

## PRINCÍPIOS DE SELEÇÃO

Lucia Galvão de Albuquerque

A quantidade de indivíduos nascidos em uma geração em qualquer espécie é muito maior do que aquela necessária para que o efetivo numérico da população permaneça estável ou até mesmo para que tenha um crescimento moderado. Desta forma, não é necessário que todos os indivíduos de uma geração sobrevivam até a fase adulta e deixem filhos para a geração seguinte. Apenas os indivíduos mais adaptados sobrevivem e, quanto mais adaptados, mais filhos conseguirão deixar para a geração seguinte. Foi baseado neste princípio que Darwin estabeleceu sua teoria da evolução, mesmo sem ter nenhum conhecimento das formas de herança.

Darwin definiu a seleção como sendo diferenças em taxas de sobrevivência e reprodução entre os indivíduos. A seleção irá se refletir na quantidade de filhos deixados por cada indivíduo nascido em uma geração para a geração seguinte. Pode-se medir a adaptação dos indivíduos pela quantidade de filhos deixados para a geração seguinte. Em relação aos outros indivíduos.

Desta forma, em termos de genética e evolução considerar-se que cada indivíduo nascido em uma geração deixa uma proporção diferente de filhos para a geração seguinte. Se existirem genes associados à adaptabilidade dos indivíduos, ou seja, alelos que determinem aos seus portadores maior chance de deixar mais filhos para a geração seguinte, estes alelos deverão passar para a geração seguinte em uma frequência maior que seus pares. E desta forma, o efeito da seleção natural é mudar as frequências dos genes na população.

Na seleção artificial busca-se associar maior adaptabilidade aos indivíduos portadores de alelos cuja frequência se deseja aumentar. Embora naturalmente tais alelos não conferissem maior adaptabilidade aos indivíduos, o homem interfere no processo e garante aos portadores dos alelos desejáveis a possibilidade de deixar mais filhos para a geração seguinte. Assim, o efeito esperado da seleção artificial é aumentar a frequência dos alelos desejáveis na população, que no caso dos animais domésticos é o rebanho sob seleção.

A seleção artificial é o método mais importante de melhoramento dos animais domésticos. A modificação conseguida por seleção nas frequências alélicas de uma população é estável, e assim os ganhos conseguidos por meio da seleção são permanentes e cumulativos. A seleção é praticada desde a domesticação de cada espécie. Estudos arqueológicos, realizados para determinar a época de domesticação das diferentes espécies animais, utilizam como critério para determinar as datas de início do processo de domesticação, as mudanças observadas na estrutura dos animais como resultado da seleção praticada pelo homem.

A seleção artificial é efetuada escolhendo-se os animais que deverão ser os pais da próxima geração. O que se procura é utilizar na reprodução os animais portadores dos alelos desejáveis e ou eliminar aqueles

com alelos indesejáveis. No caso de algumas características de expressão qualitativa, tais como a presença ou ausência de chifres ou a cor da pelagem, é possível saber como é o controle genético da característica e, para boa parte dos indivíduos, saber ou presumir os alelos que o animal está portando. Nestas situações é geralmente possível estimar as frequências alélicas e, praticada a seleção, monitorar as mudanças nestas frequências. Assim, por exemplo, em animais da raça holandesa, eliminando-se animais malhados de vermelho que porventura nasçam em um rebanho preto e branco, está-se diminuindo a frequência do alelo que determina esta cor no rebanho e assim, na próxima geração a chance de nascer animais malhados de vermelho é menor. O critério para a seleção dos animais é o seu fenótipo, entretanto, existe uma relação conhecida entre o fenótipo e o genótipo dos animais.

É importante observar que a frequência de uma alelo em uma determinada geração ou determinada safra é igual à sua frequência entre os animais efetivamente utilizados como reprodutores no rebanho. Ou seja, selecionando-se os reprodutores que serão utilizados em uma geração, determina-se as frequências na geração subsequente (a rigor, deve-se considerar também as taxas reprodutivas e a variação ao acaso). Assim, se todos os animais escolhidos para reprodutores de uma determinada safra têm chifres, a frequência do alelo (dominante), que determina a ausência de chifres entre os bezerros produzidos naquela geração, será zero.

Por outro lado, para a maioria das características de importância econômica dos animais domésticos que são características métricas ou quantitativas, não é possível conhecer os genes, nem mesmo saber quantos loci estão envolvidos em sua determinação. Portanto, não é possível estimar as frequências alélicas e monitorar as mudanças em termos destes parâmetros. Sabe-se que estas características são determinadas por uma combinação de efeitos genéticos e de ambiente.

### ***Seleção em características quantitativas.***

Embora o efeito da seleção sobre as características quantitativas também seja a mudança nas frequências alélicas, neste caso toda a seleção e o monitoramento do processo tem que ser feito com base nas mudanças que serão observadas no fenótipo dos animais. Para estas características supõe-se que sejam controladas por muitos genes em loci diferentes e que estes genes têm pequenos efeitos sobre a característica. Embora a teoria envolvida no processo tenha suporte para envolver as diversas complicações resultantes da interação entre os efeitos dos genes e destes com o ambiente, a idéia básica envolvendo a seleção de características quantitativas pode ser simplificada conforme segue.

Pode-se pensar que estas características são controladas por muitos genes localizados em loci diferentes. Para cada um destes locus existe sempre um par de alelos codominantes, sendo que um deles tem efeito positivo e outro tem efeito negativo sobre a característica. Assim, em cada loci destes existem sempre três genótipos possíveis para cada animal: (+/+); (+/-) e (-/-). Supõe-se ainda que o efeito de cada alelo sobre a característica seja pequeno e que estes efeitos se somem, de tal forma que o valor fenotípico do animal seja determinado pela soma dos efeitos de todos os alelos positivos e negativos e mais o efeito do ambiente. Cada

alelo (+) que este indivíduo tiver em seu genótipo, independente do loci em que se encontra, determinará um pequeno aumento na característica. Cada alelo (-) determinará uma pequena redução. Portanto, quanto mais alelos (+) existirem nos genótipos dos indivíduos de uma população maior será a média desta população.

O efeito da seleção em características quantitativas é aumentar a frequência dos alelos (+) nos rebanhos (pode ser aumentar a frequência do alelo (-) se o objetivo for diminuir o valor da característica). Se o efeito do ambiente sobre uma característica for muito pequeno, o valor fenotípico do indivíduo é praticamente determinado pelo número de alelos (+) e (-) presentes em seu genótipo. A soma de todos os efeitos de todos os alelos (+) e (-) no genótipo do indivíduo recebe o nome de *valor genético*. Este valor somado ao efeito de ambiente determina o valor fenotípico (ou valor observado) do indivíduo. Nestes casos, em que o efeito do ambiente é pequeno, ao selecionar-se indivíduos com maior valor fenotípico (e.g. maior peso) selecionaríamos também os indivíduos com maior valor genético, ou seja, maior quantidade de alelos (+) e portanto aumentaríamos a frequência destes alelos no rebanho e assim, por consequência aumentaríamos a média do rebanho para esta característica.

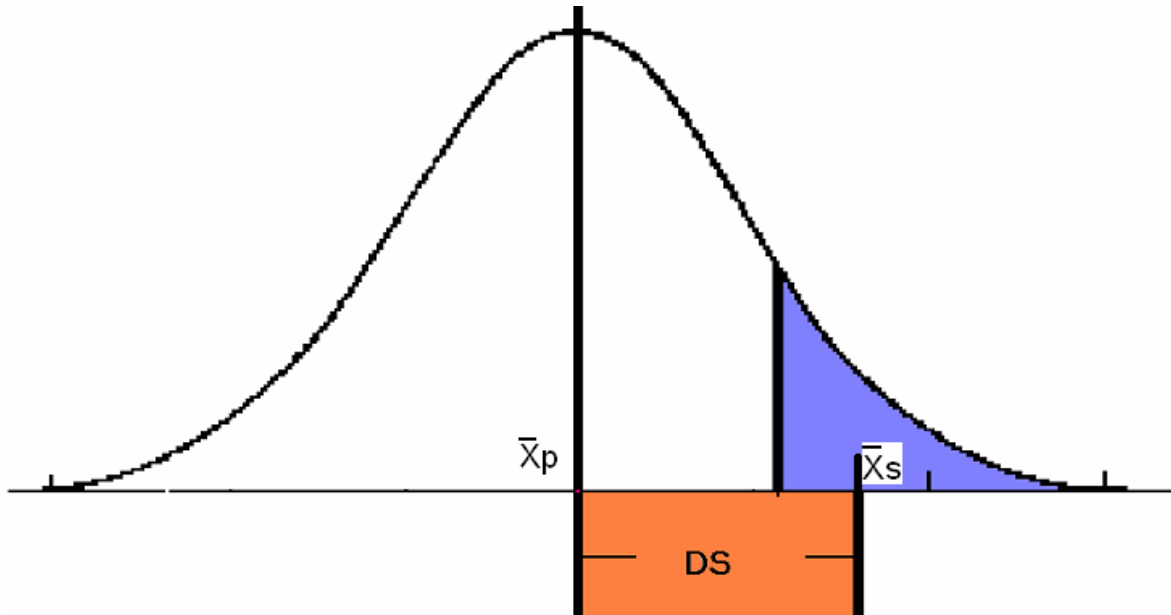
Resumindo-se, a quantidade de alelos (+) no genótipo de um animal determina, juntamente com o ambiente, seu valor fenotípico. Escolhendo-se os animais com maior valor fenotípico para a característica, seleciona-se aqueles com mais alelos (+). A geração seguinte terá maior frequência de alelos (+) e assim terá também maior valor fenotípico para a característica, se o ambiente permanecer constante.

Nos casos em que o efeito de ambiente é maior, fica mais difícil de se enxergar o valor genético de um indivíduo a partir de seu valor fenotípico. Mas de qualquer forma, selecionado-se os indivíduos com base em seu próprio fenótipo ou utilizando-se alguma outra fonte de informação para tentar quantificar o valor genético do indivíduo o objetivo sempre é aumentar a frequência dos alelos (+) e com isto aumentar a média da população.

Assim, o efeito observável da seleção é a mudança na média fenotípica do rebanho, o que é chamado de ganho genético ou resposta à seleção. Define-se *Resposta à Seleção* ou *Ganho Genético* como a diferença entre a média dos filhos dos animais selecionados e a média do rebanho na geração paterna.

O tipo de seleção normalmente praticado em rebanhos de corte é chamado de seleção por truncamento. Baseado na necessidade de reprodutores (machos e fêmeas) para reposição no rebanho, estabelece-se o número de indivíduos que deverão ser selecionados a cada geração e então são escolhidos, entre todos os animais disponíveis, aqueles de maior valor fenotípico (e.g. maior peso). Na Figura 1 uma curva normal representa a distribuição dos valores fenotípicos. A região em azul na parte direita do gráfico representa os indivíduos selecionados. A diferença entre a média dos indivíduos selecionados ( $X_s$ ) e a média do rebanho antes da seleção ( $X_p$ ) é chamada de *Diferencial de Seleção* (DS) e indica desta forma, a superioridade fenotípica dos indivíduos selecionados (e.g. quantos quilos os indivíduos selecionados pesam a mais que a média dos animais nascidos naquela geração):

$$DS = \bar{X}_S - \bar{X}_P$$

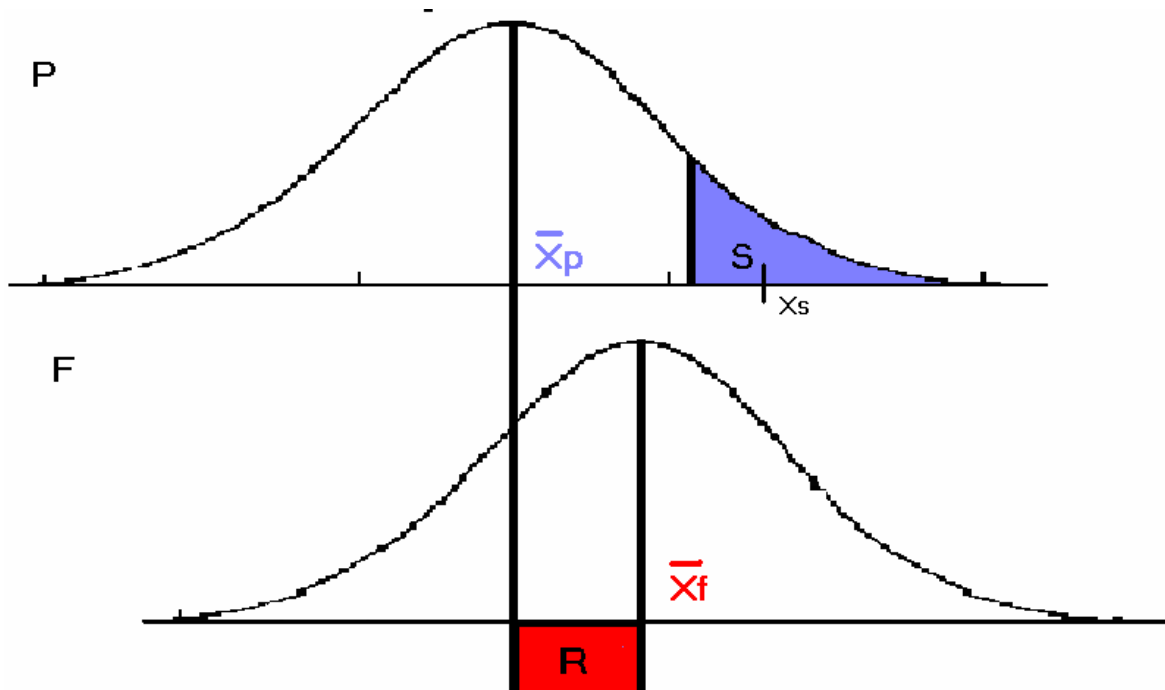


**Figura 1** – Distribuição de uma característica hipotética, assinalando a média do rebanho ( $\bar{X}_P$ ); a média dos animais selecionados ( $\bar{X}_S$ ); e o diferencial de seleção (DS).

Na Figura 2 estão representadas as distribuições dos valores fenotípicos de uma população sob seleção. Na parte superior está representada a geração paterna (P) e na parte inferior a geração seguinte (F). A média da geração P é  $\bar{X}_P$  e a média de toda a geração. A área em azul na curva representa os indivíduos selecionados como pais para a próxima geração e  $\bar{X}_S$  representa a média destes indivíduos selecionados. Na geração F a média dos indivíduos da geração seguinte é  $\bar{X}_F$ ; e na faixa vermelha, R representa a diferença entre as médias da geração P e da geração F, ou seja, o ganho genético ou resposta à seleção efetuada.

$$R = \bar{X}_F - \bar{X}_P$$

**Figura 2** – Distribuição de uma característica hipotética em duas gerações, paterna (P) e filial (F), de um rebanho sob seleção, assinalando a média da geração paterna ( $\bar{X}_p$ ); a média dos indivíduos selecionados ( $X_s$ ); a média da geração F ( $\bar{X}_f$ ) e a resposta à seleção (R).



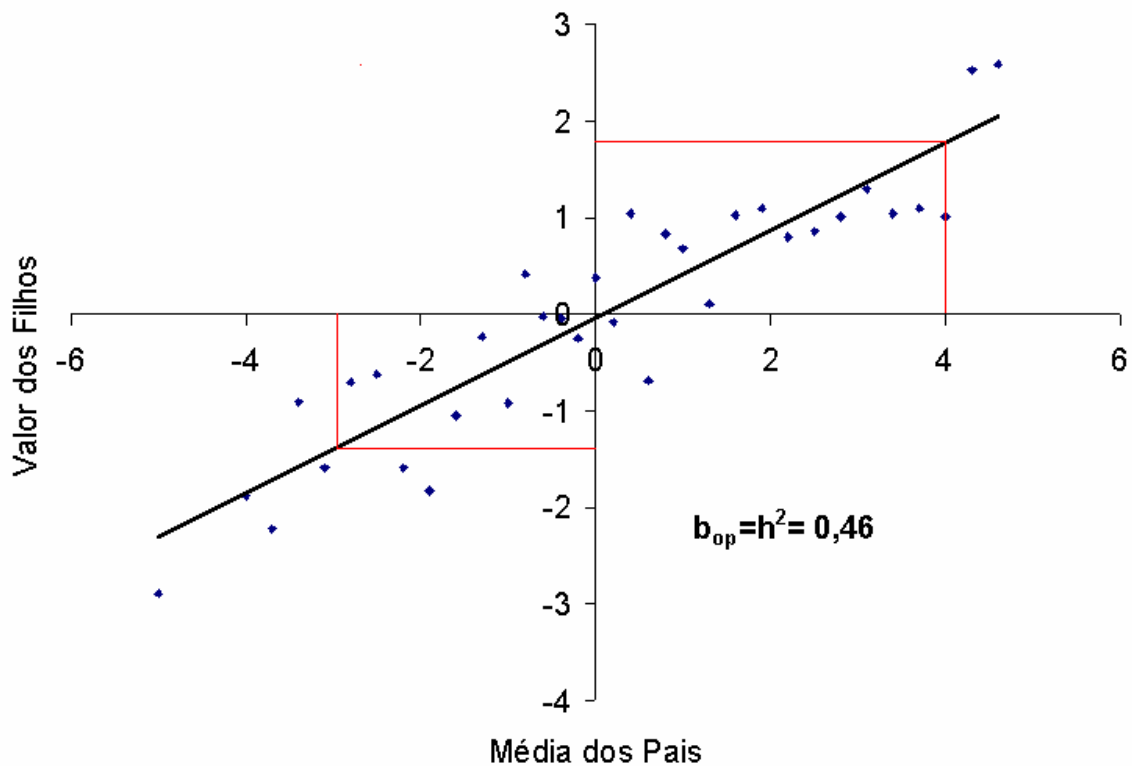
Observa-se ainda na Figura 2 que a média da geração F é intermediária entre a média dos indivíduos selecionados e a média da geração P, ou seja R é menor que DS. Se não houvesse efeito de ambiente sobre a característica selecionada, a média da geração F deveria ser igual à média dos indivíduos selecionados ( $X_f = X_s$ ), uma vez que as freqüências alélicas, e conseqüentemente o valor genético, da geração F são iguais às freqüências alélicas nos pais. Entretanto, como sempre existe efeito de ambiente sobre estas características, os animais com maior valor fenotípico não vão ser exatamente os animais com maior valor genético. E quanto maior o efeito de ambiente menor será esta coincidência.

Ao se considerar um rebanho e, para fins de simplificação, dividi-lo em um grupo de valor alto fenotípico (e.g. um desvio padrão acima da média); um grupo de baixo valor fenotípico (e.g. um desvio padrão abaixo da média) e um grupo intermediário, então no grupo de alto valor deverão ficar os indivíduos com valor genético alto, mas também estarão aqueles nos quais o ambiente influenciou mais favoravelmente. No grupo intermediário existirão animais com valor genético alto, mas para os quais o ambiente influenciou de maneira menos favorável e outros de baixo valor genético, mas que o ambiente influenciou de maneira favorável e, no grupo de baixo valor estarão aqueles de baixo valor genético e aqueles para os quais o ambiente foi desfavorável. Ao selecionar-se animais de valor fenotípico alto, seleciona-se também aqueles

para os quais o ambiente foi favorável e, como o ambiente não será passado para a progênie, a aparente superioridade dos animais selecionados não será realizada na progênie. Quanto mais o ambiente influencia a característica mais importante ele será na determinação do valor fenotípico do animal e assim, menor será a chance de que os animais selecionados com base em seu fenótipo sejam superiores em valor genético. Assim quanto maior o efeito do ambiente mais a média dos filhos dos animais selecionados se aproximam da média da geração anterior.

O parâmetro que quantifica a participação do ambiente na determinação de uma característica é a *herdabilidade*. Ela é obtida pela relação entre a variação dos valores genéticos e a variação total observada na característica e pode ser como a regressão da média do valor fenotípico dos filhos no valor fenotípico dos pais.

A Figura 3 traz a representação gráfica desta regressão para uma característica hipotética com herdabilidade de 0,46. Os valores fenotípicos (e.g. peso ao nascer) são apresentados como desvios em relação à média. No eixo vertical estão os valores fenotípicos dos filhos e no eixo horizontal o valor dos pais. A reta que corta o gráfico representa a linha de regressão cuja inclinação é determinada pela herdabilidade. Quanto maior a herdabilidade da característica mais inclinada será curva, e portanto, mais próximo da média dos pais será o valor dos filhos. Na situação apresentada (herdabilidade de 0,46) a média dos filhos será um pouco menos da metade da média dos pais. Por exemplo, a linha vermelha partindo do eixo horizontal (média dos pais de 4 unidades) encontra a linha da regressão no ponto que corresponde no eixo vertical a um valor um pouco menor que 2,0 (1,84 unidades). Este seria o valor médio da progênie de pais cuja média é 4,0.



**Figura 3** – Regressão do valor dos filhos na média dos pais para uma característica com herdabilidade de 0,46. As linhas vermelhas representam projeções das médias dos filhos, a partir das médias dos pais.

Baseando-se nisto é possível prever o ganho genético por seleção depois de uma geração de seleção, fazendo-se a regressão do valor dos filhos na média dos indivíduos selecionados. Como o valor do coeficiente de regressão é dado pela herdabilidade, então a resposta à seleção ou ganho genético por geração será dada pelo produto do diferencial de seleção (DS) pela herdabilidade:

$$R = h^2 DS$$

Como são necessários menos touros do que vacas em um rebanho, e a disponibilidade de machos e fêmeas para seleção é igual, então o diferencial de seleção dos machos pode ser muito maior que o das fêmeas. Apesar do número ser diferente, os machos e as fêmeas contribuem cada um com a metade dos genes da geração seguinte, assim, o diferencial de seleção em uma dada geração é obtido como a média do diferencial de seleção dos machos (DS<sub>M</sub>) e das fêmeas (DS<sub>F</sub>):

$$DS = \frac{DS_M + DS_F}{2}$$

O diferencial de seleção efetivo de um rebanho só pode ser conhecido após terem sido selecionados os animais, entretanto, quando se está interessado em prever qual será o ganho genético antes que a seleção

tenha sido efetuada condições é possível utilizar um artifício para estimar o diferencial de seleção e o ganho genético. Supondo-se que a distribuição características quantitativas é normal, é possível prever a média dos indivíduos selecionados com base na média e desvio padrão da característica no rebanho e na proporção dos indivíduos selecionados. A proporção de indivíduos selecionados em cada sexo pode ser conhecida dividindo-se o número de indivíduos necessários para reprodução pelo número de indivíduos disponíveis para seleção. A partir da proporção de indivíduos selecionados é possível saber a quantos desvios padrão da média da população estará a média dos indivíduos selecionados. Este valor, é conhecido como *intensidade de seleção* (i), está disponível em tabelas publicadas.

$$i = \frac{DS}{\sigma_p} \Leftrightarrow DS = i\sigma_p$$

Como a intensidade de seleção nos machos e fêmeas é diferente, então é possível obter o diferencial de seleção a partir da intensidade nos machos ( $i_M$ ) e fêmeas ( $i_F$ ) como:

$$i = \frac{i_m + i_f}{2} \Rightarrow DS = \frac{i_m + i_f}{2} \sigma_p$$

A Tabela 1 apresenta o valor da intensidade de seleção (i) para alguns valores de frações selecionadas dados em porcentagem (fs%). Quanto menor a fração selecionada maior é o valor de i. Assim, quanto menos reprodutores são necessários, para uma mesma quantidade de animais disponíveis para seleção, maior será a intensidade de seleção, maior o diferencial de seleção e maior o ganho genético.

**Tabela 1** - Valores de intensidade de seleção (i) em função da fração selecionada(fs%).

fs (%)	i	fs (%)	i
90	0,20	20	1,40
80	0,35	10	1,76
70	0,50	5	2,06
60	0,65	4	2,15
50	0,80	3	2,27
40	0,97	2	2,42
30	1,16	1	2,67

Embora o ganho genético por geração seja importante, o ganho por unidade de tempo é mais importante por informar a velocidade com que a mudança genética é alcançada. O ganho por unidade de tempo é calculado como ganho por geração dividido pelo tempo de uma geração. Este tempo é conhecido

como *Intervalo de Gerações* (IG) e pode ser definido como a idade média dos pais quando nascem os filhos. Como o tempo de permanência dos machos e fêmeas no rebanho é também diferente e a contribuição igual, o intervalo de gerações é também a média do intervalo de machos e fêmeas:

$$IG = \frac{IG_m + IG_f}{2}$$

Assim, o ganho genético anual pode ser obtido por:

$$\frac{R}{ano} = \frac{(i_m + i_f) \sigma_p h^2}{IG_m + IG_f}$$

Uma vez que a herdabilidade é a divisão da variação genética aditiva pela variação fenotípica, a fórmula do ganho genético pode também ser expressa como:

$$\frac{R}{ano} = \frac{(i_m + i_f) \sigma_A h}{IG_m + IG_f}$$

Considerando que a raiz quadrada da herdabilidade (h) representa a correlação entre o valor genético e o valor fenotípico e portanto representa o acerto ao selecionar os reprodutores com base em seu valor fenotípico; e que o desvio padrão genético aditivo ( $\sigma_A$ ) representa a variação genética, pode-se escrever que a resposta anual à seleção (R/ano) é diretamente proporcional à intensidade de seleção, à variação genética, e à exatidão da seleção; e inversamente proporcional ao intervalo de gerações.

Assim, os fatores que podem influir na velocidade de mudança do rebanho, ou seja, na resposta à seleção são:

1. Intensidade de Seleção
2. Variação Genética
3. Exatidão da Seleção
4. Intervalo de Gerações
5. Tamanho da população

A exploração destes fatores pode portanto permitir aumento na resposta à seleção. A aplicação de tecnologias que permitam aumentar a taxa reprodutiva de machos e/ou fêmeas, tais como a inseminação

artificial, superovulação e transferência de embriões e fecundação in vitro, pode permitir uma redução na quantidade de reprodutores necessários para reprodução e assim reduzir a proporção de indivíduos selecionados e aumentar a intensidade seletiva. A consequência negativa da aplicação destas tecnologias é a redução do tamanho efetivo da população que pode trazer consigo o aumento da consangüinidade, e assim reduzir parte do ganho genético conseguido pela seleção e o aumento da variação na resposta à seleção.

Uma outra maneira de aumentar a intensidade de seleção é reduzir a taxa de reposição no rebanho. Por exemplo, ao invés de substituir os reprodutores machos depois de dois anos, substituí-los a cada três ou quatro anos. Desta forma, a quantidade de reprodutores necessários para substituir os machos descartados a cada ano é menor e, como o número de machos nascidos a cada ano é igual, a proporção selecionada diminui e a intensidade de seleção aumenta. Por outro lado, o aumento no tempo de permanência dos machos no rebanho aumenta também o intervalo de gerações e com isto reduz-se a resposta à seleção. Para cada situação existe um ponto de equilíbrio no qual a resposta será máxima.

Na Tabela 2, está apresentado para um exemplo em bovinos de corte, a resposta anual à seleção em função da variação no tempo de permanência dos touros no rebanho. Verifica-se que a medida que aumenta o tempos de permanência aumenta a intensidade de seleção nos machos ( $i_m$ ), mas aumenta também o intervalo de gerações (IG) e a maior resposta à seleção é dada quando os machos permanecem no rebanho por 2 ou 3 anos.

A variação genética da população, embora possa ser alterada pelo uso de sistemas de acasalamentos planejados, não pode ser conseguida a curto prazo sem a introdução de reprodutores de outras raças ou linhagens. Este fator dificilmente poderá ser utilizado para aumento da resposta à seleção em curto prazo.

**Tabela 2** – Intensidade de seleção nos machos ( $i_m$ ); intervalo de gerações para os machos ( $IG_m$ ) e total (IG) e reposta anual à seleção (R/ano) em função do número de anos de permanência dos machos no rebanho (N Anos) (extraída de Pereira 1999).

N Anos	$i_m$	$IG_m$	IG	R/ano (kg)
1	1,76	3,0	4,00	2,86
2	2,06	3,5	4,25	3,03
3	2,23	4,0	4,50	3,03
4	2,35	4,5	4,75	2,98

A exatidão da seleção pode ser aumentada de duas maneiras. A primeira é pelo aumento da herdabilidade, o que pode ser conseguido pela redução na variação que o ambiente causa na característica selecionada. E a outra é pela utilização de informações de outros indivíduos ou de outras características para prever o valor genético do indivíduo.

A redução na variação que o ambiente pode causar em uma característica como o peso à desmama em gado de corte pode ser conseguida pela padronização do ambiente ou utilizando-se de métodos estatísticos para padronização dos dados. Por exemplo, quando o peso à desmama é ajustado para uma idade padrão (e.g.

210 dia), elimina-se uma parte da variação que a idade de desmama está causando sobre a característica. A herdabilidade do peso ajustado à desmama é maior que a do peso real à desmama quando a idade é ignorada. As análises utilizadas para obtenção dos valores genéticos incluem diversos efeitos de ambiente no sentido de minimizar as diferenças que ele causa sobre as características. A utilização de manejo semelhante e uma estação de nascimento concentrada em alguns meses são exemplos de controles físicos do ambiente. Também um maior rigor na coleta dos dados de campo e no armazenamento e processamento destes, pode reduzir erros e aumentar a herdabilidade das características.

A utilização de informações de indivíduos que têm genes em comum com o indivíduo analisado é outra forma importante de aumentar a exatidão da seleção. Características de herdabilidade mais baixa podem ter um aumento muito significativo na resposta à seleção quando informações de parentes são utilizadas para prever o valor genético. Estas informações também são extremamente importantes no caso de características que se expressam tardiamente na vida do animal, naquelas para as quais os animais precisam ser abatidos para que possam ser medidas, e naquelas que são observadas apenas em um dos sexos.

#### **Bibliografia Consultada.**

- BLASCO, A. The Bayesian controversy in animal breeding. *Journal of Animal Science* , v. 79, p. 2023 – 2046, 2001.
- BOURDON, R.M., 1997 - Understanding Animal Breeding. Prentice Hall, NJ, 523p.;
- FALCONER, D. S. Introduction to quantitative genetics. New York: Longman, 1990. 438p. London.
- LÔBO, R. B. *Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore*. Ribeirão Preto, SP, P.M.G.R.N. 1996. 104p.
- NICHOLAS, F.W. 1996. Introduction to veterinary genetics. Oxford University Press.
- PEREIRA, J.C.C., 1999 - Melhoramento Genético Aplicado à Produção Animal. FEP - MVZ Editora, Belo Horizonte, MG. 496p.;
- PIRCHNER, F., 1987 - Population Genetics in Animal Breeding. W.H. Freeman and. Company, New York. 532p.
- VAN VLECK, L.D., 1993 - Selection Index and Introduction to Mixed Models Methods. CRC Press, Boca Raton, FL. 481p.
- VAN VLECK, L.D.; POLLACK, E.J. and OLTENACU, E.\*B., 1987 - Genetics for the Animal Sciences. W.H. Freeman and. Company, New York. 391p.