores moleculares microssatélites apresentam herança mendeliana e por isso são adequados para estimar os índices de endogamia (f) em populações naturais. Com essa tecnologia é possível detectar a redução da heterozigosidade observada nas populações (H_o) que ocorre em decorrência do acasalamento entre indivíduos aparentados.

Ao estimar os índices de endogamia com os marcadores microssatélites, é possível verificar se as populações com os maiores valores de f são as que apresentam as menores médias fenotípicas, em relação aos caracteres quantitativos adaptativos.

Questão 5.

A redução na aptidão pode comprometer seriamente a persistência das populações de uma determinada espécie. Portanto, a endogamia pode ameaçar a viabilidade populacional. Nesse sentido, é importante avaliar populações naturais em programas de manejo e conservação de espécies ameaçadas, de modo a detectar a ocorrência de depressão endogâmica e delinear estratégias que visem minimizá-la ao máximo.

Questão 6.

As duas populações endogâmicas (03 e 04) necessitam de manejo devido à depressão endogâmica.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, T. R. M.; NAVES R. V.; FRANCESCHINELLI, E.V.; SILVA, R. D. Polinização e formação de frutos em araticum. *Bragantia*, v. 68, p. 13-21, 2009.
- FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, 617 p.
- LANDE, R.; SCHEMSKE, D. W. The evolution of self fertilization and inbreeding depression in plants. I. Genetic models. *Evolution*, v. 39, p.24-4, 1985.