

ZMV-0470 MÉTODOS DE MELHORAMENTO GENÉTICO ANIMAL

24/08/2023

Introdução ao estudo de Genética de Populações

Prof. Dr. José Bento Sterman Ferraz

Roteiro

- Estrutura genética de uma população
 - Frequências gênicas e genotípicas
- Lei de Hardy-Weinberg
- Teste do equilíbrio de Hardy-Weinberg
- Alelos múltiplos
- Genes ligados ao sexo
- Fatores que alteram a frequência gênica
 - Processos sistemáticos
 - Processos dispersivos

Definições

- **População**

- *Grupo de indivíduos de uma mesma espécie que coexistem em uma área e tempo comuns e são capazes de se reproduzir e gerar descendentes viáveis e férteis.*

- **Genética de populações**

- *É a ciência que estuda as frequências gênicas, genotípicas e fenotípicas nas populações e as forças capazes de alterá-las ao longo das gerações.*

Qual a importância?

- **Genética Mendeliana**

- Permite prever a distribuição genotípica e o fenotípica da progênie resultante de *um* acasalamento

- **Genética de populações**

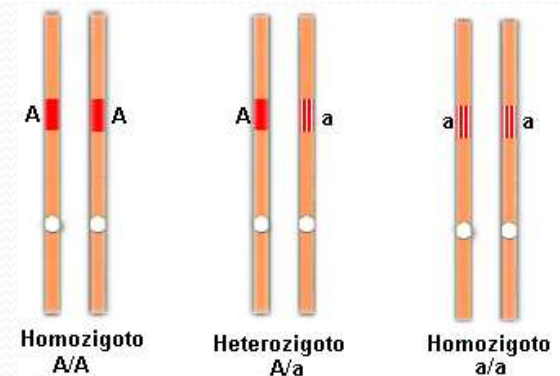
- Permite prever a distribuição genotípica e o fenotípica da progênie resultante de *todos* os acasalamentos possíveis na população
 - Estudando quais são os fenômenos e como eles afetam a estrutura genética de uma população ideal
 - Conceitos são aplicados em uma população real

Estrutura genética da população

- **Frequência gênica ou alélica**

- *Proporção ou porcentagem na população dos diferentes alelos de um gene*

- $f(A) = \text{nº alelos "A"} / \text{nº total alelos}$
- $f(a) = \text{nº alelos "a"} / \text{nº total alelos}$



- **Frequência genotípica**

- *Proporção ou porcentagem na população dos diferentes genótipos para o gene considerado*

- $f(AA) = \text{nº indivíduos genótipo "AA"} / \text{nº total indivíduos}$
- $f(Aa) = \text{nº indivíduos genótipo "Aa"} / \text{nº total indivíduos}$
- $f(aa) = \text{nº indivíduos genótipo "aa"} / \text{nº total indivíduos}$

Cálculo freqüências

- **Ausência de dominância**
- **Dominância completa**

Cálculo freqüências

- **Ausência de dominância**

- Ex. *Cor da pelagem gado Shortorn*
 - Condicionada por 1 gene com 2 alelos
 - 3 fenótipos distintos

Fenótipos	Genótipos	Nº animais
Vermelho	A_1A_1	500
Ruão	A_1A_2	400
Branco	A_2A_2	100

Quais as freqüências fenotípicas, genotípicas e gênicas nessa população?



Cálculo freqüências fenotípicas

- Ausência de dominância

Fenótipos	Nº animais	Freqüências fenotípicas
Vermelho	500	$f(\text{vermelho}) = f(v)$
Ruão	400	$f(\text{ruão}) = f(r)$
Branco	100	$f(\text{branco}) = f(b)$
Total	1000	$f(v) + f(r) + f(b)$

Cálculo freqüências fenotípicas

- Ausência de dominância

Fenótipos	Nº animais	Freqüências fenotípicas
Vermelho	500	$f(v) = n_v/N$
Ruão	400	$f(r) = n_r/N$
Branco	100	$f(b) = n_b/N$
Total	1000	$f(v) + f(r) + f(b) = (n_v + n_r + n_b)/N$

Cálculo freqüências fenotípicas

- Ausência de dominância

Fenótipos	Nº animais	Freqüências fenotípicas
Vermelho	500	$f(v) = n_v/N = 500/1000$
Ruão	400	$f(r) = n_r/N = 400/1000$
Branco	100	$f(b) = n_b/N = 100/1000$
Total	1000	$f(v) + f(r) + f(b) = (n_v + n_r + n_b)/N = (500 + 400 + 100)/1000$

Cálculo freqüências fenotípicas

- Ausência de dominância

Fenótipos	Nº animais	Freqüências fenotípicas
Vermelho	500	$f(v) = n_v/N = 500/1000 = 0,5 = 50\%$
Ruão	400	$f(r) = n_r/N = 400/1000 = 0,4 = 40\%$
Branco	100	$f(b) = n_b/N = 100/1000 = 0,1 = 10\%$
Total	1000	$f(v) + f(r) + f(b) = (n_v + n_r + n_b)/N = (500 + 400 + 100)/1000 = 1 = 100\%$

$$f(v) + f(r) + f(b) = 0,5 + 0,4 + 0,1 = 1$$

Cálculo freqüências genotípicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Freqüências genotípicas
A_1A_1	500	$f(A_1A_1)$
A_1A_2	400	$f(A_1A_2)$
A_2A_2	100	$f(A_2A_2)$
Total	1000	$f(A_1A_1) + f(A_1A_2) + f(A_2A_2)$

Cálculo freqüências genotípicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Freqüências genotípicas
A_1A_1	500	$f(A_1A_1) = n_{A_1A_1}/N$
A_1A_2	400	$f(A_1A_2) = n_{A_1A_2}/N$
A_2A_2	100	$f(A_2A_2) = n_{A_2A_2}/N$
Total	1000	$f(A_1A_1) + f(A_1A_2) + f(A_2A_2) = (n_{A_1A_1} + n_{A_1A_2} + n_{A_2A_2})/N$

Cálculo freqüências genotípicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Freqüências genotípicas
A_1A_1	500	$f(A_1A_1) = n_{A_1A_1}/N = 500/1000$
A_1A_2	400	$f(A_1A_2) = n_{A_1A_2}/N = 400/1000$
A_2A_2	100	$f(A_2A_2) = n_{A_2A_2}/N = 100/1000$
Total	1000	$f(A_1A_1) + f(A_1A_2) + f(A_2A_2) =$ $(n_{A_1A_1} + n_{A_1A_2} + n_{A_2A_2})/N =$ $(500 + 400 + 100)/1000$

Cálculo freqüências genotípicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Freqüências genotípicas
A_1A_1	500	$f(A_1A_1) = n_{A_1A_1}/N = 500/1000 = 0,5 = 50\%$
A_1A_2	400	$f(A_1A_2) = n_{A_1A_2}/N = 400/1000 = 0,4 = 40\%$
A_2A_2	100	$f(A_2A_2) = n_{A_2A_2}/N = 100/1000 = 0,1 = 10\%$
Total	1000	$f(A_1A_1) + f(A_1A_2) + f(A_2A_2) =$ $(n_{A_1A_1} + n_{A_1A_2} + n_{A_2A_2})/N =$ $(500 + 400 + 100)/1000 = 1 = 100\%$

$$f(A_1A_1) + f(A_1A_2) + f(A_2A_2) = 0,5 + 0,4 + 0,1 = 1$$

Cálculo freqüências gênicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Nº alelos “A ₁ ”	Nº alelos “A ₂ ”	Total
A ₁ A ₁	500			
A ₁ A ₂	400			
A ₂ A ₂	100			
Total	1000	n_{A1}	n_{A2}	2N

Freqüência do alelo A₁ → $f(A_1) = n_{A1}/2N$

Freqüência do alelo A₂ → $f(A_2) = n_{A2}/2N$

Cálculo freqüências gênicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Nº alelos “A ₁ ”	Nº alelos “A ₂ ”	Total
A ₁ A ₁	500	1000	0	1000
A ₁ A ₂	400			
A ₂ A ₂	100			
Total	1000	n _{A₁}	n _{A₂}	2N

Freqüência do alelo A₁ → $f(A_1) = n_{A_1}/2N$

Freqüência do alelo A₂ → $f(A_2) = n_{A_2}/2N$

Cálculo freqüências gênicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Nº alelos "A ₁ "	Nº alelos "A ₂ "	Total
A ₁ A ₁	500	1000	0	1000
A ₁ A ₂	400	400	400	800
A ₂ A ₂	100			
Total	1000	n _{A₁}	n _{A₂}	2N

Freqüência do alelo A₁ → $f(A_1) = n_{A_1}/2N$

Freqüência do alelo A₂ → $f(A_2) = n_{A_2}/2N$

Cálculo freqüências gênicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Nº alelos “A ₁ ”	Nº alelos “A ₂ ”	Total
A ₁ A ₁	500	1000	0	1000
A ₁ A ₂	400	400	400	800
A ₂ A ₂	100	0	200	200
Total	1000	n _{A₁}	n _{A₂}	2N

Freqüência do alelo A₁ → $f(A_1) = n_{A_1}/2N$

Freqüência do alelo A₂ → $f(A_2) = n_{A_2}/2N$

Cálculo freqüências gênicas

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Nº alelos "A ₁ "	Nº alelos "A ₂ "	Total
A ₁ A ₁	500	1000	0	1000
A ₁ A ₂	400	400	400	800
A ₂ A ₂	100	0	200	200
Total	1000	n_{A₁} = 1400	n_{A₂} = 600	2N= 2000

Freqüência do alelo A₁ → $f(A_1) = (1000 + 400)/2000 = 0,7 = 70\%$

Freqüência do alelo A₂ → $f(A_2) = (400+200)/2000 = 0,3 = 30\%$

Cálculo freqüências

- **Ausência de dominância**

- *Freqüência fenotípica*

- $f(\text{vermelho}) = 0,5$
 - $f(\text{ruão}) = 0,4$
 - $f(\text{branco}) = 0,1$

- *Freqüência genotípica*

- $f(A_1A_1) = 0,5$
 - $f(A_1A_2) = 0,4$
 - $f(A_2A_2) = 0,1$

- *Freqüência alélica*

- $f(A_1) = 0,7$
 - $f(A_2) = 0,3$

Cálculo freqüências

- Ausência de dominância

Genótipos	Nº animais	Freqüência genotípica
A_1A_1	$n_{A_1A_1}$	$n_{A_1A_1}/N=D$
A_1A_2	$n_{A_1A_2}$	$n_{A_1A_2}/N=H$
A_2A_2	$n_{A_2A_2}$	$n_{A_2A_2}/N=R$
Total	$N = n_{A_1A_1}+n_{A_1A_2}+n_{A_2A_2}$	D+H+R

Freqüência do alelo $A_1 \rightarrow f(A_1) = p = (2n_{A_1A_1} + n_{A_1A_2})/2N = D + \frac{1}{2}H$

Freqüência do alelo $A_2 \rightarrow f(A_2) = q = (n_{A_1A_2} + 2n_{A_2A_2})/2N = \frac{1}{2}H + R$

$$\left. \begin{array}{l} p + q = 1 \\ \text{e} \\ D + H + R = 1 \end{array} \right\}$$

Cálculo freqüências

- **Dominância completa**

- Ex. *Cor da pelagem em suínos*
 - Condicionada por 1 gene com 2 alelos
 - 2 fenótipos distintos

Fenótipos	Genótipos	Nº animais
Vermelho	RR ou Rr	640
Preto	rr	360

NÃO É POSSÍVEL DETERMINAR AS FREQUÊNCIAS GÊNICAS E GENOTÍPICAS APENAS COM ESSAS INFORMAÇÕES

Lei de Hardy-Weinberg (1908)



Godfrey Harold Hardy
Inglaterra



Wilhelm Weinberg
Alemanha

Lei de Hardy-Weinberg

Em uma população mendeliana, sob determinadas condições, as frequências gênicas permanecem constantes com o passar das gerações.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- **População mendeliana (população ideal)**
 - É infinita
 - Reprodução sexuada
 - Acasalamientos aleatórios (panmixia)
 - Diplóide
 - Número de fêmeas igual ao número de machos
 - Todos os casais são férteis e têm o mesmo número de prole
- **Sob a condição de NÃO sofrer:**
 - Seleção
 - Mutação
 - Migração
 - Oscilação gênica

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Considerando a geração parental com as seguintes frequências gênicas

	Alelos	
	R	r
Frequências	p	q

A probabilidade de qualquer gameta transportar um determinado alelo é igual à frequência do alelo na população.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- A probabilidade de um espermatozóide portador do alelo **R** fertilizar um óvulo com o alelo **R** é $p \times p = p^2$
- A probabilidade de um espermatozóide portador do alelo **R** fertilizar um óvulo com o alelo **r** é $p \times q = pq$
- A probabilidade de um espermatozóide portador do alelo **r** fertilizar um óvulo com o alelo **R** é $q \times p = qp = pq$
- A probabilidade de um espermatozóide portador do alelo **r** fertilizar um óvulo com o alelo **r** é $q \times q = q^2$

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Considerando acasamento aleatório e as mesmas frequências alélicas para machos e fêmeas, as frequências genotípicas na próxima geração serão:

União ao acaso dos gametas		Fêmeas	
		R (p)	r (q)
Machos	R (p)	RR (p^2)	rR (qp)
	r (q)	Rr (pq)	rr (q^2)

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

EQUAÇÃO DO EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Ex. Cor da pelagem em suínos

Fenótipos	Genótipos	Nº animais
Vermelho	RR ou Rr	640
Preto	rr	360
Total		1000

- Assumindo população em equilíbrio H-W: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

$$f(rr) = q^2 = 360/1000 \rightarrow q = \sqrt{360/1000} = 0,60$$

$$p + q = 1 \rightarrow p + 0,60 = 1 \rightarrow p = 0,40$$

$$f(RR)=p^2=0,16 \quad f(Rr)=2pq=0,48 \quad f(rr)=q^2=0,36$$

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- **Como saber se uma população está em equilíbrio H-W?**
 - *Ex. Cor da pelagem em bovinos da raça Angus*
 - *BB ou Bb vermelho, bb preto*
 - 400 animais BB, 400 animais Bb e 200 animais bb

Freqüências alélicas

$$\left\{ \begin{array}{l} f(B) = (800+400)/2000 = 0,60 \\ f(b) = (400+400)/2000 = 0,40 \end{array} \right.$$

Freqüências genotípicas

$$\left\{ \begin{array}{l} f(BB) = 400/1000 = 0,40 \\ f(Bb) = 400/1000 = 0,40 \\ f(bb) = 200/1000 = 0,20 \end{array} \right.$$

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Acasalamientos ao acaso e mesmas frequências genotípicas para machos e fêmeas

Frequências dos acasalamientos		Fêmeas (geração P)		
		BB (0,40)	Bb(0,40)	bb (0,20)
Machos (geração P)	BB (0,40)			
	Bb (0,40)			
	bb (0,20)			

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Acasalamentos ao acaso e mesmas frequências genotípicas para machos e fêmeas

Frequências dos acasalamentos		Fêmeas (geração P)		
		BB (0,40)	Bb(0,40)	bb (0,20)
Machos (geração P)	BB (0,40)	0,16	0,16	0,08
	Bb (0,40)	0,16	0,16	0,08
	bb (0,20)	0,08	0,08	0,04

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Geração P		Geração 1		
Acasalamentos	Frequências	BB	Bb	bb
BB x BB	0,16	0,16	0	0
BB x Bb	0,32	0,16	0,16	0
BB x bb	0,16			
Bb x Bb	0,16			
Bb x bb	0,16			
bb x bb	0,04			
Total	1			

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Geração P		Geração 1		
Acasalamentos	Frequências	BB	Bb	bb
BB x BB	0,16	0,16	0	0
BB x Bb	0,32	0,16	0,16	0
BB x bb	0,16	0	0,16	0
Bb x Bb	0,16	0,04	0,08	0,04
Bb x bb	0,16	0	0,08	0,08
bb x bb	0,04	0	0	0,04
Total	1	0,36	0,48	0,16

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

	Geração P	Geração 1
Frequências genotípicas	$\left\{ \begin{array}{l} f(BB) = 0,40 \\ f(Bb) = 0,40 \\ f(bb) = 0,20 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} f(BB) = 0,36 \\ f(Bb) = 0,48 \\ f(bb) = 0,16 \end{array} \right.$
Frequências alélicas	$\left\{ \begin{array}{l} f(B) = 0,60 \\ f(b) = 0,40 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} f(B) = 0,60 \\ f(b) = 0,40 \end{array} \right.$

Após um ciclo de acasalamentos ao acaso, as frequências gênicas mantiveram-se, porém as frequências genotípicas alteraram-se. Isto significa que a **Geração P** não se encontrava em equilíbrio.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Acasalamientos ao acaso e mesmas frequências genotípicas para machos e fêmeas

Frequências dos acasalamientos		Fêmeas (geração 1)		
		BB (0,36)	Bb(0,48)	bb (0,16)
Machos (geração 1)	BB (0,36)	0,1296	0,1728	0,0576
	Bb (0,48)	0,1728	0,2304	0,0768
	bb (0,16)	0,0576	0,0768	0,0256

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Geração 1		Geração 2		
Acasalamentos	Frequências	BB	Bb	bb
BB x BB	0,1296	0,1296	0	0
BB x Bb	0,3456	0,1728	0,1728	0
BB x bb	0,1152	0	0,1152	0
Bb x Bb	0,2304	0,0576	0,1152	0,0576
Bb x bb	0,1536	0	0,0768	0,0768
bb x bb	0,0256	0	0	0,0256
Total	1	0,36	0,48	0,16

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

	Geração 1	Geração 2
Frequências genotípicas	$f(BB) = 0,36$ $f(Bb) = 0,48$ $f(bb) = 0,16$	$f(BB) = 0,36$ $f(Bb) = 0,48$ $f(bb) = 0,16$
Frequências alélicas	$f(B) = 0,60$ $f(b) = 0,40$	$f(B) = 0,60$ $f(b) = 0,40$

Podemos afirmar que a **Geração 1** encontrava-se em equilíbrio de Hardy-Weinberg, uma vez que as frequências gênicas e genotípicas permaneceram constantes.

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- **Conclusões:**

- Sob a condição de panmixia, as frequências gênicas em qualquer geração são iguais às frequências gênicas iniciais
- As frequências genotípicas nos descendentes, sob acasalamento ao acaso, dependem somente das frequências gênicas na geração parental e não da frequência genotípica
- Se na geração parental machos e fêmeas apresentam as mesmas frequências genotípicas, o equilíbrio é atingido em uma geração
- Mantidas as condições especificadas para o equilíbrio de H-W, as frequências gênicas e genotípicas permanecem constantes, geração após geração

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Demonstração em termos algébricos

Frequências dos acasalamientos		Fêmeas (geração P)		
		BB (p^2)	Bb($2pq$)	bb (q^2)
Machos (geração P)	BB (p^2)	p^4	$2p^3q$	p^2q^2
	Bb ($2pq$)	$2p^3q$	$4p^2q^2$	$2pq^3$
	bb (q^2)	p^2q^2	$2pq^3$	q^4

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Geração P		Geração 1		
Acasalamentos	Frequências	BB	Bb	bb
BB x BB	p^4	p^4	-	-
BB x Bb	$4p^3q$	$2p^3q$	$2p^3q$	-
BB x bb	$2p^2q^2$	-	$2p^2q^2$	-
Bb x Bb	$4p^2q^2$	p^2q^2	$2p^2q^2$	p^2q^2
Bb x bb	$4pq^3$	-	$2pq^3$	$2pq^3$
bb x bb	q^4	-	-	q^4
Total	1	p^2	$2pq$	q^2

Teste do equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Usando teste Qui-quadrado
 - Ex. Cor da pelagem em bovinos da raça Angus
 - $f(B) = 0,60$ $f(b) = 0,40$

Genótipos	Nº observado de animais
BB	400
Bb	400
bb	200
Total	1000

Teste do equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Usando teste Qui-quadrado
 - *Ex. Cor da pelagem em bovinos da raça Angus*
 - $f(B) = 0,60$ $f(b) = 0,40$

Genótipos	Nº observado de animais	Frequência genotípica esperada	Nº esperado de animais
BB	400	$p^2 = 0,60^2 = 0,36$	$0,36 * 1000 = 360$
Bb	400	$2pq = 2 * 0,60 * 0,40 = 0,48$	$0,48 * 1000 = 480$
bb	200	$q^2 = 0,40^2 = 0,16$	$0,16 * 1000 = 160$
Total	1000		1000

Teste do equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Usando teste Qui-quadrado

$$\chi^2 = \sum (f_o - f_e)^2 / f_e$$

Genótipos	Nº observado de animais	Nº esperado de animais	$(f_o - f_e)^2 / f_e$
BB	400	360	$(400 - 360)^2 / 360 = 4,44$
Bb	400	480	$(400 - 480)^2 / 480 = 13,33$
bb	200	160	$(200 - 160)^2 / 160 = 10$
Total	1000	1000	$\chi^2 = 27,77$

Teste do equilíbrio de Hardy-Weinberg

- Usando teste Qui-quadrado

$$\chi^2_{gl,\alpha} = \sum (f_o - f_e)^2 / f_e$$

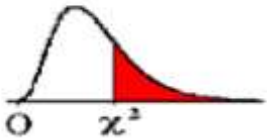
- *Graus de liberdade:*

$$gl = n^{\circ} \text{ genótipos} - n^{\circ} \text{ alelos} = 3 - 2 = 1$$

- *Hipóteses:*

- Ho: população está em equilíbrio de H-W
 - H1: não está em equilíbrio de H-W

Distribuição Qui-Quadrado



$$\chi^2_{calc} = 27,77$$

$\chi^2_{1;1\%} = 6,63 \rightarrow$ rejeito H_o , portanto a população não está em equilíbrio de H-W.

Intervalo...



Equilíbrio de H-W – alelos múltiplos

- *Ex. Sistema ABO*
 - Condicionada por 1 gene com 3 alelos ($I^A = I^B > I^i$)
 - 4 fenótipos distintos

Fenótipos	Genótipos	Nº animais
A	$I^A I^A$ ou $I^A I^i$	135
B	$I^B I^B$ ou $I^B I^i$	39
AB	$I^A I^B$	18
O	$I^i I^i$	108

Quais as frequências genotípicas e gênicas nessa população?

Equilíbrio de H-W – alelos múltiplos

- 2 alelos $\rightarrow (p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$
 - 3 alelos $\rightarrow (p+q+r)^2 = p^2 + 2pq + 2pr + q^2 + 2qr + r^2$
 - $F(I^A) = p$
 - $F(I^B) = q$
 - $F(I^i) = r$

 } Freqüências alélicas

 - $F(I^A I^A) = p^2$
 - $F(I^A I^B) = 2pq$
 - $F(I^A I^i) = 2pr$
 - $F(I^B I^B) = q^2$
 - $F(I^B I^i) = 2qr$
 - $F(I^i I^i) = r^2$
- } Freqüências genotípicas

Equilíbrio de H-W – alelos múltiplos

Fenótipos	Genótipos	Nº animais	Frequência esperada
A	$I^A I^A$ ou $I^A i$	135	$p^2 + 2pr$
B	$I^B I^B$ ou $I^B i$	39	$q^2 + 2qr$
AB	$I^A I^B$	18	$2pq$
O	$i i$	108	r^2
Total		300	1

$$r^2 = 108/300 \rightarrow r = 0,6 = 60\%$$

$$p^2 + 2pr + r^2 = 135/300 + 108/300$$

$$(p+r)^2 = 243/300$$

$$p+r = \sqrt{0,81}$$

$$p = 0,9 - 0,6 = 0,3 = 30\%$$

$$p+q+r = 1 \rightarrow q = 1 - 0,6 - 0,3 = 0,1 = 10\%$$

Equilíbrio de H-W – alelos múltiplos

- $F(I^A) = p = 0,3$
 - $F(I^B) = q = 0,1$
 - $F(I^i) = r = 0,6$
- Freqüências alélicas**

- $F(I^A I^A) = p^2 = 0,09$
 - $F(I^A I^B) = 2pq = 0,06$
 - $F(I^A I^i) = 2pr = 0,36$
 - $F(I^B I^B) = q^2 = 0,01$
 - $F(I^B I^i) = 2qr = 0,12$
 - $F(I^i I^i) = r^2 = 0,36$
- Freqüências genotípicas**

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

- Genes localizados no cromossomo X na porção não homóloga ao cromossomo Y

Genótipos	Frequências genotípicas
$X^D Y$	p
$X^d Y$	q
$X^D X^D$	p^2
$X^D X^d$	$2pq$
$X^d X^d$	q^2

- Sexo heterogamético: $p + q = 1$
- Sexo homogamético : $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

- Acasalamientos ao acaso, mesma frequência gênica e diferentes frequências genotípicas para machos e fêmeas

Frequências dos acasalamientos		Fêmeas (geração 0)		
		$X^D X^D (p^2)$	$X^D X^d (2pq)$	$X^d X^d (q^2)$
Machos (geração 0)	$X^D Y (p)$	p^3	$2p^2q$	pq^2
	$X^d Y (q)$	p^2q	$2pq^2$	q^3

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

Geração 0		Geração 1				
		Fêmeas			Machos	
Acasalamentos	Frequências	$X^D X^D$	$X^D X^d$	$X^d X^d$	$X^D Y$	$X^d Y$
$X^D Y \times X^D X^D$	p^3	p^3	o	o	p^3	o
$X^D Y \times X^D X^d$	$2p^2q$	p^2q	p^2q	o	p^2q	p^2q
$X^D Y \times X^d X^d$	pq^2	o	pq^2	o	o	pq^2
$X^d Y \times X^D X^D$	p^2q	o	p^2q	o	p^2q	o
$X^d Y \times X^D X^d$	$2pq^2$	o	pq^2	pq^2	pq^2	pq^2
$X^d Y \times X^d X^d$	q^3	o	o	q^3	o	q^3
Total	1	p^2	$2pq$	q^2	p	q

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

- **Estabelecimento do equilíbrio H-W**

- *Ex. Pelagem gatos*

- Gene ligado ao sexo com inativação de um dos cromossomos X nas fêmeas (mosaico genético)
 - Considerando efeito codominante nas fêmeas, temos:

	Fenótipos	Genótipos	Frequência genotípica
Machos	Preto	C^AY	0,3
	Amarelo	C^aY	0,7
Fêmeas	Preto	C^AC^A	0,3
	Malhado	C^AC^a	0,5
	Amarelo	C^aC^a	0,2

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

- Estabelecimento do equilíbrio H-W

	Genótipos	Frequência genotípica	Frequência genotípica
Machos	C^AY	0,3	p
	C^aY	0,7	q
Fêmeas	C^AC^A	0,3	p^2
	C^AC^a	0,5	$2pq$
	C^aC^a	0,2	q^2

- Machos (próxima geração) $\rightarrow F(C^AY) = p^2 + pq$ $F(C^aY) = pq + q^2$
- Fêmeas (próxima geração) $\rightarrow F(C^AC^A) = p(p^2 + pq)$ $F(C^aC^a) = q(pq + q^2)$
 $F(C^AC^a) = 1 - F(C^AC^A) - F(C^aC^a)$

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

Geração	Machos		Fêmeas			d
	p	q	p ²	2pq	q ²	
0	0,3	0,7	0,3	0,5	0,2	-0,25
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
...						
n						

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

Geração	Machos		Fêmeas			d
	p	q	p ²	2pq	q ²	
0	0,3	0,7	0,3	0,5	0,2	-0,25
1	0,55000	0,45000	0,16500	0,52000	0,31500	0,12500
2						
3						
4						
5						
6						
7						
...						
n						

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

Geração	Machos		Fêmeas			d
	p	q	p ²	2pq	q ²	
0	0,3	0,7	0,3	0,5	0,2	-0,25
1	0,55000	0,45000	0,16500	0,52000	0,31500	0,12500
2	0,42500	0,57500	0,23375	0,50750	0,25875	-0,06250
3	0,48750	0,51250	0,20719	0,49813	0,29469	0,03125
4	0,45625	0,54375	0,22242	0,49891	0,27867	-0,01563
5	0,47188	0,52813	0,21529	0,49754	0,28717	0,00781
6	0,46406	0,53594	0,21898	0,49798	0,28304	-0,00391
7	0,46797	0,53203	0,21717	0,49770	0,28514	0,00195
...						
n	0,47	0,53	0,22	0,50	0,28	0,000000

Equilíbrio de H-W – genes ligados ao sexo

- **Conclusões:**

- Se uma população é formada por machos e fêmeas com diferentes frequências alélicas, então, na geração seguinte, a frequência do alelo para os machos é igual a frequência do alelo nas fêmeas na geração anterior
- No equilíbrio as frequências gênicas de machos e fêmeas são iguais
- Devido a assimetria cromossomal, o equilíbrio não se estabelece em uma única geração de acasalamento ao acaso

Fatores que alteram frequência gênica

- **Processos sistemáticos**

- Migração
- Mutação
- Seleção

- **Processos dispersivos**

- Tamanho populacional
- Endogamia
- Oscilação genética

Referências

- BOURDON, R.M. **Understanding animal breeding.** New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- ELER, J.P. **Teorias e métodos em melhoramento genético animal: 1 – Bases do melhoramento genético animal.** Pirassununga: Biblioteca FZEA, 2008.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics.** 4ed. Essex Addison Wesley Longman Ltda., 1987.
- KINGHORN, B.; VAN DER WERF, J.; RYAN, M. **Melhoramento animal: Uso de novas tecnologias.** Piracicaba: FEALQ, 2006.

Estudo induzido

- 1) Em bovinos de corte, de maneira simplificada, o caráter mocho é condicionado por um par de genes com dominância completa do alelo **M** (**animais mochos**) sobre o alelo **m**. Considere uma população composta por 550 animais **MM**, 250 animais **Mm** e 200 animais **mm**. Calcule as frequências fenotípicas, genotípicas e gênicas para essa população.
- 2) A cor da pelagem em bovinos da raça Holandesa é condicionada por um par de genes com dominância completa do alelo **P** sobre o alelo **p**. Considere uma população composta por 950 animais com pelagem da cor preta e 50 animais com pelagem de cor vermelha. Assumindo que a população esteja em equilíbrio de H-W, calcule as frequências fenotípicas, genotípicas e gênicas.
- 3) Em uma população o número de genótipos é: $AA = 410$; $Aa = 580$; $aa = 10$.
 - a) Calcular as frequências genotípicas e gênicas.
 - b) Verifique por acasalamentos se a população está em equilíbrio em H-W.
- 4) Se a frequência de animais PSS (Síndrome do Estresse de Suínos) for de 1% numa população de suínos, qual deverá ser a frequência gênica e genotípica para gene em questão, sendo a PSS devida ao gene Halotano (recessivo)?

Estudo induzido

- 5) Mostrar que numa população de bovinos da raça Shorthorn, com 200 indivíduos vermelhos, 50 indivíduos rosilhos e 50 indivíduos brancos, o equilíbrio de Hardy-Weinberg é atingido em uma única geração de acasalamento ao acaso, sendo vermelho (VV), rosilho (Vv) e branco (vv). Faça o teste Qui-quadrado para comprovar.
- 6) Em relação ao sistema de grupos sanguíneos ABO, em uma população foram encontrados 222 indivíduos AB, 333 indivíduos A, 333 indivíduos B e 112 indivíduos O, estimar as frequências gênicas.
- 7) Considere uma população inicial com as seguintes frequências genotípicas, para os machos: 0,8 e 0,2 e, para as fêmeas: 0,4; 0,3 e 0,3. Calcule qual serão as frequências genotípicas após 10 gerações de acasalamento ao acaso e quais seriam essas frequências no equilíbrio?
- 8) Conceitue cada um dos fatores que alteram a frequência gênica em uma população.

Obrigado!

