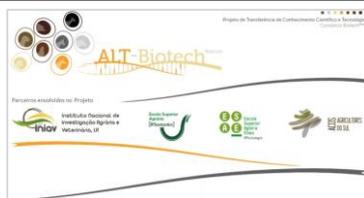


Workshop de Melhoramento Genético Animal

Projeto ALT-Biotech^{RepGen} - Recursos Genéticos Animais e Biotecnologias: projeção para o futuro
Estação Zootécnica Nacional – Fonte Boa, 17 de Dezembro de 2019



Co-financiado por
ALENTEJO 2014-2020
FEDERAL 2020
EUROPEAN UNION

Workshop de Melhoramento Genético Animal

ALT-Biotech^{RepGen} Recursos Genéticos Animais e Biotecnologias: projeção para o futuro
Estação Zootécnica Nacional – Fonte Boa, 17 de Dezembro de 2019

Workshop de Melhoramento Genético Animal

Horário	Tema
09:30 11:00	Introdução. Heritabilidade, Repetibilidade. Associação entre Características. Resposta à seleção. (N. Carolino)
11:30 13:00	BLUP – Modelo Animal. Modelos de Análise. Avaliação Genética, Resultados e Interpretação. (N. Carolino e A. Vicente)
13:00 14:00	Almoço
14:00 17:00	Avaliação Genómica (M. Vinicius Silva)

ALT-Biotech^{RepGen} Recursos Genéticos Animais e Biotecnologias: projeção para o futuro
Estação Zootécnica Nacional – Fonte Boa, 17 de Dezembro de 2019



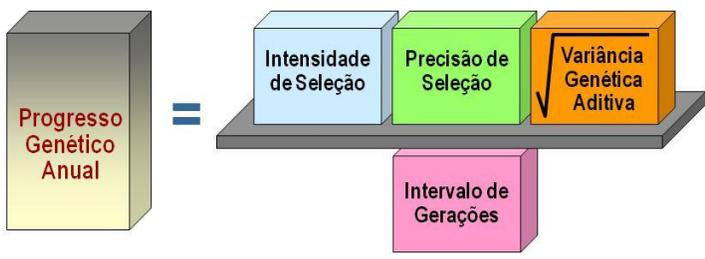
Introdução; Heritabilidade e Repetibilidade; Associação entre Características; Resposta à Seleção

Nuno Carolino



Workshop de Melhoramento Genético Animal
 ALT-Biotech^{RepGen} Recursos Genéticos Animais e Biotecnologias: projeção para o futuro
 Estação Zootécnica Nacional – Fonte Boa, 17 de Dezembro de 2019

Progresso Genético (ΔG)

$$\Delta G = i r_{AP} \sigma_A / L$$


Progresso Genético Anual = **Intensidade de Seleção** × **Precisão de Seleção** × $\sqrt{\text{Variância Genética Aditiva}}$ / **Intervalo de Gerações**

É possível ? Como ? Fatores que influenciam o ΔG ?
Temos variabilidade genética suficiente ? Impacto a longo prazo ?
Algumas populações atingiram a produção máxima ?



“Melhoramento Genético”

Seleção

Cruzamentos

Logo percebi que a seleção era a pedra-chave do sucesso do homem para obter raças úteis de animais e plantas

Darwin, 1837

N. Carolino
5/57

Peso ao Desmame – Angus – Nova Zelândia

GMD

Swedish Warmblood breed

Ovinos (Lacauze - França e Espanha)

Melhoramento Genético por Seleção

Melhoramento Genético por Seleção

A Decade of Genetic Progress in the English Sheep Industry

Ten years of genetic progress

Melhoramento Genético por Seleção

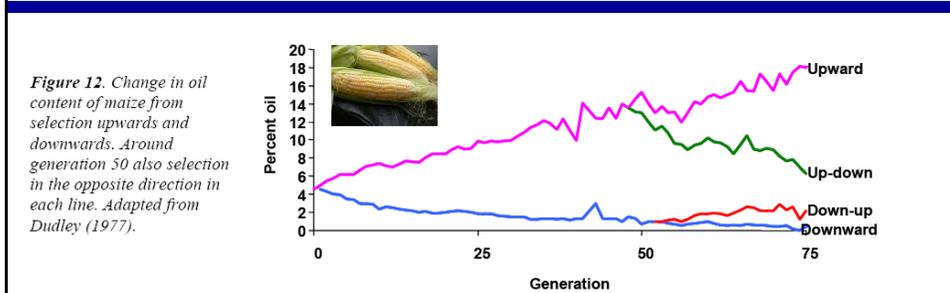
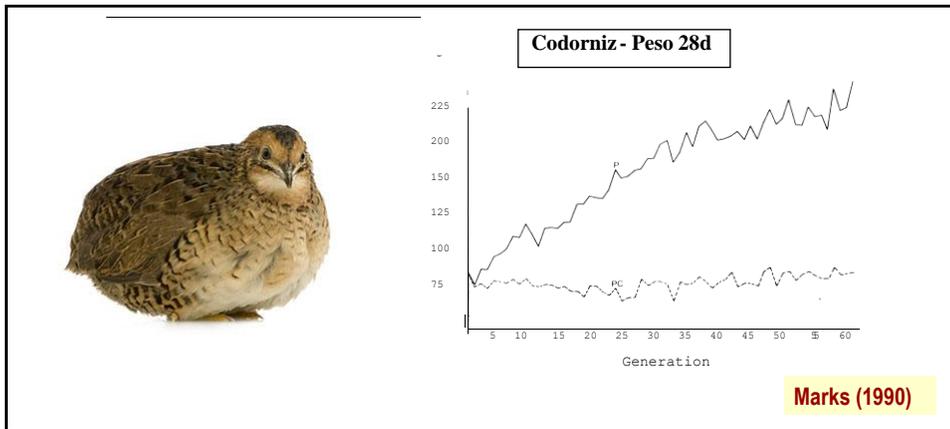
Aumento produtivo devido ao melhoramento (EUA)

Espécie / Caracter	Rendimento Indicativo		
	1960	Atual	Variação (%)
Suinós			
Leitões desmamados/porca ano	14	21	+50
Carcares magra	40	55	+37
Kg carcares magra/hautelevação	85	170	+100
Frangos			
N° dias até ao 2kg P ₀	100	48	-60
Índice Conversão Alimentar	3,0	1,7	-43
Galinhas			
Ovos por ano	230	300	+30
Ovos/ Ton. Alimentar	5000	9000	+80
Vacas Leiteiras			
Kg leite/vaca ano	6000	10000	+67

Progresso Genético (ΔG) ?

Introdução; Heritabilidade e Repetibilidade; Associação entre Características; Resposta à Seleção.
 Nuno Carolino

3



Melhoramento Genético Animal (Seleção)

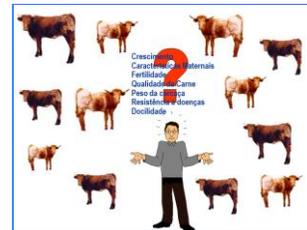
Dificuldades !!!

Tipo de características

- Poligénicos / Falta de Informação sobre a ação dos genes
- Transmissibilidade (h^2)
- Efeitos ambientais
- Modo de ação dos genes
- Medidas em apenas um sexo
- Vários registos ao longo da vida
- Medidos demasiado tarde
- Medidos *post-mortem*
- Difíceis de serem medidos

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_E^2}$$

Questões de logística !!!



Seleção
Valor Genético

Disponível

Informação Fenotípica sobre o Animal ou seus Parentes

P = G + E

Um reprodutor não transmite o seu genótipo

N. Carolino 9/57

Seleção
Valor Genético

Informação Fenotípica

Genótipo { Valor Genético
Dominância
Epistasia

Ambiente { Factores Sistemáticos
Factores aleatórios

P = A + D + I + E

$\sigma^2_P = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_I + \sigma^2_E$

N. Carolino 10/57

Seleção
Valor Genético

Valor Genético (\hat{A})

- ✓ Valor de um indivíduo num programa de seleção
- ✓ Valor de um indivíduo como reprodutor
- ✓ Soma dos efeitos de cada alelo que afeta o carácter
- ✓ Dobro do desvio dos descendentes relativamente à μ

- \hat{A} para cada característica
- \hat{A} depende da média da população



$VG_{\text{Prod. Leite}} = +2000$ litros

Descendência +1000 litros que μ

N. Carolino
11/57

Seleção
Valor Genético

Valor Genético (\hat{A})

- ✓ Valor de um indivíduo num programa de seleção
- ✓ Valor de um indivíduo como reprodutor
- ✓ Soma dos efeitos de cada alelo que afeta o carácter
- ✓ Dobro do desvio dos descendentes relativamente à μ

- \hat{A} para cada característica
- \hat{A} depende da média da população



$VG_{\text{Int. Partos}} = -60$ dias

Descendência -30 dias que μ

N. Carolino
12/57

Seleção
Valor Genético

Valor Genético

Superioridade ou Inferioridade

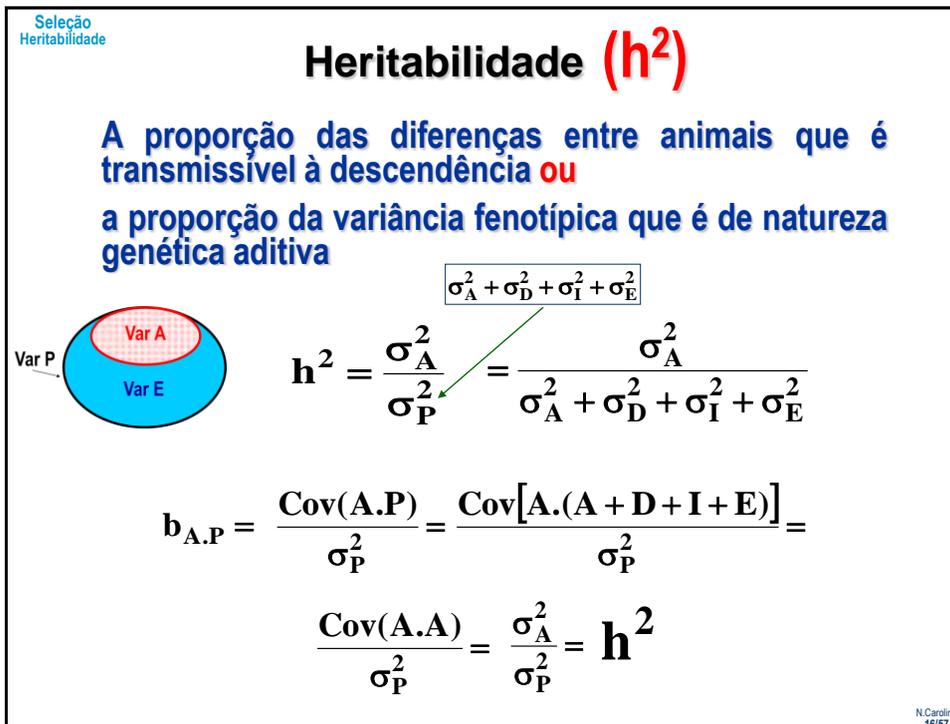
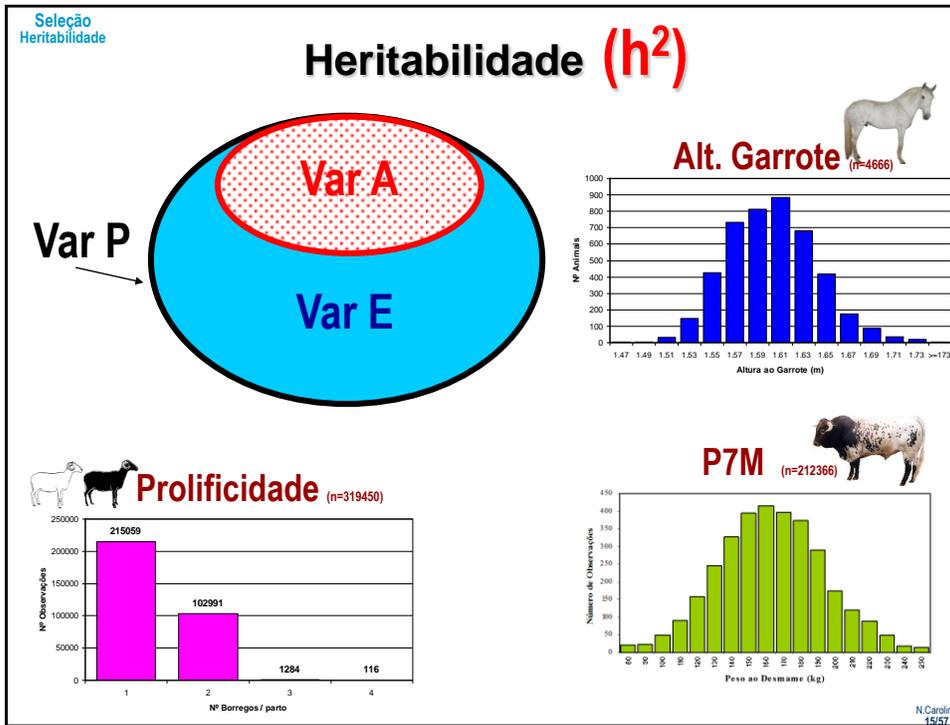
N. Carolino
13/17

Seleção
Valor Genético

Valor Genético

Superioridade ou Inferioridade

N. Carolino
14/17



Seleção Heritabilidade

Heritabilidade (h^2)

A proporção das diferenças entre animais que é transmissível à descendência **ou**
 a proporção da variância fenotípica que é de natureza genética aditiva

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$$

$$b_{A.P} = \frac{\text{Cov}(A.P)}{\sigma_P^2} = \frac{\text{Cov}(A.A)}{\sigma_P^2} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} = h^2$$

h^2 = coeficiente regressão do VG de um animal no seu valor fenotípico

h^2 para o PD em ovinos = 0.25

PD de um borrego está 2 kg acima da média, o seu valor genético está (em média) **0.5 kg** acima da média da população

N. Carolino 17/57

Seleção Heritabilidade

Valor Genético Estimado Predição do VG real

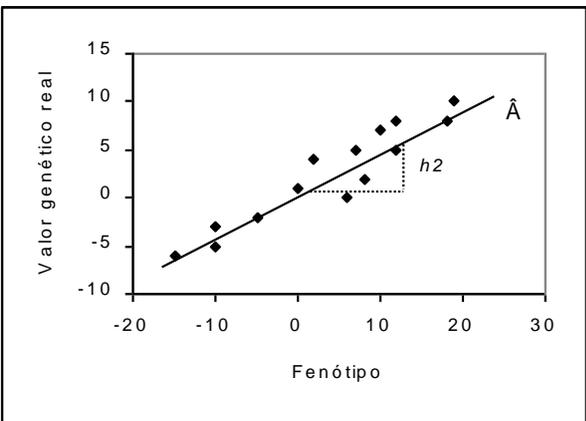
Valor genético estimado do indivíduo i →

$\hat{A}_i = h^2 (P_i - \mu)$

← Desvio do fenótipo do indivíduo i



PL= 200 kg
 μ rebanho = 150 kg
 $h^2 = 0.20$
VG estimado = 10 kg



Valor genético real

Fenótipo

Não significa que o valor genético real desta ovelha seja de 10 Kg, mas que, nas ovelhas que têm uma superioridade na produção de 50 kg, o valor genético real médio será de 10 kg.

N. Carolino 18/57

Seleção
Precisão

Precisão da Predição do Valor Genético

O VG real de um animal nunca chega a ser conhecido.

Qual a **precisão** com que predizemos o valor genético de um animal, por outras palavras, qual é a correlação entre o valor genético real e o fenótipo do próprio indivíduo?

$$r_{A,P} = \frac{\text{Cov}(A,P)}{\sigma_A \sigma_P} = \frac{\text{Cov}[A,(A+D+I+E)]}{\sigma_A \sigma_P} = \frac{\text{Cov}(A,A)}{\sigma_A \sigma_P} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A \sigma_P} = \frac{\sigma_A}{\sigma_P} = \sqrt{h^2}$$

N. Carolino
19/57

Seleção
Heritabilidade

Heritabilidade (h^2)

Transmissibilidade e ΔG

Estimativas dependem:

- **Caracter**
- **População - Variabilidade Genética**
- **Raça**
- **Espécie**
- **Metodologia**
- **Modelo Utilizado**

N. Carolino
20/57

Seleção Heritabilidade

Heritabilidade (h^2)

Caracteres	Heritabilidade	Depressão Consanguínea	Heterose
Reprodutivos e Adaptação	Baixa	- - -	+ + +
Crescimento e Produção	Intermédia	- -	+ +
Dimensões, Composição e Qualidade	Elevada	-	+

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

$$-2pqF_i d$$

$$(p_C - p_M)^2 d$$

N. Carolino 21/57

Resposta à Seleção

Resposta à Seleção (ΔG)

- Diferenças entre indivíduos candidatos à seleção (**variabilidade genética**)
- Diferenças entre indivíduos sejam transmissíveis (**heritabilidade > 0**)
- Valor Genético dos indivíduos selecionados **superior** Valor Genético da média da população



Resposta à seleção ou Progresso Genético (ΔG) é a mudança no valor genético da população de uma geração para a seguinte

N. Carolino 22/57

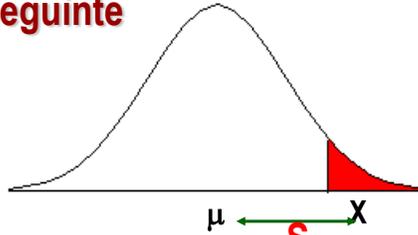
Resposta à Seleção

Resposta à Seleção (ΔG)

- Diferenças entre os indivíduos candidatos à seleção ($\sigma^2_A > 0$)
- Diferenças entre indivíduos sejam transmissíveis ($h^2 > 0$)
- $E(A)$ indivíduos selecionados $>$ $E(A)$ da média da população

Resposta à seleção ou Progresso Genético (ΔG) é a mudança no valor genético da população de uma geração para a seguinte

$$\Delta G = h^2 S$$



Diferencial de Seleção - Superioridade fenotípica média dos indivíduos seleccionados relativamente à população de origem

N. Carolino 23/57

Resposta à Seleção

Intensidade de Seleção (i)

$$i = \frac{S}{\sigma_P} \quad S = i \sigma_P$$

A intensidade de seleção é a superioridade fenotípica dos indivíduos selecionados, expressa em unidades de desvio padrão

Proporção Selecionada	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	-	2.665	2.421	2.268	2.154	2.063	1.985	1.918	1.858	1.804
0.1	1.755	1.709	1.667	1.627	1.590	1.554	1.521	1.489	1.458	1.428
0.2	1.400	1.372	1.346	1.320	1.295	1.271	1.248	1.225	1.202	1.180
0.3	1.159	1.138	1.118	1.097	1.078	1.058	1.039	1.020	1.002	0.984
0.4	0.966	0.948	0.931	0.913	0.896	0.880	0.863	0.846	0.830	0.814
0.5	0.798	0.782	0.766	0.751	0.735	0.720	0.704	0.689	0.674	0.659
0.6	0.644	0.629	0.614	0.599	0.585	0.570	0.555	0.541	0.526	0.511
0.7	0.497	0.482	0.468	0.453	0.438	0.424	0.409	0.394	0.380	0.365
0.8	0.350	0.335	0.320	0.305	0.290	0.274	0.259	0.243	0.227	0.211
0.9	0.195	0.178	0.162	0.144	0.127	0.109	0.090	0.070	0.049	0.027

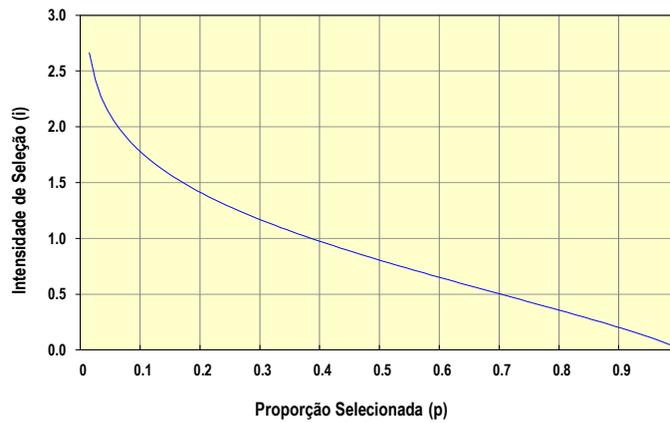
N. Carolino 24/57

Resposta à Seleção

Intensidade de Seleção (i)

$$i = \frac{S}{\sigma_P} \quad S = i \sigma_P$$

A intensidade de seleção é a superioridade fenotípica dos indivíduos selecionados, expressa em unidades de desvio padrão



N. Carolino
25/57

Resposta à Seleção

Intensidade de Seleção (i)

$$i = \frac{S}{\sigma_P} \quad S = i \sigma_P$$

A intensidade de seleção é a superioridade fenotípica dos indivíduos selecionados, expressa em unidades de desvio padrão

Espécie	Machos		Fêmeas	
	%	i	%	i
Bovinos	4 - 5	2.1	40 - 50	.9
Ovinos	2 - 3	2.4	40 - 50	.9
Caprinos	2 - 3	2.4	30 - 40	1.1
Suínos	1 - 2	2.5	10 - 15	1.6
Aves	1 - 2	2.5	10 - 15	1.6

$$i = \frac{1}{2} (i_m + i_f)$$

N. Carolino
26/57

Resposta à Seleção

Seleção Individual vs Parentes

	Resposta à Seleção (ΔG)	Valor Genético (A)	Precisão
Seleção Individual	$\Delta G = i h^2 \sigma_P$	$A = h^2(P-\mu)$	$\sqrt{h^2}$
Seleção Parentes	$\Delta G = i r_{AP} \sigma_A$	$A = b_{AP}(P-\mu)$	$r_{AP} = \sqrt{a_{ij}b_{AP}}$

N. Carolino 27/57

Resposta à Seleção

Resposta Anual à Seleção ($\Delta G/\text{ano}$)

$\Delta G/\text{ano} = \Delta G/L$

L = Intervalo de Gerações

idade média dos pais quando nascem os filhos que vão substituí-los
 $L = \frac{1}{2} (L_m + L_f)$

Intervalos de Gerações (anos)

	Machos	Fêmeas
Bovinos de carne	3-5	5-8
Bovinos leiteiros	2-7	3-5
Suínos	1.0-1.5	1.0-1.5
Equinos	8-12	8-12
Ovinos	3-4	3-6
Caprinos	3-4	4-7
Aves	1	1

N. Carolino 28/57

Resposta à
 Seleção

Resposta Anual à Seleção ($\Delta G/\text{ano}$)

$$\Delta G = i h^2 \sigma_P / L$$

$$\Delta G = i r_{AP} \sigma_A / L$$

O objetivo de um Programa de Melhoramento Genético por Seleção será maximizar $\Delta G/\text{ano}$

- Aumentando a intensidade
- Maximizando a precisão de seleção
- Mantendo a variância genética
- Diminuindo o intervalo de gerações



Seleção
 Registros Repetidos

Informação sobre Parentes e Registros Repetidos no Indivíduo

➤ **Quantos mais registos houver sobre um animal > a precisão**

- Vários registos medidos ao longo da vida
- Caracteres medidos em apenas um sexo
- Caracteres medidos demasiado tarde
- Caracteres medidos post-mortem
- Caracteres difíceis de serem medidos

Qual a melhor maneira de combinar os diversos registos disponíveis ?

$$\hat{A}_i = b_{A,P} (P_j - \mu)$$

$b_{A,P} = \frac{n h^2 a_{ij}}{1 + (n-1) r_{P_j}}$

$r_{AP} = \sqrt{b_{AP} a_{ij}}$

Fonte de informação fenotípica (pointing to $P_j - \mu$)
 Parentesco entre indivíduo (i) e a os indivíduos na fonte de informação (P_j) (pointing to a_{ij})
 Correlação entre registos em fenotípicos (pointing to r_{P_j})

N. Carolino
 30/57

Seleção
Registos Repetidos

Registos Repetidos no Indivíduo

➤ **Quanto mais registos houver sobre um animal > a precisão**

Cada registo é o resultado de vários factores ligados ao animal ou ao meio:

- Valor Genético (o que é transmissível à descendência)
- Efeitos Genéticos não Aditivos (dominância, epistasia, etc.)
- Efeitos Ambientais Permanentes (p.e. se o animal tiver uma má recria)
- Efeitos Ambientais Temporários (p.e. ≠s anos)

Lactação	Cabra 1	Cabra 2
1	$P_{11} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{11}$	$P_{21} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{21}$
2	$P_{12} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{12}$	$P_{22} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{22}$
...		
n	$P_{1n} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{1n}$	$P_{2n} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{2n}$

$$\mu_{Pn} = \frac{\sum A}{n} + \frac{\sum D}{n} + \frac{\sum PE}{n} + \frac{\sum TE}{n}$$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_{PE} + \sigma^2_E$$

N. Carolino
31/57

Seleção
Registos Repetidos

Registos Repetidos no Indivíduo

➤ **REPETIBILIDADE – correlação entre registos repetidos no mesmo animal ou a proporção das diferenças entre animais que é repetida de um registo para o outro**

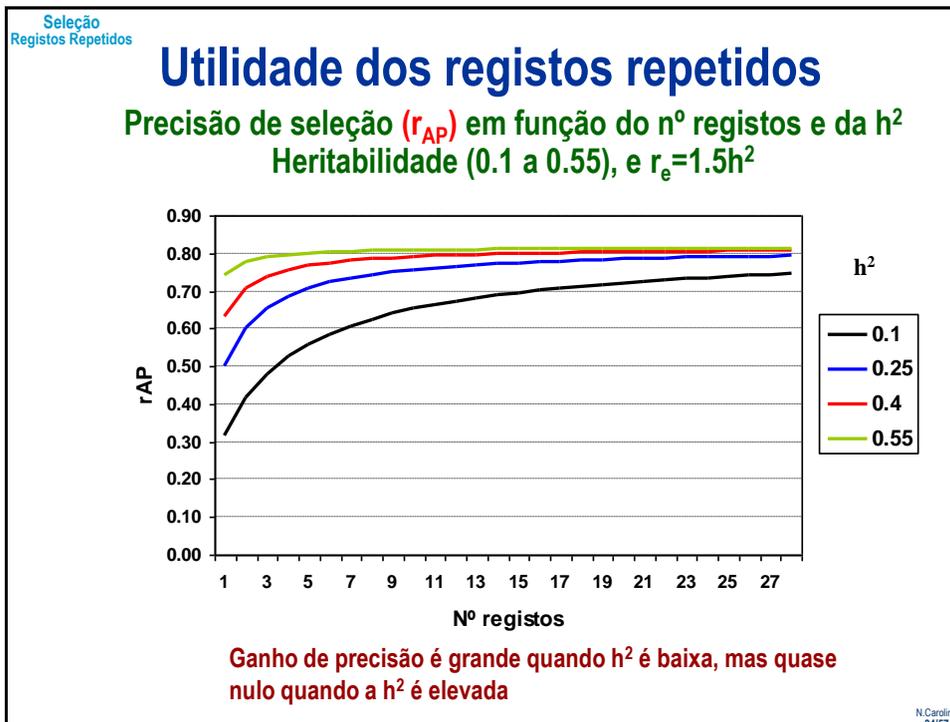
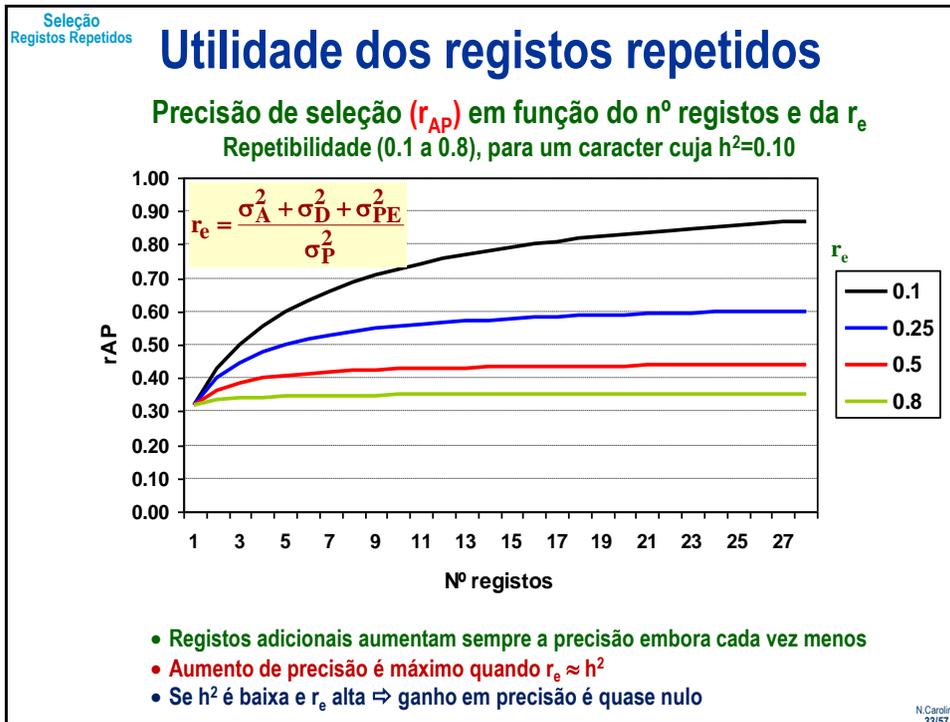
Lactação	Cabra 1	Cabra 2
1	$P_{11} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{11}$	$P_{21} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{21}$
2	$P_{12} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{12}$	$P_{22} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{22}$
...		
n	$P_{1n} = A_1 + D_1 + PE_1 + TE_{1n}$	$P_{2n} = A_2 + D_2 + PE_2 + TE_{2n}$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_{PE} + \sigma^2_E$$

$$r_e = \frac{\sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_{PE}}{\sigma^2_P}$$

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_P}$$

N. Carolino
32/57



Seleção
Correlações

Correlações

- **Coefficiente de correlação (r_{XY})** - Grau e direção de associação linear entre as duas variáveis **X** e **Y**

$$r_{XY} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{s_x s_y}$$

- ✓ **Precisão de estimativas de VG (\hat{A})** - r_{AP}
- ✓ **Associação entre registos repetidos** - r_e
- ✓ **Medida de Associação entre \neq s variáveis**
- ✓ **Respostas Correlacionadas** - Resposta indireta à Seleção (*Respostas Desejáveis e Indesejáveis*)

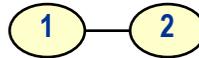
N. Carolino
35/57

Seleção
Correlações

Correlações entre Características

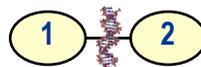
- **Correlações Fenotípicas (r_P)**

Associação fenotípica entre duas características (1 e 2) no mesmo indivíduo

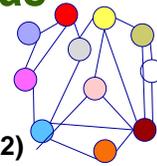


- **Razão para haver (r_P) entre 2 características**

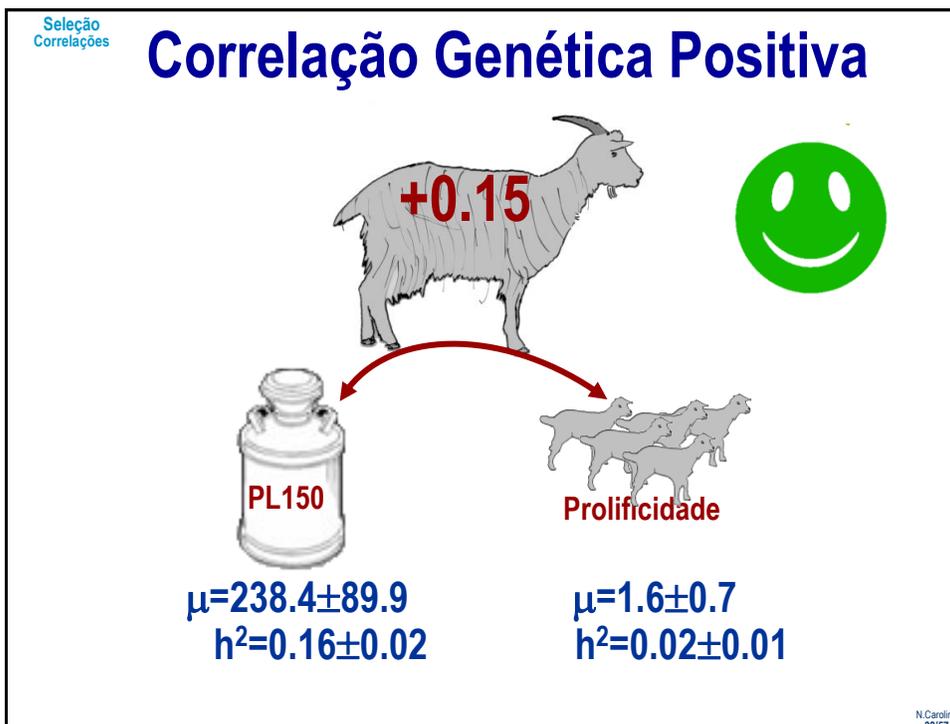
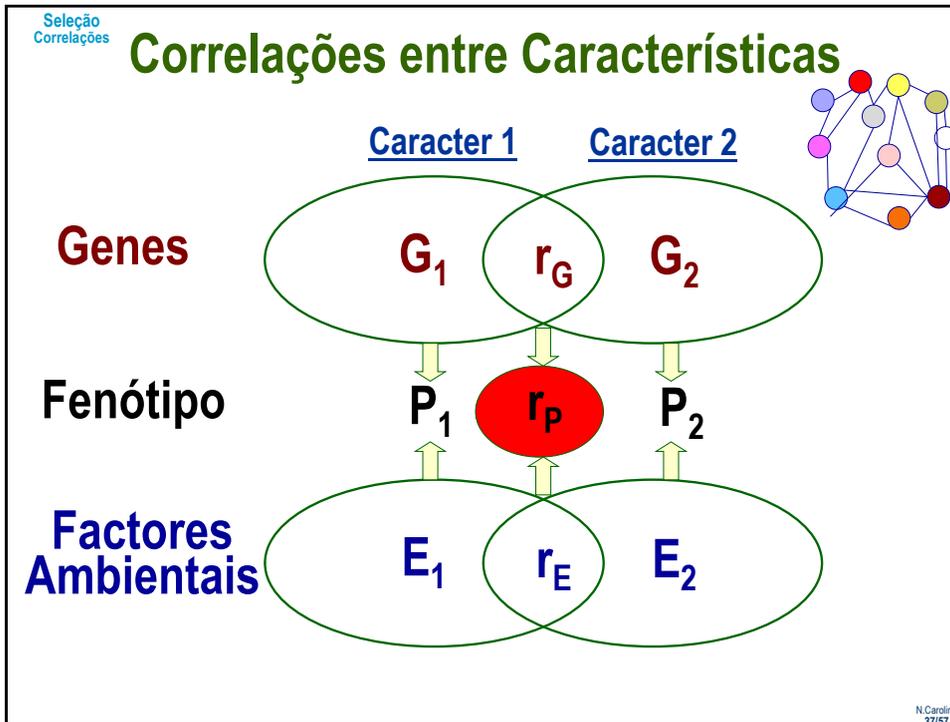
• Mesmos genes têm efeito em ambas as características (Pleiotropismo) \Rightarrow **Correlação Genética (r_G)**

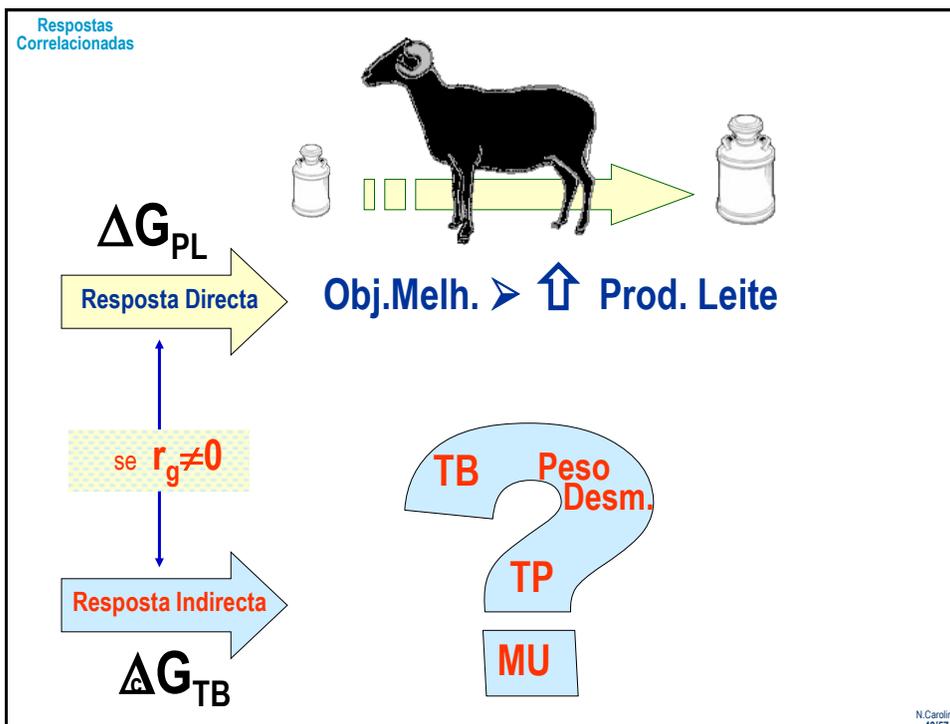
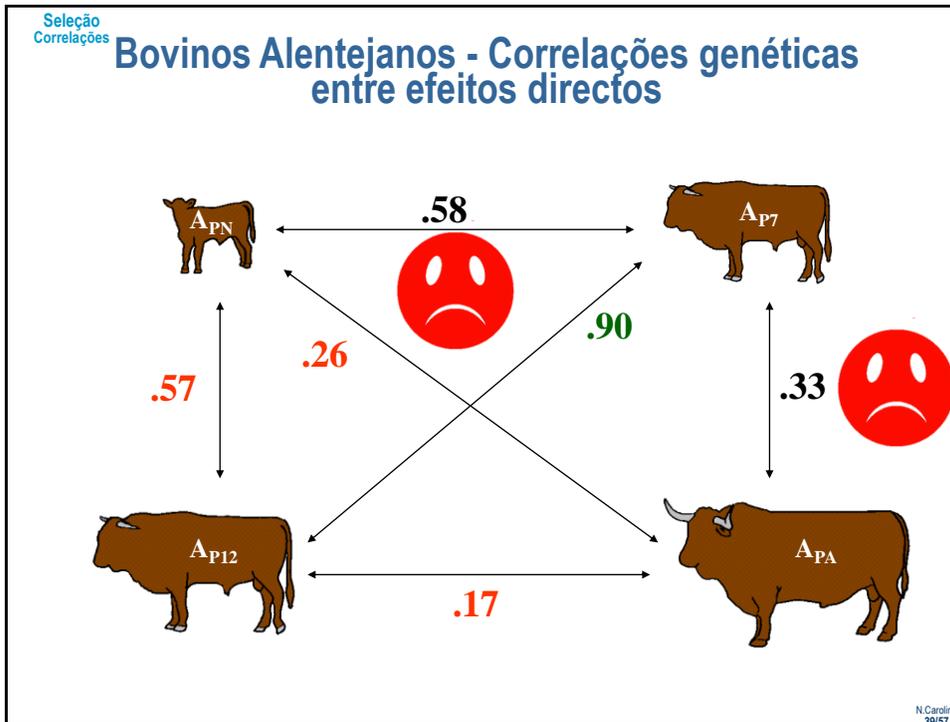


▪ Mesmos factores ambientais afectam ambas as características \Rightarrow **Correlação Ambiental (r_E)**

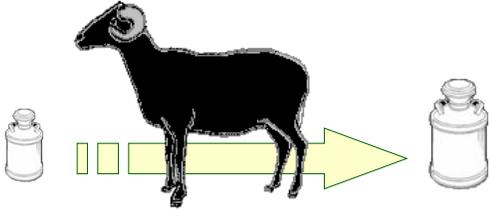


N. Carolino
36/57





Respostas Correlacionadas



• **Seleção para PL**

- ↳ **Resposta na PL**
 ⇒ Resposta Direta à Seleção
- ↳ **Resposta no TB se $r_g \neq 0$**
 ⇒ Resposta Correlacionada à Seleção
 ⇒ Alteração do TB devido à Seleção para a PL

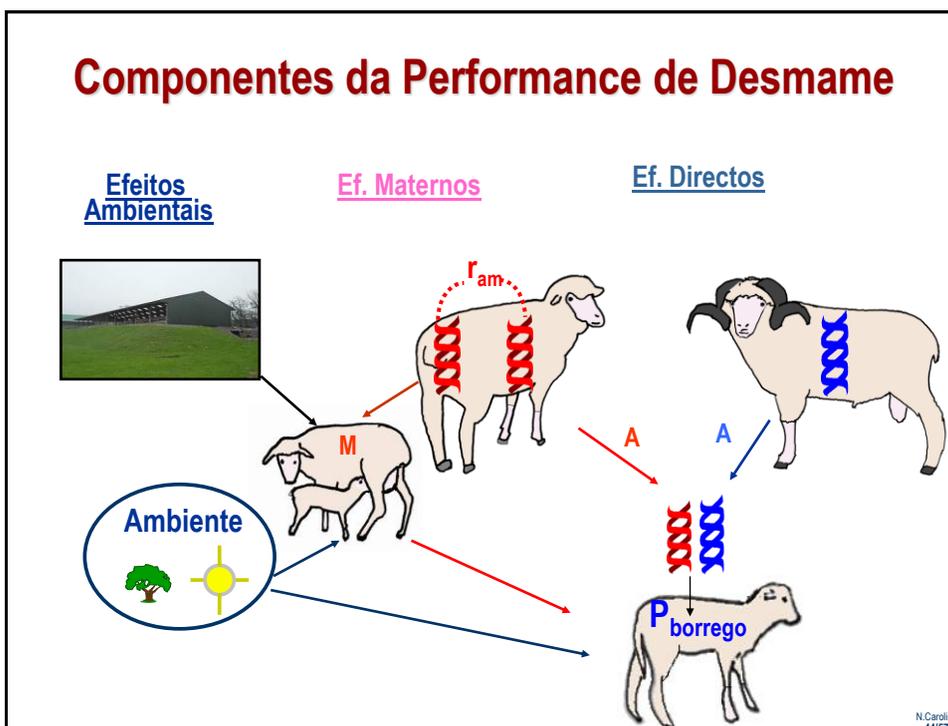
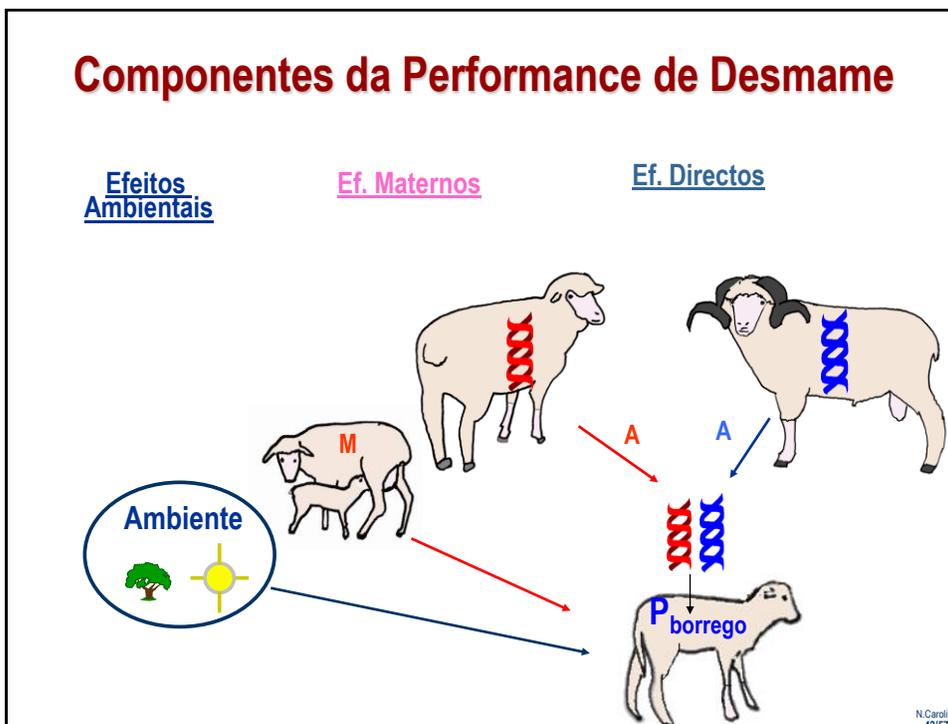
$$\Delta G_y = r_G i_X r_{AP_x} \sigma_{A_y}$$

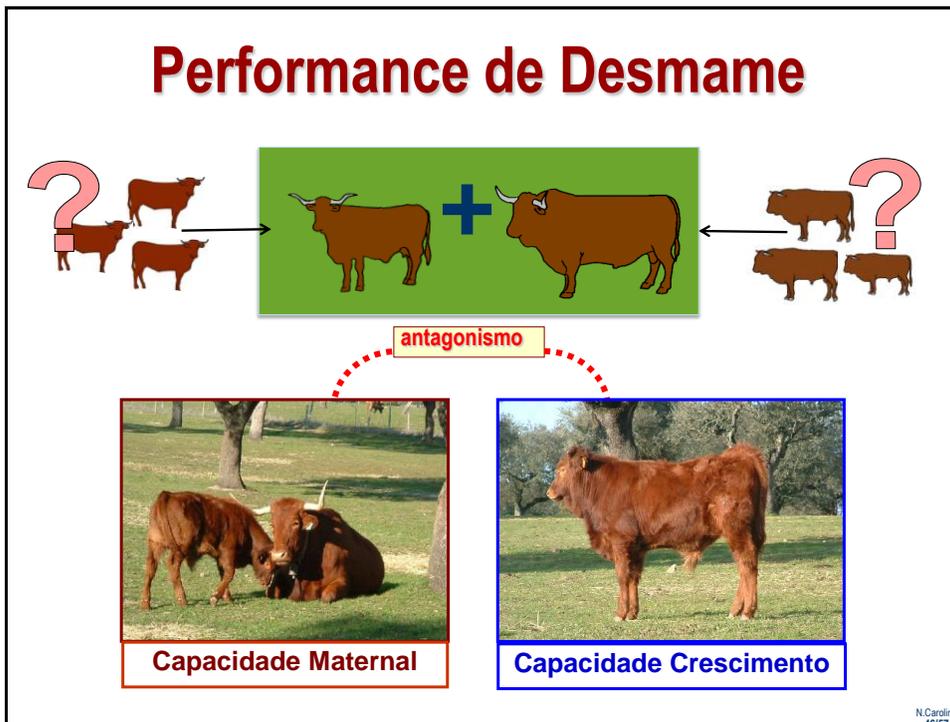
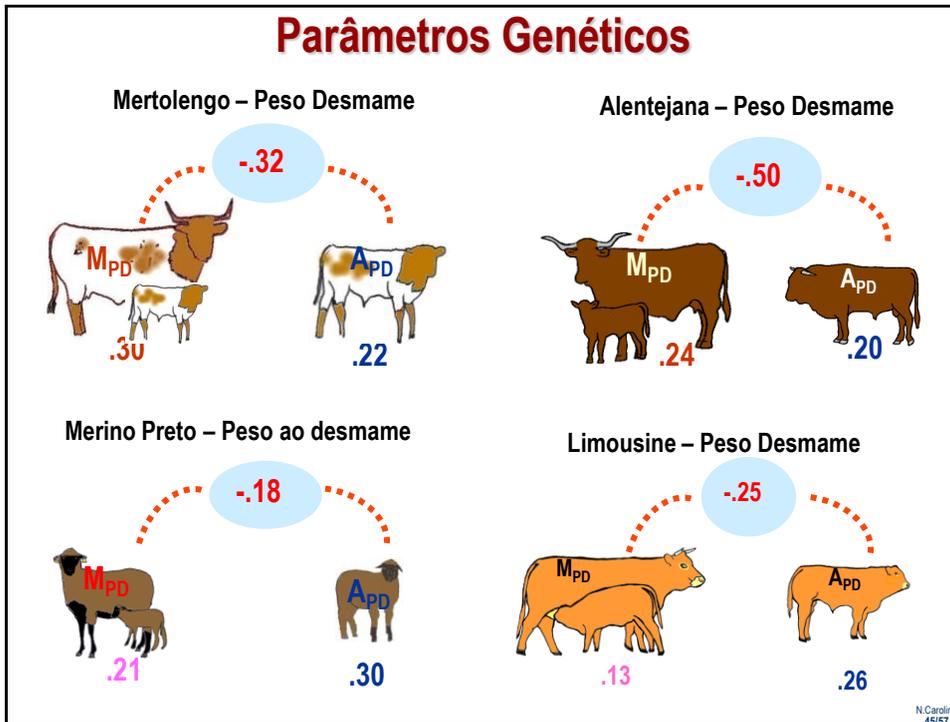
Respostas Indesejadas ⇒ Correlações, Intensidade e Precisão Seleção, Variabilidade Genética

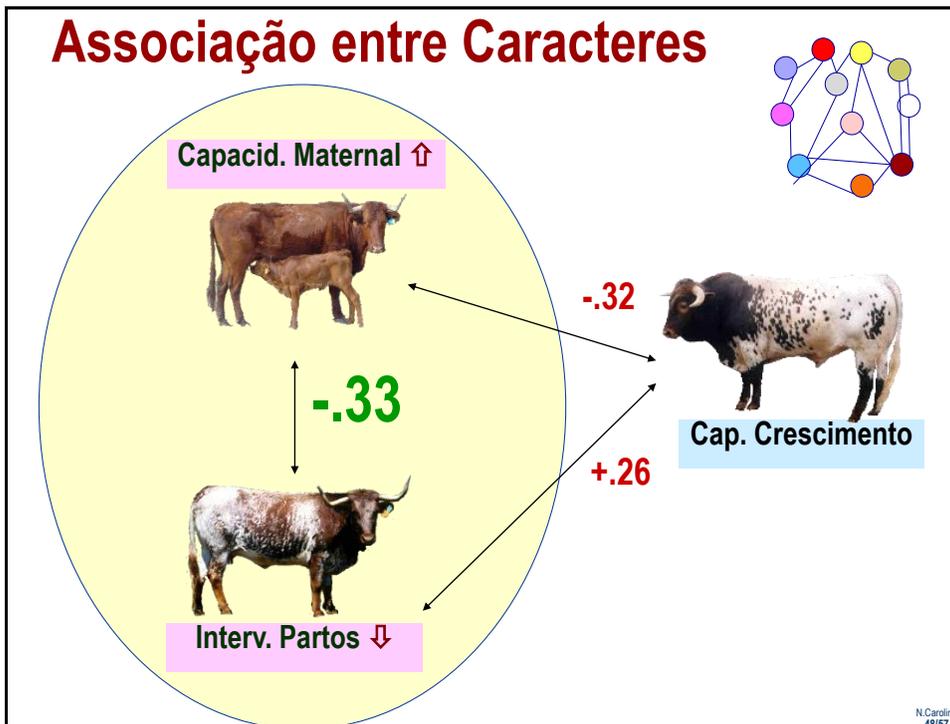
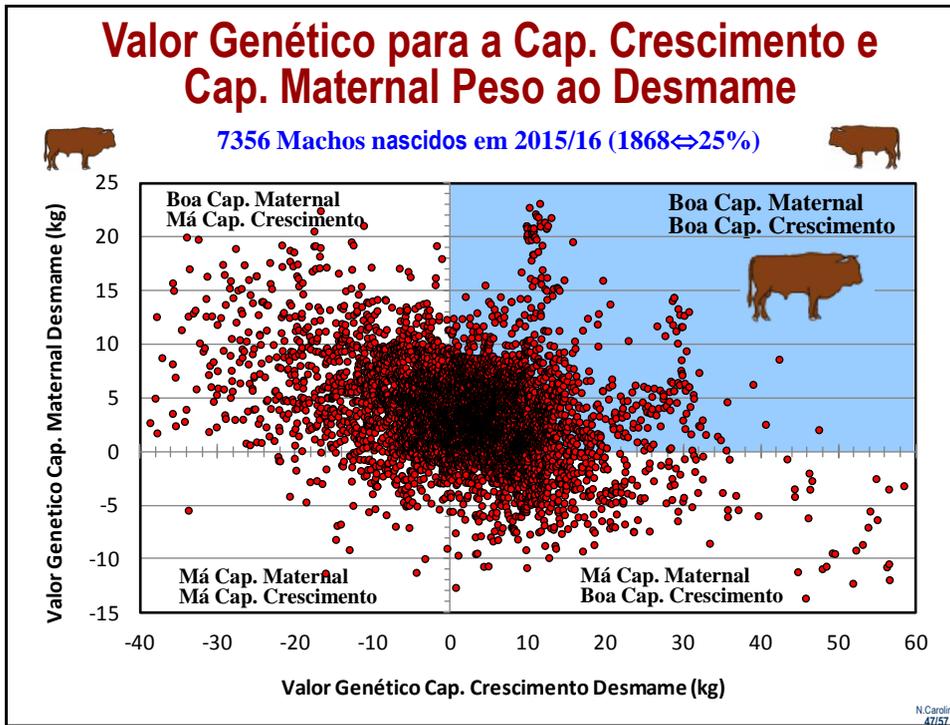
A seleção de animais pelas suas performances de desmame !!!



N. Carolino 42/57







Associação entre Caracteres

Correlações genéticas e fenotípicas

	PN ₁	PN ₂	P3M ₁	P3M ₂	P7M ₁	P7M ₂	P12M ₁	P12M ₂	PADU	INTP	IDIP	LR	NP7	NPT	GMD	IC	TCR	%EX	%1°C	%PN	RD
PN ₁			+0.35	+0.23	+0.05	+0.12	+0.41	+0.01	+0.06	-0.11	-0.23	+0.10	+0.11	+0.25	+0.40	-0.00	+0.01	+0.22	+0.16	+0.14	-0.00
PN ₂			+0.16	+0.16	+0.17	-0.04	-0.31	+0.17	+0.27	+0.28	+0.11	+0.27	+0.25	+0.15	+0.22	-0.37	-0.00	-0.13	-0.00	-0.04	-0.23
P3M ₁	+0.25				+0.74	-0.42	+0.23	+0.27	+0.42	-0.01	-0.91	+0.09	+0.09	+0.12	+0.04	+0.00	+0.20	-0.20	+0.41	-0.03	+0.13
P3M ₂		+0.25			-0.69	+0.86	-0.07	+0.46	-0.05	-0.22	+0.75	+0.39	+0.11	+0.13	+0.51	+0.00	+0.50	+0.50	-0.74	+0.46	-0.04
P7M ₁	+0.16			+0.52			+0.97	-0.10	+0.07	-0.26	-0.16	+0.28	+0.20	+0.18	+0.51	+0.02	+0.55	-0.40	+0.18	-0.52	-0.01
P7M ₂		+0.16					-0.54	+0.15	+0.11	-0.04	-0.18	+0.15	+0.21	+0.41	-0.53	-0.02	-0.54	+0.43	-0.34	+0.59	-0.25
P12M ₁	+0.16		+0.38		+0.53				+0.34	+0.07	-0.45	+0.65	+0.50	+0.27	+0.24	-0.01	+0.59	-0.19	-0.30	-0.15	-0.08
P12M ₂		+0.16							-0.09	-0.06	-0.21	+0.32	+0.58	+0.48	-0.27	-0.67	+0.50	-0.65	+0.18	-0.02	+0.18
PADU	+0.13		+0.09		+0.12		+0.14		+0.29	+0.12	+0.97	+0.86	+0.68	+0.17	+0.02	+0.25	+0.09	+0.18	+0.25	+0.08	
INTP	+0.00		-0.01		+0.01		+0.01		+0.10		+0.61	+0.37	-0.93	-0.90	+0.01	-0.27	-0.32	-0.10	-0.04	-0.05	+0.12
IDIP	-0.08		-0.09		-0.05		-0.15		-0.01	+0.03		-0.05	-0.21	-0.11	-0.80	-0.10	-0.50	-0.26	-0.19	-0.10	+0.08
LR	-0.01		-0.23		+0.03		+0.50		+0.16	-0.01	-0.06		+0.61	+0.97	-0.06	+0.03	+0.01	+0.12	-0.01	+0.13	+0.25
NP7	-0.06		-0.23		-0.19		-0.60		+0.21	-0.07	-0.22	+0.54		+0.91	+0.27	-0.41	+0.38	+0.23	+0.01	+0.19	+0.18
NPT	+0.05		+0.02		-0.43		+0.03		+0.37	-0.01	-0.07	+0.92	+0.91		+0.00	+0.02	+0.21	+0.03	-0.03	+0.03	+0.08
GMD	+0.10		+0.01		+0.20		-0.03		+0.21	0.00	-0.57	+0.12	-0.29	+0.00		-0.97	+0.93	+0.46	-0.47	+0.44	+0.35
IC	+0.00		+0.00		-0.07		-0.14		-0.10	+0.00	+0.25	+0.00	+0.15	+0.28	-0.82						
TCR	+0.00		+0.14		+0.08		+0.08		+0.12	+0.10	-0.54	+0.13	-0.21	-0.45	+0.96	-0.79					
%EX	+0.05		+0.14		-0.07		-0.13		+0.31	-0.52	-0.17	+0.03	+0.03	+0.00	+0.17	-0.14					
%1°C	-0.04		-0.13		-0.03		-0.16		-0.39	+0.13	-0.08	+0.03	+0.05	+0.00	+0.14	-0.13					
%PN	+0.05		+0.07		-0.09		-0.10		+0.05	-0.10	-0.23	+0.13	+0.11	+0.00	+0.10	-0.15					
RD	-0.04		+0.01		+0.02		+0.01		+0.31	+0.02	+0.15	+0.03	+0.02	+0.01	-0.28	+0.14					



N. Carolino
49/57

Resposta à
Seleção

Metodologias de Seleção

Seleção Dificuldades ?!

- Falta de Informação sobre a ação dos genes
- Caracteres Poligênicos
- Caracteres medidos em apenas um sexo
- Caracteres medidos demasiado tarde
- Caracteres medidos post-mortem
- Caracteres difíceis de serem medidos



N. Carolino
50/57

