

RECURSOS GENÉTICOS E ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO

Antonio do Nascimento Rosa
Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes
Andréa Alves do Egito

INTRODUÇÃO: A EQUAÇÃO BÁSICA DO MELHORAMENTO ANIMAL

O objetivo do melhoramento genético, de um modo geral, é alcançar melhores níveis de produção, produtividade e/ou qualidade do produto em sintonia com o sistema de produção e as exigências do mercado. Para o alcance deste objetivo, várias características expressas pelos animais precisam ser monitoradas. Adaptabilidade, eficiência reprodutiva, viabilidade, pesos corporais, taxas de crescimento, qualidade da carcaça e da carne são alguns exemplos.

A expressão observável ou mensurável destas características, conhecida por **fenótipo** (P), no entanto, é um resultado que depende do **genótipo** do animal (G), para o qual pai e mãe contribuem igualmente, no momento da fecundação; do **ambiente** (E) no qual ele é criado e da **interação genótipo x ambiente** (GxE), que representa as expressões dos genótipos quando expostos a diferentes condições ambientais. Estas relações consideradas conjuntamente podem ser expressas como:

$$P = G + E + GxE$$

O ambiente envolve todos os fatores não genéticos que contribuem, positiva ou negativamente, para a expressão fenotípica. De um ponto de vista restrito, inclui os efeitos

proporcionados pelo próprio criador, diretamente, aos animais ou ao sistema produtivo. Cuidados com a saúde, alimentação, manejo (dos solos, das pastagens e dos animais) e até as tomadas de decisão de administração do negócio são alguns exemplos. De uma forma mais ampla, o ambiente envolve aspectos sobre os quais o homem dificilmente tem poder de controle a não ser em raras situações, mas à custa de elevados investimentos. Nesta visão, existem variáveis como temperatura, radiação solar, precipitação pluviométrica e altitude. Com relação a este aspecto, a escolha, pura e simples, de animais adaptados às condições ambientais da propriedade pode ser o primeiro passo em direção ao sucesso do empreendimento. Esta decisão proporciona, por um lado, o contorno dos efeitos negativos da interação sobre genótipos de adaptação mais ampla, com redução dos custos de produção; por outro, ela capitaliza os efeitos positivos da interação, para genótipos de adaptação específica a determinados ambientes, contribuindo para o aumento da produtividade dos animais.

Escolhida a raça ou sistema de cruzamento, a primeira providência em busca da eficiência econômica do empreendimento consiste em proporcionar a todos os animais as melhores condições de criação. A partir deste ponto ficará mais fácil ao criador, com suporte de um programa de melhoramento, identificar os animais geneticamente superiores para as características de interesse. Estes animais, sendo usados de maneira diferenciada na reprodução, contribuirão para o aumento do desempenho médio do rebanho. Ao contrário da melhoria das condições ambientais, que são transitórias, ressalta-se que os ganhos genéticos são permanentes, pois passam de geração a geração.

COMPONENTE ANIMAL

Processo evolutivo

Milhares de anos antes da domesticação, ainda na Idade da Pedra, caçadores da Europa e do norte da África perseguiam um gado selvagem, denominado *urus* ou *auroch* (*Bos primigenius*). A partir de sua região de origem, do norte da Índia até os desertos da Arábia, este gado migrou para outras partes do globo ao longo da última era glacial (250 mil a 13 mil anos antes de Cristo). Desta forma, do ancestral original foram formadas duas subespécies principais: *Bos primigenius primigenius*, que deu origem ao gado europeu, da subespécie *Bos taurus taurus*, sem cupim; e *Bos primigenius namadicus*, que formou o gado indiano ou zebu, de cupim localizado na altura da cernelha, da espécie *Bos taurus indicus*.

Outras forças evolutivas atuaram, concomitantemente, ao processo de migração. Encontrando ambientes hostis, em relação ao original, indivíduos não adaptados foram eliminados pela seleção natural. Por outro lado, em consequência do isolamento geográfico e da formação de pequenas populações, os acasalamentos passaram a ser mais consanguíneos, formando-se linhagens evolutivas divergentes. Finalmente, após a domesticação, ocorrida por volta de 10.000 anos antes de Cristo, o homem passou a interferir diretamente no processo evolutivo pela escolha deliberada dos animais a serem utilizados na reprodução.

Registro extraordinário da percepção humana sobre a herança dos caracteres se encontra na Bíblia Sagrada, quando Jacó propõe o seu salário para apascentar os rebanhos de Labão: *...separa do rebanho todo animal negro entre os cordeiros e o que é malhado ou*

salpicado entre as cabras... (Genesis, 30, 32, Bíblia de Jerusalém, Paulus, 2010). Cerca de 3.800 anos se passaram até que a ciência comprovou estar no **DNA - ácido desoxirribonucleico**, molécula que se encontra no núcleo das células - os fatores determinantes da herança, cujos efeitos Jacó intuiu ocorrerem no momento da fecundação.

Processo básico da herança

O DNA é a unidade primária da herança, o material genético primário, principal componente dos **chromossomos**, estruturas que podem ser observadas aos pares (Figura 2.1a, b), durante as divisões celulares, na fase denominada metáfase. O DNA é formado por uma dupla fita de açúcar e fosfato contendo quatro bases nitrogenadas, os **nucleotídeos Adenina-A, Timina-T, Citosina-C e Guanina-G**, que são a porção variável da molécula. Os nucleotídeos estão pareados entre si, ligados por pontes de hidrogênio, em uma estrutura helicoidal e são sempre complementares, ou seja, **A sempre ligada a T e C a G**.

As diferentes combinações na sequência destas bases ao longo do DNA formam milhares de códigos de herança, os **genes** (sequências codificantes). Grande parte do cromossomo é composta por DNA não codificante e/ou repetitivo que pode dar origem a elementos que auxiliarão a expressão gênica. Anteriormente presumia-se que um gene dava origem a uma proteína, mas sabe-se atualmente que podem existir diferentes padrões de leitura da mesma sequência dando origem a inúmeros produtos diferentes. O número de cromossomos varia com a espécie sendo os bovinos detentores de 30 pares com aproximadamente 22 mil genes.

A partir da observação do esquema apresentado nas Figuras 2.1b e 2.2 podem ser compreendidos alguns termos e conceitos mais importantes. Denominam-se **alelos** as formas alternativas de um mesmo gene, situadas em um mesmo **loco**, ou seja, em uma mesma região de um par de cromossomos homólogos. Os alelos são responsáveis pelos diferentes fenótipos de uma dada característica.

Na estrutura pareada (cromossomos homólogos) verificam-se algumas das principais interações gênicas que podem ocorrer no mesmo loco e/ou entre locos diferentes. No primeiro caso, a principal delas é a **dominância**, condição na qual o efeito de um dos alelos se manifesta fenotipicamente, independentemente da natureza do outro membro do mesmo par. Na raça Angus, a cor preta da pelagem é **dominante** sobre a vermelha. Assim, neste exemplo, o alelo *P* associado à cor preta é dominante sobre *p*. Nesta situação diz-se que *p* é **recessivo**, ou seja, o efeito do alelo *p*, isoladamente, não é observável quando o outro membro do par é dominante. Nesta condição, o conjunto dos alelos deste loco, conhecido por **genótipo**, se encontra em **heterozigose** (*P//p*). A cor vermelha somente apareceria caso o outro alelo fosse também *p*, quando o genótipo *p//p* estaria em **homozigose**.

Na dominância completa, o homozigoto dominante e o heterozigoto apresentam, exatamente, o mesmo fenótipo, como ocorre no caso da pelagem preta em Angus (*P//P* e *P//p*, respectivamente). Outro tipo de interação gênica que pode ocorrer no mesmo loco é a **codominância**. Nesta condição, ambos os alelos afetam, em maior ou menor grau, o fenótipo. A herança da cor da pelagem na raça Shorthorn é um exemplo clássico de codominância. Nesta raça o homozigoto dominante (*V*) manifesta a pelagem vermelha, o recessivo (*v*), a pelagem branca e o heterozigoto (*Vv*), a pelagem ruão (mescla de vermelho e branco).

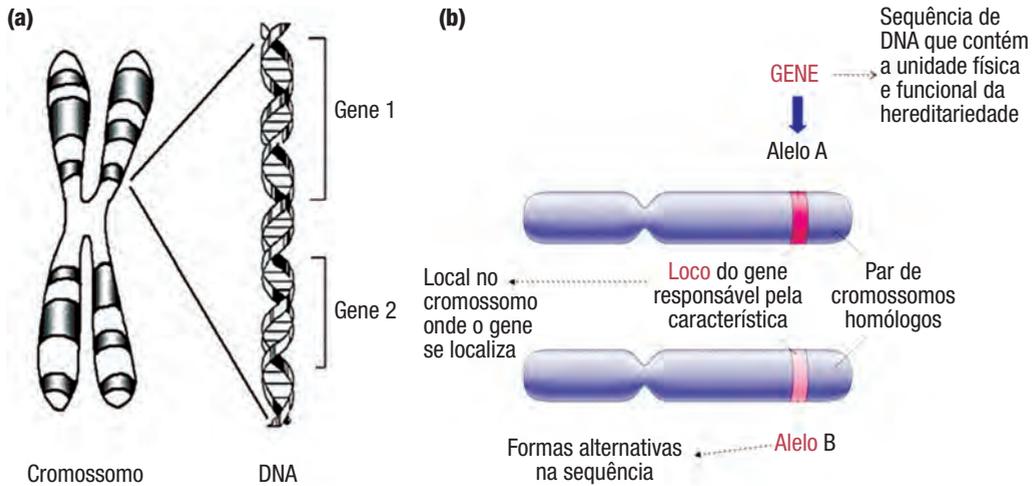


FIGURA 2.1. (a) Cromossomo: unidade de armazenamento dos genes (<http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/genes.php>, acesso em 18/02/2013); (b) esquema conceitual: gene e alelos (adaptado de: http://www.tokre-source.org/tok_classes/biobiobio/biomenu/theoretical_genetics/index.htm, acesso em 18/02/2013).

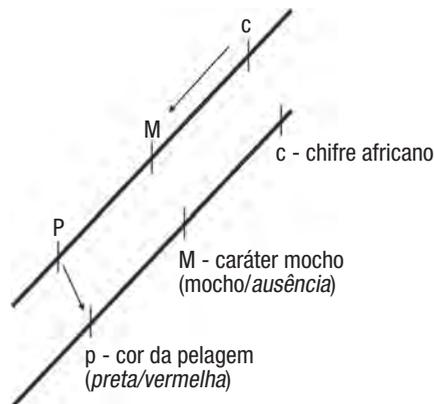


FIGURA 2.2. Interações gênicas no mesmo loco e entre locos diferentes

Ao se considerar um gene, especificamente, denomina-se **efeito aditivo** o efeito deste gene que resulta em uma mudança fenotípica definida, enquanto a soma dos efeitos aditivos de todo o conjunto de genes, conhecido por genoma, constitui o **valor genético** do indivíduo.

Entre locos diferentes as interações mais importantes são a **epistasia** e a **pleiotropia**. A epistasia ocorre quando o alelo de um gene inibe a expressão de outro gene. No exemplo apresentado para fins didáticos (Figura 2.2), o gene responsável pela herança do caráter mocho se manifesta, quando o gene do chifre africano se encontrar em homozigose recessiva, ou seja, na presença de dois alelos “c”. Caso o alelo “C” estivesse presente, o mesmo apresentaria um efeito epistático sobre o gene mocho, inibindo o seu efeito, e o animal teria chifres. Pleiotropia é o fenômeno pelo qual um gene atua

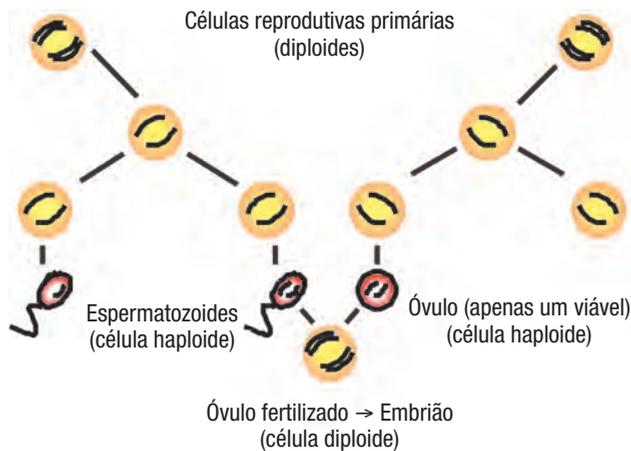


FIGURA 2.3. Produção de células reprodutivas e fertilização – exemplo com dois pares de cromossomos.

na expressão não de uma apenas, mas de duas ou mais características, sendo a base para a compreensão dos efeitos relacionados às **correlações genéticas** que podem ser positivas ou negativas.

Enquanto aos pares, pode ainda ocorrer troca de material genético de um cromossomo para outro, cópias de segmentos para outra posição no mesmo ou em outro cromossomo, quebras ou perdas de parte do cromossomo e, inclusive, mutação, fonte natural de novos alelos. Por outro lado, na formação das **células gaméticas** (espermatozoide e óvulo), as células originais com número duplo ou diploide ($2n$) de cromossomos sofrem uma redução (meiose), ficando apenas com a metade (número haploide, n ; Figura 2.3). Assim, genótipos homozigotos produzirão apenas um tipo de gameta enquanto os heterozigotos, dois.

No momento da fecundação, cada um dos pais contribui com a metade do número total de alelos, restabelecendo-se, no novo indivíduo, o número duplo de cromossomos próprio das espécies diploides, como são os bovinos. As interações gênicas originais verificadas nas células reprodutivas primárias de cada um deles, no entanto, se perdem. Podem ou não ser recuperadas no embrião, na dependência do grau de proximidade ou distância genética entre eles.

O processo de casualização na formação das células reprodutivas (**segregação**) e a troca de sequências homólogas dos cromossomos (**recombinação**), no momento da formação dos gametas e da fertilização, juntamente com as demais forças evolutivas e eventos genéticos mencionados, constituem a base fundamental da grande variabilidade genética existente entre indivíduos dentro de uma população. Além destas forças naturais, a própria história das civilizações, com seus reflexos sobre objetivos da criação e métodos de seleção aplicados pelo criador, contribuíram e vêm contribuindo para a evolução da espécie. Desta forma se explica o grande número de raças disponíveis, atualmente. Marleen Felius, em seu genial livro *Genus bos: cattle breeds of the world* (Felius, 1985), descreve de maneira singular os grupos raciais de maior importância econômica de acordo com este processo evolutivo, resumo do qual é ilustrado na Figura 2.4.

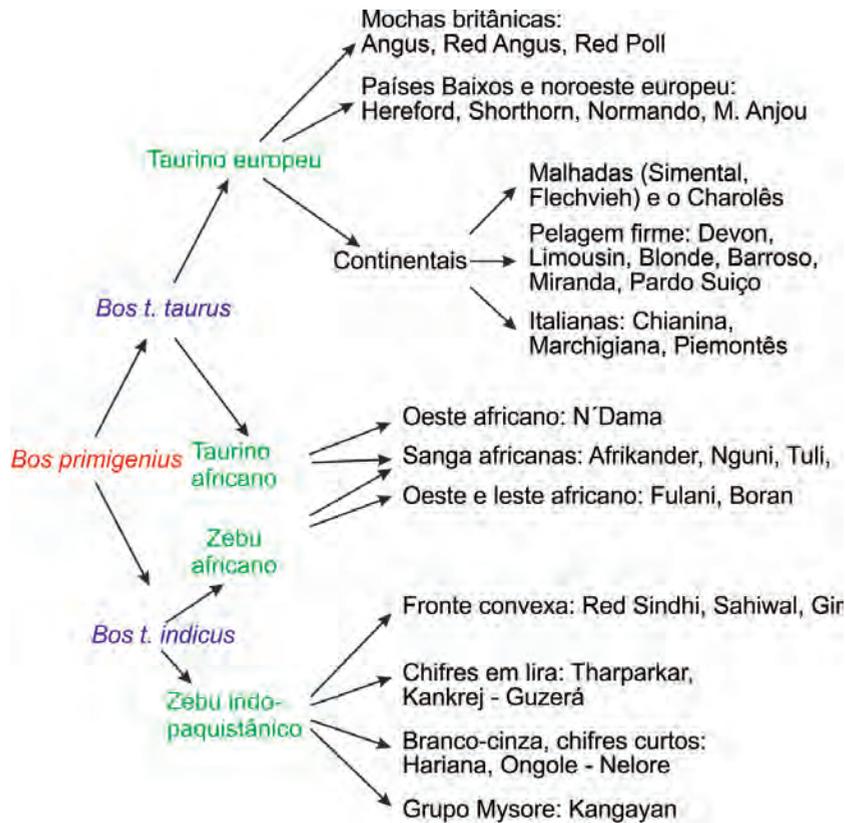


FIGURA 2.4. Processo evolutivo simplificado: do ancestral primitivo (*Bos primigenius*) às modernas raças bovinas originais *Bos taurus taurus* e *Bos taurus indicus* (Adaptado de Feliuss, 1985; Joshi & Phillips, 1953).

RAÇAS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA PARA O BRASIL

Raças mochas das ilhas britânicas

Incluindo Aberdeen Angus, Red Angus e Red Poll, este grupo é o de menor porte dentre as raças taurinas, com peso de abate ao redor de 420-450 kg. Animais destas raças apresentam excelentes características de fertilidade, precocidade sexual e de acabamento da carcaça com qualidade de carne reconhecida mundialmente, tendo em vista a maciez das fibras musculares e a suculência, devida à gordura entremeada nos músculos (marmoreio).

Em função destas características e de serem geneticamente mochas, condição interessante para sistemas de produção mais intensivos, estas raças foram difundidas amplamente pelo mundo, para serem criadas puras ou em cruzamentos comerciais e para a criação de novas raças. Brangus e Red Brangus foram formadas a partir de acasalamentos envolvendo as raças Aberdeen e Red Angus com Brahman, nos Estados Unidos, e com a raça Nelore, no Brasil. Animais Red Poll introduzidos no início do período colonial deram origem, no Brasil Central, à raça Mocha Nacional que teve influência na constituição das raças zebuínas mochas. Nas Ilhas Virgens do Caribe,

a raça Red Poll entrou na formação do Senepol, a partir de cruzamentos com a raça N'Dama, taurina do oeste africano.

Raças do continente europeu

Este é o grupo que envolve o maior número e a maior diversidade entre as raças taurinas. Salientam-se dois subgrupos principais: raças dos países baixos, do noroeste europeu e sudoeste da Inglaterra e as do interior do continente. As raças do primeiro subgrupo são de porte maior que o das mochas britânicas e menor que o das demais raças do interior do continente, com peso de abate em torno de 450 a 500 kg. Quando presentes, os chifres são curtos. Exemplos: Hereford, Shorthorn, Maine Anjou, Belgian Blue e Normando. Interessante observar que muitas das raças europeias leiteiras e de dupla aptidão pertencem evolutivamente a este grupo, dentre as quais: Ayrshire, Jersey, Guernsey, Holandês e Shorthorn Leiteiro.

No segundo subgrupo são incluídas as demais raças do continente europeu, desde a península ibérica, berço das raças fundadoras da pecuária no Brasil Colônia, até a Alemanha e Itália. São raças de elevado peso à maturidade, com abatimentos ocorrendo entre 500-610 kg. Quando presentes, os chifres são mais longos. A principal característica deste subgrupo é a presença de grandes massas musculares que lhes confere elevada produção de carne por animal.

Comparativamente às raças mochas britânicas, principalmente, e às do primeiro subgrupo acima descritas, são mais tardias, do ponto de vista sexual e de acabamento de carcaça apresentando ainda, em função do seu elevado tamanho adulto, maiores custos de manutenção. Exemplos: Barroso e Miranda, de Portugal; Retinta, da Espanha; Devon e South Devon, do sudoeste da Inglaterra; Limousin, Blonde d'Aquitaine, Charolês e Sallers, da França; Simental, Gelbvieh, Fleckvieh e Pardo Suíço Corte, da Suíça e Alemanha; e Chianina, Marchigiana e Piemontês, da Itália. Muitas destas raças apresentam também variedades mochas, tais como: Hereford, Shorthorn, Charolês e Simental.

De forma semelhante às mochas britânicas, raças deste grupo são também muito sensíveis aos efeitos do clima tropical e exigentes em termos nutricionais. Exceto em regiões de clima temperado ou em microclimas de áreas subtropicais de altitude, onde podem ser criadas puras, na maior parte das vezes elas são utilizadas em cruzamentos com raças zebuínas ou com raças taurinas adaptadas. Raças deste grupo contribuíram para a formação de diversas outras em todo o mundo, descritas a seguir no grupo das raças compostas.

Raças taurinas adaptadas

São raças formadas a partir do gado europeu, introduzido no novo mundo durante o período colonial, após longo processo de adaptação às condições tropicais e dos efeitos da seleção praticada pelos criadores. São também denominadas “crioulas” ou naturalizadas. Exemplos: Caracu, Curraleiro ou Pé-duro, Pantaneiro, Crioulo Lajeano e Mocha Nacional, no Brasil; Romosinuano, San Martinero, Costeño con Cuernos e Casanareño, dentre outras, na Colômbia; taurinas africanas (sem cupim), como N'Dama, e compostos taurinos como a raça Senepol, criada a partir de cruzamentos envolvendo as raças N'Dama e Red Poll. Além de adaptabilidade ao meio ambiente tropical, estas raças se destacam por elevados níveis de fertilidade, habilidade materna e maciez da carne, típica da subespécie *Bos taurus taurus*.

Raças zebuínas

Em função de terem evoluído em condições ambientais mais adversas e com histórico de seleção muito recente, as raças zebuínas apresentam índices produtivos mais baixos em relação às taurinas europeias. Em sua região de origem, Índia e Paquistão, o peso adulto destas raças varia de 350 a 450 kg, enquanto no Brasil, de um modo geral, os abates são feitos com pesos de 460 a 500 kg. Em relação aos taurinos, o gado zebu é considerado de tamanho médio a pequeno e é mais tardio sexualmente apresentando menos convexidade nas massas musculares, assim como maciez de carne mais variável. Por outro lado, tolera melhor calor, radiação solar, umidade, endo e ectoparasitas. Estas características de adaptabilidade constituem o grande trunfo das raças zebuínas para sistemas de produção em meio ambiente tropical.

Guzerá, Cangaian, Gir e Sindi são raças criadas no Brasil que apresentam biótipos semelhantes aos dos animais indianos que lhes deram origem, respectivamente, Kankrej, Kangayam, Gir e Red Sindhi. Por outro lado, a raça Nelore, em função de objetivos de seleção praticados no Brasil e da contribuição de outras raças zebuínas em sua formação inicial, é ligeiramente distinta da indiana Ongole, sua principal raça fundadora, em termos de tamanho adulto e conformação frigorífica. Novas raças zebuínas foram formadas no Brasil tais como: Indubrasil, Tabapuã, as variedades mochas Gir e Nelore e as leiteiras Gir, Guzerá e Nelore. Nos Estados Unidos da América foi formada a raça Brahman, composta zebuína sobre base taurina, a qual foi introduzida no Brasil a partir de 1994.

Adaptadas à criação em pastagens, em uma época em que o mercado mundial passa a valorizar criações em ambiente natural, livre de pesticidas, com baixos custos de produção e índices de produtividade crescentes, as raças zebuínas podem constituir excelentes alternativas para a pecuária em ambientes tropicais quer para a produção de carne ou leite.

Raças compostas

As raças compostas são formadas a partir de cruzamentos envolvendo duas ou mais raças das subespécies *Bos t. taurus* e/ou *Bos t. indicus*, com os objetivos de se agregar, nos produtos compostos, características de rusticidade e adaptabilidade, próprias do zebu, com produtividade e qualidade de produto, característicos do europeu. Após uma série de cruzamentos entre as raças fundadoras e seleção permanente em todas as etapas, passa-se à fase final de bi mestiçagem, ou seja, do cruzamento dos indivíduos mestiços entre si de modo a se fixar o padrão da nova raça.

O exemplo mais antigo e de estratégia de cruzamento mais tradicional para esta finalidade é o da raça Santa Gertrudis ($5/8$ Shorthorn \times $3/8$ Brahman), formada no estado do Texas, a partir de 1910, com similar no Brasil (Shorthorn \times Nelore). Outros compostos são: Belmont Red ($1/2$ Afrikander \times $1/4$ Shorthorn \times $1/4$ Brahman), Blonel ($5/8$ Blonde \times $3/8$ Nelore), Bosnmara ($5/8$ Africander \times $3/16$ Hereford \times $3/16$ Shorthorn), Braford ($5/8$ Hereford ou Poll Hereford \times $3/8$ Brahman ou Nelore), Brangus e Red Brangus ($5/8$ Aberdeen Angus ou Red Angus \times $3/8$ Brahman ou Nelore), Charbrey ou Canchim ($5/8$ Charolês \times $3/8$ Brahman ou zebu, predominantemente Nelore), Lavínia ($5/8$ Pardo Suíço \times $3/8$ Guzerá), Santa Cruz ($5/8$ Gelbvieh \times $3/8$ Brahman ou Nelore), Senepol (composto taurino N'Dama \times Red Poll, também considerada uma raça taurina adaptada),

Simbrah ou Simbrasil (5/8 Simental \times 3/8 Brahman ou Nelore), Pitangueiras (5/8 Red Poll \times 3/8 Zebu, predominantemente Guzerá) e Purunã (1/4 Charolês \times 1/4 Caracu \times 1/4 Aberdeen Angus \times 1/4 Canchim). A partir do final do século passado foi iniciada a formação do composto Montana Tropical, com possibilidade de uso de proporções variáveis das raças fundadoras NABC, cujas iniciais nesta sigla são referentes às raças Nelore, Taurinas Adaptadas, Britânicas e Continentais, numa proporção final de menor ou igual a 75% taurino e maior ou igual a 50% zebu ou taurino adaptado.

DIFERENÇAS ENTRE AS SUBESPÉCIES *BOS TAURUS TAURUS* E *BOS TAURUS INDICUS*

Em função da história evolutiva os zebuínos diferem dos taurinos, de um modo geral, em características anatômicas, fisiológicas e de comportamento.

A marca inconfundível do zebu é a giba, ou cupim, cuja principal base anatômica é o músculo romboide, ausente ou pouco saliente nos taurinos. O crânio, em geral, é mais comprido nos zebuínos, observando-se diferentes perfis entre as raças. O europeu apresenta cabeça mais curta, mais pesada e marrafa mais larga. Os chifres variam quanto ao tamanho, forma, diâmetro, inserção no osso frontal e direção. Geralmente, nos zebuínos, são maiores e de seção elíptica, enquanto nos taurinos são menores, com exceção das raças ibéricas, e de seção circular. As orelhas no gado europeu são mais curtas, de pontas arredondadas e em posição horizontal enquanto nos zebuínos apresentam tamanhos variados, são pendentes (exceto na raça Nelore) e terminam em forma de ponta de lança.

O zebuíno apresenta menor perímetro torácico que o europeu. A ossatura é mais fina, densa e leve; a garupa é mais inclinada e o osso sacro mais elevado que no europeu, facilitando a parição. O *Bos taurus indicus* apresenta, ainda, membros mais longos, cascos pretos e resistentes, possibilitando-o percorrer longas distâncias em busca de alimento ou de água. O taurino, por outro lado, apresenta membros mais curtos e cascos maiores.

A pele do zebu é mais fina, porém mais resistente que a do gado europeu, apresentando geralmente cor escura ou preta, que lhes permite maior resistência à radiação ultravioleta. Apresenta superfície corporal proporcionalmente mais desenvolvida, devido à pele solta, facilitando trocas de calor com o meio ambiente, enquanto no europeu a pele é mais grossa e agarrada ao corpo, para proteção contra o frio. Os zebuínos apresentam, ainda, vasos sanguíneos capilares e glândulas sudoríparas mais ativas e em maior número que as raças europeias. Os pelos são mais curtos, densos, sedosos e de cores mais claras. O umbigo mais comprido no gado zebu pode ser prejudicial, especialmente nos touros, tornando-os susceptíveis a ferimentos do prepúcio, quando manejados em pastagens muito infestadas por ervas e arbustos.

Em comparação ao gado europeu, o zebu apresenta maior capacidade para aproveitamento de forragens grosseiras, características das regiões tropicais. O aparelho digestório é menor, levando-o a comer menos, porém mais frequentemente. Esta característica contribui para o zebu apresentar menor taxa de metabolismo, com menor produção de calor metabólico, facilitando sua adaptação aos trópicos. Criados em grandes extensões, sem muito contato com o homem, o zebu pode ser arisco ou bravo. Quando bem manejado, no entanto, é manso e de boa índole. Outra característica marcante do zebu é

o seu comportamento gregário, menos frequentemente observado no gado europeu. O zebu apresenta, ainda, considerável resistência natural a ectoparasitos (carrapato, berne e moscas) abundantes em regiões de clima quente. A pele mais resistente dificulta a penetração do aparelho sugador destes insetos; os pelos mais curtos e mais claros atraem menos parasitas e a secreção das glândulas sudoríparas os repele, mais frequentemente. Além disso, o zebu movimentava facilmente a pele, a orelha e a cauda, afugentando insetos.

Com relação às características produtivas, de um modo geral, o gado europeu apresenta melhores aptidões para a produção de leite e carne, em função das melhores condições de criação em seu ambiente de origem e por terem sido selecionadas há mais tempo pelo homem. As raças zebuínas, por outro lado, em função de sua adaptabilidade natural a ambientes mais hostis, apresentam grande potencial de resposta a programas de melhoramento genético podendo se constituir em opção eficiente para a produção animal nas regiões tropicais.

ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO

As alternativas clássicas para o melhoramento genético são: escolha da raça melhor adaptada, formação de novas raças, cruzamentos e sistemas combinados. A primeira destas, sem dúvida, é a mais simples, uma vez que o criador pouco terá que investir em obras e tratamentos especiais, em comparação ao que outras raças menos adaptadas poderiam exigir em conforto e saúde necessários para bons índices de produção.

A pecuária brasileira apresenta uma história interessante quanto a esta opção. O primeiro gado bovino introduzido no país desde o período colonial foi de origem europeia. Estima-se que tenham entrado cerca de 300 mil animais, sendo permitidas importações, principalmente de sêmen e de embriões, até os dias atuais. Por outro lado, em todo o período de importação de zebu, desde o final do século XIX até 1962, foram importadas pouco mais de seis mil reses. No entanto, em função das características tropicais do território e da adaptação natural a estas condições as raças zebuínas predominam no país. Considerando o rebanho de corte, estima-se que a raça zebuína Nelore pura ou em cruzamentos diversos responda por cerca de 80% da produção, com um efetivo estimado de 132 milhões de reses (Rosa et al., 2013).

Com boas práticas de criação e reposição permanente de touros e matrizes com animais selecionados, o uso da raça melhor adaptada pode ser a melhor alternativa. Caso o criador queira agregar mais qualidade ao produto final, dependendo das demandas de mercado, as alternativas que serão discutidas a seguir poderiam ser implantadas.

A formação de novas raças é um empreendimento de longo prazo e que demanda um rebanho base suficientemente grande para minimizar os problemas de consanguinidade na fase de fixação das características da nova raça. Aplica-se, portanto, a poucas situações. Os cruzamentos são práticas mais simples, sendo, portanto, mais viáveis de serem utilizados pelos produtores comerciais.

A decisão por qualquer destas alternativas passa obrigatoriamente pelo conhecimento das características das várias raças bovinas disponíveis, do meio ambiente onde os animais serão criados e do mercado a ser atendido. A partir da análise conjunta destes aspectos é possível uma opção consciente não pelo sistema que seja biologicamente superior, mas por aquele economicamente mais rentável. Em qualquer destas situações,

no entanto, a seleção, a reprodução diferenciada dos animais superiores e os sistemas de acasalamento são ferramentas que devem ser permanentemente utilizadas.

Seleção para características qualitativas

Características qualitativas são aquelas cuja herança é controlada por um ou por poucos pares de genes. Os fenótipos nestes casos podem ser incluídos em categorias ou grupos, apresentando classificação discreta. Exemplos: musculatura normal ou dupla, pelagem preta ou vermelha, entre outras.

Algumas características qualitativas, especialmente aquelas ligadas à definição do padrão da raça, como pigmentação da pele e cor da pelagem, aparentemente, podem não ter efeitos diretos sobre a produção animal. Afetam, no entanto, o processo de adaptação ao meio ambiente, a viabilidade e a reprodução dos animais. Outras tais como: hipoplasia testicular, criptorquidismo uni ou bilateral e prognatismo são associadas a baixos níveis de fertilidade e produtividade.

Geralmente, as diferenças entre animais com relação às características qualitativas são causadas por diferenças no genótipo em um simples loco. Além disto, a expressão fenotípica destas características, praticamente, não sofre efeito do meio ambiente. Assim, se um alelo responsável por uma característica indesejável é dominante, todos os animais portadores deste alelo (homozigoto ou heterozigoto) são facilmente identificados de forma que sua eliminação se torna bastante simples. Quando, no entanto, o fenótipo indesejável é expresso somente por genótipos homozigotos recessivos, sua eliminação se torna mais difícil, uma vez que os animais portadores deste alelo em heterozigose são fenotipicamente semelhantes aos animais normais.

Na maioria das situações, especialmente em rebanhos comerciais, a seleção contra alelos recessivos indesejáveis pode ser feita pela eliminação dos produtos e, em um segundo passo, dos touros pais de produtos defeituosos. Em rebanhos de seleção, no entanto, o procedimento deve ser mais rigoroso, sugerindo-se: 1) eliminar todos os touros que tenham produzido bezerros indesejáveis e substituí-los por outros, não parentes; 2) retirar todas as fêmeas que tenham produzido bezerros indesejáveis e, se forem viáveis, conservá-las para testes de touros; 3) descartar todos os parentes mais próximos dos indivíduos portadores, mesmo que tenham tido prole normal. Recentemente, os testes de touros para características qualitativas vêm sendo substituídos pelo uso de marcadores moleculares, com vantagens do ponto de vista de custos e rapidez de resultados. Citam-se, neste caso, marcadores para cor da pelagem e característica mocha, dentre outros.

Modelo para a seleção de características quantitativas

A união de células reprodutivas com genes de efeitos desejáveis resulta na formação de indivíduos superiores. A chave da questão é identificar estes indivíduos e promover sua maior utilização na reprodução.

Tratando-se de características qualitativas, este trabalho é mais simples, uma vez que elas são controladas por poucos pares de genes e sofrem pouco efeito do ambiente. Para as quantitativas, no entanto, como é o caso da maioria das características de interesse econômico: pesos corporais, taxas de crescimento, musculosidade etc, além de ser en-

volvido um grande número de pares de genes observam-se efeitos muito acentuados do ambiente na expressão do fenótipo. Além disto, os fenótipos apresentam variação mais complexa, de natureza contínua, e a seleção só pode ser feita indiretamente, a partir da análise da variação existente entre os indivíduos. Assim, voltando-se à equação básica do melhoramento animal citada inicialmente, temos:

$$P = G + E + (G \times E)$$

Onde: P = valor fenotípico, ou seja: peso, ganho de peso, perímetro escrotal, etc.; G = valor genotípico, determinado pelo conjunto dos genes que atuam sobre a característica; E = efeito devido ao ambiente, ou seja: a quaisquer causas não genéticas que podem influenciar tal característica; GE = interações entre os genótipos e ambientes.

A partir desta relação, os componentes de variância devido ao fenótipo (VP), genótipo (VG) e ambiente (VE) assim se relacionam: $VP = VG + VE + V(GE)$. Caso o efeito de interação não seja significativo, a expressão pode ser simplificada como: $VP = VG + VE$. A variância genotípica pode, ainda, ser desdobrada em: $VG = VA + VD + VI$, onde: VA, VD e VI são, respectivamente, as variâncias devidas aos efeitos aditivos dos genes e aos efeitos de dominância e epistasia. Embora não se espera que sejam transmitidos à geração seguinte, pela quebra das ligações ocorridas durante a gametogênese, estes dois últimos componentes são importantes por constituírem a base do fenômeno conhecido por **heterose** ou **vigor híbrido**.

O componente que passa de geração a geração é o aditivo (VA), donde se define a herdabilidade (h^2) da característica, como $h^2 = VA / VP$.

Embora possa variar de rebanho para rebanho, de raça para raça, ou de ambiente para ambiente, a herdabilidade tende a apresentar valores uniformes para determinadas características. Características que apresentam baixos valores de herdabilidade (0,01 - 0,10) são menos sujeitas a modificações pela seleção do que outras com valores médios (0,10 - 0,50) ou altos (0,50 - 1,00). O melhoramento das primeiras poderia ser mais facilmente alcançado por melhorias nas condições de meio ambiente, especialmente relacionadas à saúde e nutrição dos animais do que por seleção.

Associada à herdabilidade, outros parâmetros de suma importância relacionados à herança das características quantitativas são as correlações, especialmente as correlações genéticas. Estas correlações, cujas principais causas são os efeitos pleiotrópicos dos genes e as ligações entre genes (*linkage*), indicam a extensão com que os mesmos genes atuam na expressão fenotípica das características. Em caso de correlações positivas, a seleção para uma característica implicará em resposta à outra no mesmo sentido, observando-se o contrário, ao se tratar de características correlacionadas negativamente.

Auxílios à seleção para características quantitativas

As fontes de informação mais comumente utilizadas na prática da seleção em gado de corte são: pedigree (ascendentes), progênie e colaterais e desempenho individual.

Em geral, informações de parentes, ancestrais ou colaterais, vinham sendo utilizados até recentemente, na história do melhoramento animal no Brasil, apenas como garantia de pureza da raça. Com a implantação de provas zootécnicas no final dos anos 60 do século passado e, posteriormente, com o advento da metodologia do modelo animal,

a partir da década de 90, as fontes de genealogia passaram a agregar mais precisão às estimativas de valor genético.

Em geral, as provas zootécnicas mais aplicadas em gado de corte são o controle do desenvolvimento ponderal (CDP), provas de ganho de peso (PGP) e testes de progênie (TP). O CDP consiste do acompanhamento periódico do peso dos animais, feito nas próprias fazendas, enquanto a PGP é uma modalidade de teste de desempenho mais frequentemente realizado em estações/centrais de prova.

Com o advento das técnicas de inseminação artificial e da aplicação de modelos mistos, a avaliação de reprodutores pelo teste de progênie clássico perdeu espaço para a avaliação de touros a partir dos dados de desempenho individual de suas progênies. Além disto, com uso do modelo animal e informações da matriz de parentesco, dados de desempenho de animais coletados de acordo com planos de trabalho detalhados em programas de melhoramento, a exemplo do Programa Geneplus-Embrapa lançado em 1996 (www.cnpqg.embrapa.br/geneplus; www.geneplus.com.br), passaram a proporcionar a estimação dos valores genéticos expressos em DEP – Diferença Esperada na Progênie de todos os indivíduos da população: produtos, matrizes e reprodutores. Como indica a sua própria denominação, Diferença Esperada na Progênie, a DEP representa a expectativa de resposta expressa na progênie pelo uso de determinado animal na reprodução, para as características de interesse, constituindo uma ferramenta essencial para a seleção.

A metodologia para estimação das DEPs é tratada no capítulo 12, as suas aplicações práticas são apresentadas nos capítulos 13 e 14 enquanto o Programa Geneplus é abordado no capítulo 19.

RESPOSTA À SELEÇÃO

Em uma análise superficial, a seleção, ou seja, a escolha dos melhores indivíduos da geração atual para pais da geração futura pode parecer um processo simples. No entanto, ao se escolher um animal escolhe-se o indivíduo como um todo com uma série de características, algumas delas até muito difíceis de serem avaliadas quantitativamente. O conceito de melhor, portanto, é muito complexo. Além da atenção às características objeto da seleção do ponto de vista genético, é preciso cuidado especial com a adaptabilidade e funcionalidade dos animais, tendo em vista o sistema produtivo, e com o valor econômico da produção, em função do mercado.

Do ponto de vista do criador e do consumidor, os melhores indivíduos poderiam ser aqueles que apresentassem adaptabilidade, eficiência na utilização dos recursos, saúde, fertilidade, longevidade, carcaça com bom acabamento e elevado rendimento e carne macia, suculenta e saborosa, dentre outras características.

Fica claro, portanto, que o processo de seleção é complexo. As características são muitas e de relações às vezes antagônicas. Difícilmente o melhoramento genético poderá ser alcançado de maneira simultânea para todas elas. Muitas e muitas gerações e perseverança de propósitos serão necessárias para o alcance de bons resultados, até que outros objetivos sejam definidos pelos sistemas de produção e mercados, reiniciando-se novos ciclos de seleção.

O ganho genético anual pode ser definido pela relação: (intensidade de seleção * variabilidade genética * precisão) / (intervalo de gerações). Assim, quanto maiores forem intensidade, variabilidade genética e precisão da seleção e quanto menor o intervalo de gerações, maior será a resposta anual à seleção.

A variabilidade genética e o intervalo de gerações, de certa forma, podem ser considerados parâmetros populacionais sobre os quais o criador pode intervir, diretamente, mas dentro de certos limites. A seleção continuada em rebanhos fechados, por exemplo, poderá provocar consanguinidade, com fixação de genes indesejáveis no rebanho, quando se tornaria benéfica a introdução de novas linhagens, revertendo-se o processo de diminuição da variabilidade genética. Por outro lado, grandes progressos têm sido observados com relação ao intervalo de gerações. Mesmo em raças zebuínas, conhecidamente mais tardias, são vários os exemplos de rebanhos com fêmeas e machos entrando em reprodução aos 14-18 meses de idade, proporcionando intervalos de geração de pouco mais de 24 meses, enquanto a média da população situa-se em 4-5 anos. No entanto, a fisiologia da própria espécie, certamente, estabelecerá os limites viáveis para este tipo de intervenção, considerando-se não apenas o ponto de vista biológico, mas também econômico.

Assim sendo, os pontos da equação de resposta à seleção sobre os quais o criador pode agir com mais liberdade e sucesso são a intensidade e a precisão da seleção. Entende-se por intensidade de seleção a proporção de animais retidos para reprodução em relação ao total de animais avaliados. Quanto maior esta intensidade, maior será o diferencial de seleção, diferença entre a média do grupo selecionado para a média do rebanho, de acordo com a característica de interesse. No entanto, em longo prazo, o aumento da intensidade de seleção, trabalhando-se em rebanho fechado, pode apresentar efeito negativo sobre a variabilidade genética, com diminuição da resposta à seleção. Outra forma de se aumentar a intensidade de seleção seria a busca de material genético de outros plantéis ou de empresas especializadas em biotécnicas reprodutivas, esbarrando-se, no entanto, em limitações de ordem econômica.

Desta forma, o termo da equação de resposta à seleção sem qualquer limitação para ação do criador e do melhorista é a precisão das estimativas de valor genético dos animais. Melhorias na precisão destas estimativas podem ser alcançadas pelo rigor do trabalho em todas as fases do processo: registro fidedigno dos acasalamentos e da identificação dos animais, informação correta do manejo (estação de monta, regime alimentar, etc.), equipamentos práticos e precisos para a tomada de medidas, rotina adequada de avaliação dos animais, indicadores de desempenho apropriados para a condução de análises estatísticas, metodologia adequada para análises genéticas e aplicação das informações geradas pelas análises na prática da seleção, acompanhadas da avaliação zootécnica dos animais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: BALANÇO E TENDÊNCIAS DO USO DE RECURSOS GENÉTICOS

São centenas as raças bovinas disponíveis e várias as alternativas para exploração destes recursos genéticos. O sucesso do empreendimento a ser desenvolvido depende, basicamente, da escolha de um biótipo animal adequado às características do sistema de produção e capaz de satisfazer as demandas do mercado.

O uso da raça melhor adaptada, sem dúvida, é a alternativa mais simples e a que pode proporcionar o menor custo de produção sendo, portanto, um bom ponto de partida. Ganhos de produtividade e de qualidade de produto podem ser alcançados, neste sistema, em primeiro lugar, pela atenção às necessidades básicas dos animais: saúde e alimentação. A implantação de um manejo reprodutivo correto, concomitantemente, pode contribuir para a criação de bezerras saudáveis e para a identificação de matrizes e reprodutores subfértéis e/ou de baixa produtividade, os quais, rotineiramente, devem ser substituídos por animais geneticamente superiores.

Sistemas que envolvem cruzamentos entre raças podem agregar níveis mais elevados de qualidade de produto e de produtividade, inclusive com redução do ciclo de produção. No entanto, são mais complexos de serem gerenciados e, normalmente, de custos maiores. Desta forma, atenção às condições de mercado, cuidado na escolha das raças e das estratégias de reprodução e prática permanente dos princípios básicos de administração do negócio são condições essenciais para o sucesso desta alternativa.

Quanto à utilização dos recursos genéticos, de um modo geral, encontra-se consolidada a criação de raças europeias na região Sul e em regiões de altitude, no Centro-oeste e Sudeste, com predomínio das raças zebuínas nas demais regiões do país. Sistemas de produção intensivos, envolvendo animais puros e/ou cruzados, com uso de confinamento e sistemas integrados lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, tendem a se concentrar em regiões mais próximas de centros urbanos e de indústrias frigoríficas. Nestas condições observa-se ainda a manutenção de plantéis de seleção de raças puras, para comercialização de touros, e o uso de raças de dupla aptidão, especialmente em fazendas de menor porte. Em regiões mais distantes, carentes de infraestrutura, a tendência é o predomínio da pecuária extensiva de cria, recria ou de ciclo completo, em pastagens, com uso de touros melhoradores em monta natural.

Vem se observando, nos últimos anos, migração da pecuária das regiões Sul e Sudeste em direção ao Centro-oeste, Nordeste e, principalmente, Norte do país, em função de demandas da agricultura, indústria de biocombustíveis e florestas nas regiões de terras mais valorizadas. Nestas condições e diante do cenário que se descortina em função das mudanças climáticas, a adaptabilidade passará a ser ainda mais decisiva para o sucesso da produção de carne bovina em meio ambiente tropical demandando atenção permanente não apenas dos criadores, no estabelecimento dos sistemas de produção, como também dos programas de melhoramento genético animal, para planejamento de trabalhos de seleção em médio e longo prazos.

FONTES DE REFERÊNCIA

- ATHANASSOF, N. Manual do criador de bovinos. São Paulo: Melhoramentos, 1953. 818p.
- BARBOSA, P.F. Cruzamentos para obtenção do novilho precoce. In: **Encontro Nacional sobre novilho precoce**. Campinas, SP: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 1995. p.75-92.
- BYERLY, T.C.; FITZHUGH, H.A.; HODGSON, H.J.; NGUYEN, T.D.; SCOVILLE, O.L.J. **The role of ruminants in support of man**. Petit Jean Mountain, Arkansas, Winrock International Livestock Research and Training Center, 1978, 136 p.
- COTRIM, E. A fazenda moderna – guia do criador de gado bovino no Brasil. Bruxelas: Typographia V. Verteneuil & L. Desmet, 1913. 376p.
- ENSMINGER, B.S. **Beef cattle science**. Danville, Illinois, The Interstate, 6° ed, 1987, 1030 p.

- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. (Trad. M.A. Silva e outros...). Viçosa:Imprensa Universitária, 1987, 279p.
- FELIUS, M. **Genus bos: cattle breeds of the world**. New York:Merk, 1985, 234 p.
- FRIES, R.; RUVINSKY, A. **The genetics of cattle**. Ed. CABI Publishing, New York, NY, 1999. 710p.
- GRIFFITHS, A.J.F.; MILLER, J.H. SUZUKI, D.T.; LEWONTIN, R.C.; GELBART, W.M. **Introdução à genética básica**. (Tradução de Paulo Armando Motta). Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2002. 794p.
- JARDIM, V.R. **Bovinocultura**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas SP, 4ª ed, 1995, 524 p.
- JOSHI, N.R.; PHILLIPS, R.W. **Zebu cattle of India and Pakistan**. Roma, Food and Agriculture Organization, 1953, 256 p. ilustr.MASON, I.L. **Evolution of domesticated animals**. Ed. Longman Inc., New York, 1984. 452p.
- MacHUGH, D.E. **Molecular biogeography and genetic structure of domesticated cattle**. University of Dublin, Dublin, 274 p., 1996. (Tese de doutorado).
- PEIXOTO, A.M.; LIMA, F.P.; TOSI, H.; SAMPAIO, N.S. **Exterior e julgamento de bovinos**. Ed. José C. de Moura e Vidal P. de Faria. Piracicaba:FEALQ, 1989. 169 p. ilustr.
- PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. Ed. FEP-MVZ, Belo Horizonte MG, 2008, 618 p.
- ROUSE, J.E. **World cattle**. Norman, University of Oklahoma Press, vol. I, III, 1973.
- ROSA, A.N.; SILVA, L.O.C.; PORTO, J.C.A. **Raças mochas: história e genética**. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande MS, 1996, 64 p.
- ROSA, A.N.; SILVA, L.O.C.; NOBRE, P.R.C.; MARTINS, E.N.; COSTA, F.P.; TORRES JR., R.A.A.; MENEZES, G.R.O.; FERNANDES, C.E.S. **Pecuária de corte: vale a pena investir em touros geneticamente superiores?** Rev. ABCZ, Uberaba:ABCZ, mai-junho, 2013, p.92-96.
- SANTIAGO, A.A. **O Zebu na Índia, no Brasil e no mundo**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas SP, 1986, 744 p.
- SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo:Nobel, 2000. 286 p.