

Medidas de eficiência alimentar para avaliação de bovinos de corte

MIGUEL HENRIQUE DE ALMEIDA SANTANA^{1*}; RODRIGO DA COSTA GOMES²; JOSÉ BENTO STERMAN FERRAZ¹; PAULO ROSSI JUNIOR³

¹Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP, Av. Duque de Caxias Norte 225, CEP 13635-900, Pirassununga/SP. E-mail: mhasantana@usp.br e jberraz@usp.br. *Autor para correspondência

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPQC/EMBRAPA, BR 262 km 4, CEP 79002-970, Campo Grande/MS. E-mail: gomes_rc@hotmail.com

³Universidade Federal do Paraná – SCA/UFPR, Rua dos Funcionários 1550, CEP 80035-050, Curitiba/PR. E-mail: parossi@ufpr.br

RESUMO

A eficiência da conversão de alimentos em produtos de origem animal é importante para a lucratividade e sustentabilidade dos sistemas de produção de bovinos de corte. Nas últimas décadas houve um interesse maior pelo estudo de características que expressam a eficiência alimentar, principalmente o consumo alimentar residual (CAR). Esses estudos nortearam essa revisão que aborda os resultados e implicações da seleção baseada no CAR e também as novas perspectivas nos estudos com eficiência alimentar em bovinos de corte.

Palavras-chave: características de carcaça, consumo alimentar residual, marcadores moleculares, metabolismo.

ABSTRACT

Feed efficiency actions for the evaluation of beef cattle

The converting efficiency of feed into products of animal source is an important issue for the profitability and sustainability of the beef cattle production systems. During the last decades, there has been an increased interest at the study of features that can express the feed efficiency, especially the residual feed intake (RFI). These studies guided this review which discusses the results and implications of the genetic selection based on RFI, and also the new perspectives in the studies of feed efficiency in beef cattle.

Keywords: carcass features, residual feed intake, molecular markers, metabolism.

INTRODUÇÃO

A pecuária de corte se fortaleceu nos últimos anos no Brasil e isso fez com que o país estivesse dentre os maiores exportadores de carne bovina e entre os maiores rebanhos comerciais de bovinos com mais de 200 milhões de cabeças (FNP, 2012). Desse montante, 80% dos rebanhos de cria são formados por influência genética zebuína, principalmente da raça Nelore (PEREIRA, 2012), demonstrando a importância desse grupo genético na atividade pecuária brasileira. Contudo, os índices produtivos e econômicos da bovinocultura de corte estão ainda muito aquém dos observados em países desenvolvidos, o que faz necessária a adoção cada vez maior de tecnologias voltadas para o incremento produtivo da pecuária (SANTANA, 2009).

Um acréscimo na eficiência da produção de bovinos de corte poderia ser alcançado se a quantidade de alimento necessária por unidade de carne produzida fosse reduzida. Assim, para um mesmo impacto ambiental (por exemplo, emissão de metano e esterco) pode-se aumentar a produção de carne bovina sem aumentar a área utilizada de pastagens (BASARAB et al., 2003; NKRUMAH et al., 2006) e para a produção de grãos e volumosos.

Outras cadeias produtivas, como aves e suínos, já reconheceram a importância da inclusão da eficiência alimentar nas suas avaliações de custos e também como critério de seleção genética. Esse reconhecimento ocorreu principalmente devido à facilidade da mensuração da ingestão alimentar e pela alta participação da alimentação nos custos totais dessas espécies (SANTANA, 2009). Porém, em bovinos de corte, mensurar a ingestão de matéria seca individualmente é mais oneroso se comparado a outras características, tais como ganho de peso e circunferência escrotal. Praticamente todos os programas de melhoramento genético de bovinos de corte enfatizam a seleção para aumentos de pesos a diversas idades, ganho de peso diário, circunferência escrotal, características de carcaça e também o desempenho reprodutivo (LANNA & ALMEIDA, 2004), sem se atentar a características que expressam a eficiência com que o animal utiliza o alimento que ingere para a produção de carne.

É importante considerar a redução dos custos com alimentação, pois esta corresponde por cerca de 70% dos custos totais da produção de bovinos de corte (LIU et al., 2000). Ao considerar essas estimativas de custos e o fato que em todo sistema de produção deve ser lucrativo, há necessidade de reduzi-los adotando medidas de eficiência alimentar nas avaliações de bovinos de corte. O objetivo dessa revisão é abordar aspectos relacionados com a eficiência alimentar e o metabolismo animal, as implicações da seleção para eficiência alimentar sobre características de desempenho e de carcaça, assim como relatar resultados de alguns estudos a respeito do uso de marcadores moleculares na eficiência alimentar de bovinos de corte.

Medidas de eficiência alimentar em bovinos de corte

Uma produção animal eficiente pode ser definida como a geração de produtos de origem animal com a menor quantidade de recursos possíveis. Segundo Ferrel & Jenkins (1984), cerca de 70% do total de energia consumida pelos bovinos de corte é destinada para manutenção e somente 5% é designado para a deposição de proteína, muito pouco quando comparamos com aves (22%) e suínos (14%). As maiores razões para a baixa eficiência dos bovinos são as baixas taxas reprodutivas, nutrição inadequada e lento progresso genético devido ao longo intervalo entre gerações.

As diversas medidas de eficiência alimentar dependem de fatores como a ingestão de alimentos, peso vivo do animal, estado fisiológico, composição do ganho de peso, condições ambientais, idade e fatores intrínsecos ligados à eficiência, isto é, taxas de digestão, absorção e eficiência de utilização da energia e proteína metabolizável (NRC, 1996).

Estimativas indicam que melhorando em 5% a conversão alimentar, o impacto econômico seria quatro vezes maior se comparado a um aumento em 5% no ganho de peso vivo (GIBB & McALLISTER, 1999), isto porquê a seleção baseada no ganho de peso favorece animais com maior tamanho adulto. Esses animais de maior porte são mais tardios fisiologicamente em comparação aos animais de porte menor, permanecendo mais tempo se alimentando antes do abate (LEME & GOMES, 2007).

Diversas medidas foram propostas ao longo dos anos para avaliar a eficiência alimentar, como a eficiência alimentar bruta, a taxa de conversão alimentar, a taxa relativa de crescimento, a razão Kleiber, a eficiência parcial de crescimento, o consumo alimentar residual, o ganho de peso residual, o consumo e ganho residuais (GOMES et al., 2012).

Algumas medidas de eficiência alimentar são simples razões do desempenho com a ingestão e outras (por exemplo, o consumo alimentar residual, o ganho de peso residual e o consumo e ganho residuais) propõem ajustes para peso vivo e ganho de peso. As medidas que são simples razões são a taxa de conversão alimentar (CA) e eficiência alimentar bruta (EA). A taxa de conversão alimentar (CA) é definida pela divisão entre a ingestão de matéria seca diária (IMS) e o ganho de peso diário (GMD):

$$CA = IMS/GMD$$

A eficiência alimentar bruta (EA) é a razão inversa da conversão alimentar e também considera a IMS e o GMD:

$$EA = GMD/IMS$$

Estas medidas podem ocasionar problemas quando usadas em índices de seleção lineares, particularmente quando uma das variáveis constituintes é também do índice, como o ganho de peso, que é utilizado diretamente no cálculo da conversão alimentar (GUNSETT, 1984).

Outras medidas que podem ser usadas para avaliar a eficiência alimentar é o consumo alimentar residual (CAR) e o ganho residual (GPR), que foram propostos inicialmente por Koch et al. (1963) e que, segundo os autores, é baseado na ingestão e independente do crescimento e dos padrões de maturidade ou baseado no ganho de peso e independente da ingestão e do peso vivo, respectivamente.

O consumo alimentar residual (CAR) e o ganho residual (GPR) são medidas calculadas por equações de regressão que utilizam o peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), o GMD e a IMS. Estas representam a diferença entre os valores observados e aquele estimados, conforme as fórmulas gerais abaixo:

$$CAR = IMS_{\text{observada}} - IMS_{\text{estimada}}[f(GMD; PV^{0,75})]$$

$$GR = GMD_{\text{observado}} - GMD_{\text{estimado}} [f(IMS; PV^{0,75})]$$

De forma semelhante, Berry & Crowley (2012) propuseram a medida de eficiência chamada consumo e ganho residuais (CGR), que leva em consideração tanto o CAR quanto o GR. A fórmula para o cálculo do CGR está apresentada abaixo:

$$CGR = [CAR \times (-1)] + GR$$

Consumo alimentar residual como medida de eficiência alimentar

O CAR é definido como a diferença entre a ingestão observada e a estimada, sendo a ingestão estimada calculada por equações de regressão da própria ingestão em função do tamanho corporal e velocidade de crescimento (ARTHUR et al., 2001).

Os animais mais eficientes para o CAR possuem valores negativos para essa medida e necessitam menos nutrientes para sua manutenção e taxa de crescimento, resultando em menor ingestão de alimentos quando comparados aos seus semelhantes, selecionando animais de menor ingestão e menores exigências para manutenção, sem mudanças no peso adulto ou no ganho de peso (BASARAB et al., 2003). Essa medida define melhor a habilidade dos animais para produzir eficientemente com as fontes disponíveis de alimentos, já que animais de CAR negativo ingerem menos alimento que o estimado para o seu peso vivo e ganho de peso (LEME & GOMES, 2007).

O maior entrave para a adoção da eficiência alimentar comercialmente e em processos de seleção genética é a dificuldade de mensuração de ingestão individual de um elevado número de animais. Adicionalmente, o custo de determinar a ingestão individual é elevado quando comparado com outras variáveis como o ganho de peso e circunferência escrotal (ALMEIDA, 2005).

Archer et al. (2001) concluíram que a mensuração do CAR em tourinhos é economicamente lucrativa para todos os sistemas de produção de carne bovina por reduzir a ingestão, diminuindo os custos com alimentação, sem alterar o desempenho, tanto em condições extensivas de pastejo, como em terminação no confinamento utilizando-se dietas de alto nível de concentrado.

As estimativas de ingestão de matéria seca baseadas no ganho médio diário e no peso vivo variam dependendo do modelo estatístico adotado. Gomes (2009) e Corvino (2010) encontraram um R^2 de 0,99 e 0,89, respectivamente, quando retiraram o intercepto da fórmula de estimativa de ingestão. Porém, Santana et al. (2012) e Almeida (2005), em trabalhos realizados com

animais zebuínos mostraram R^2 inferior 0,56 e 0,72, respectivamente, quando a fórmula de estimativa da ingestão inclui o intercepto. Outros modelos podem ser utilizados com a inclusão de algumas variáveis para melhorar o ajuste dos dados de ingestão em função do ganho médio diário e peso vivo. Almeida (2005) aumentou em 4% o R^2 do modelo utilizado pelo mesmo quando incluiu a espessura de gordura sobre a 12 e 13ª costelas e Santana et al. (2012) verificaram um aumento de 6% no R^2 ao incluir a espessura de gordura subcutânea no *Biceps femoris* na fórmula de predição da ingestão.

Herd et al. (2003) estudaram novilhas selecionadas na desmama para CAR negativo e observaram que esses animais também apresentavam CAR negativo na idade adulta. A correlação fenotípica do CAR na desmama com o CAR dos animais já adultos foi alta (+0,98), portanto, segundo esses mesmos autores, a seleção de animais de melhor CAR na desmama resultará em animais mais eficientes na maturidade.

Basarab et al. (2003) avaliaram 176 novilhos mestiços e concluíram que os mais eficientes (CAR negativo) apresentaram menor consumo de energia metabolizável (10,2%), menor retenção de energia (12%), produziram menos calor (9,3%) e apresentaram vísceras menores (fígado, abomaso e intestinos) do que menos eficientes (CAR positivo). Montanholi et al. (2009) encontraram também que animais mais eficientes para CAR tiveram menor temperatura corporal (produção de calor) mensurada por uma câmera de termográfica que utiliza infravermelho em 154 bovinos mestiços.

Segundo algumas pesquisas brasileiras, a variação fenotípica (desvio padrão) do CAR para bovinos zebuínos é semelhante ou superior aos demais estudos em taurinos, variando de 0,41 a 1,05 kg de MS/dia (ALMEIDA et al., 2004; ALMEIDA, 2005; BONIN et al., 2008; PAULINO et al., 2005; LEME & GOMES, 2007; GOMES, 2009; SANTANA et al., 2012).

Respostas à seleção baseada no CAR em bovinos de corte

O principal objetivo do melhoramento genético animal é aumentar a proporção de genótipos desejáveis em uma população, por meio da seleção ou de cruzamento de indivíduos que possuam uma constituição gênica mais favorável para determinado conjunto de características. Para isso, é importante conhecer o controle genético, por meio da expressão gênica e de suas regulações, bem como a interação dessa expressão com os diversos fatores ambientais (PEREIRA, 2012).

As variações fenotípicas entre os indivíduos de uma determinada população se devem em boa parte as diferenças genéticas aditivas (FALCONER, 1987). Existindo essas diferenças entre indivíduos, somadas às herdabilidades estimadas e à intensidade de seleção, é possível realizar a seleção genética em uma dada população.

A herdabilidade do CAR varia de moderada a alta (0,28 a 0,43; KOCH et al., 1963; ARTHUR et al., 2001, respectivamente) para animais taurinos, e por isso se apresenta como uma ferramenta interessante para o melhoramento genético, podendo ser incluído em índices de seleção juntamente com as outras medidas já tradicionalmente utilizadas.

A seleção para melhorar o CAR produz em geral animais que ingerem menos matéria seca, com gordura subcutânea menos abundante e com desempenho semelhante ou superior comparado com animais de pior CAR e melhor conversão alimentar ($r=0,43$ a $r=0,75$) em confinamento (ARCHER et al., 1997; ARTHUR et al., 2001; HERD et al., 2004b; RICHARDSON et al., 2004).

Outros trabalhos com metodologia semelhante de seleção para CAR foram realizados com animais em pastejo (HERD et al., 2002; HERD et al., 2004a). Nestes estudos, touros com valor genético estimado para o CAR de -1,00 kg de MS/dia tiveram suas progênes avaliadas e essas tiveram um ganho de peso 20% maior, com CAR 26% menor (mais eficiente) e conversão alimentar 25% a 41% menor.

Diferenças metabólicas de bovinos selecionados para CAR

Segundo revisão de Rauw et al. (1998), a seleção genética pode ser efetiva no aumento dos níveis de produção, porém pode simultaneamente promover disfunções comportamentais, fisiológicas e problemas imunológicos na pecuária devido ao, entre outros fatores, rápido avanço no desempenho fenotípico dos animais de produção. O aumento na preocupação das questões do bem-estar animal e de especificações rigorosas para atributos de carcaças, além das estreitas margens de lucro na indústria bovina são justificativas para buscar conhecimentos das consequências biológicas da seleção para eficiência alimentar em bovinos de corte.

Os fatores metabólicos que podem contribuir para a variação no CAR são muitos (RICHARDSON & HERD, 2004; ARTHUR & HERD, 2008) e sua regulação fisiológica é controlada, provavelmente, por várias centenas de genes (BARENDSE et al., 2007; MOORE et al., 2009; SHERMAN et al., 2009). Os principais mecanismos fisiológicos que influenciam a variação no CAR estão relacionados às exigências de manutenção, transporte de íons, resposta ao estresse, metabolismo dos tecidos e incremento calórico (BASARAB et al., 2003; RICHARDSON et al., 2004). O transporte iônico e o *turnover* proteico teoricamente teriam grande influência na eficiência alimentar, isso porque esses processos estão relacionados com os requerimentos de manutenção dos bovinos (LOBLEY et al., 1980).

Herd et al. (2004b) afirmaram que diferenças na eficiência alimentar, digestão dos alimentos, composição corporal e atividade contribuem para explicar essa variação no CAR. Entretanto, os autores relataram que mais da metade da diferença no CAR ocorre devido a outros processos fisiológicos. De acordo com estimativas de Richardson & Herd (2004), os processos fisiológicos que regulam esta variação são: o *turnover* proteico, estresse e metabolismo dos tecidos (37%), transporte de íons (27%), atividade (10%), digestibilidade (10%), incremento calórico (9%), composição corporal (5%) e comportamento ingestivo (2%). Esse conhecimento pode ajudar a encontrar novas tecnologias nutricionais, metabólicas e imunológicas para manipular o CAR dos bovinos em determinadas fases da criação, como por exemplo, no confinamento.

Richardson et al. (2004) estudando os padrões de alimentação de novilhos selecionados para CAR, demonstraram que animais menos eficientes permanecem 5% mais tempo se alimentando. Nkrumah et al. (2006) encontraram que novilhos de baixo CAR ficaram menos tempo se alimentando a cada visita ao cocho e apresentaram número de visitas inferior quando comparados com novilhos de alto CAR. Já Bingham et al. (2009) afirmaram que animais menos eficientes gastam menor tempo a cada visita ao cocho, ingerem mais rápido o alimento e visitam mais vezes o cocho se comparado com animais mais eficientes.

Em outro estudo foi encontrado que animais mais eficientes tiveram menores níveis sanguíneos de ureia, cortisol e insulina, e maiores níveis de triglicerídeos, estas respostas possivelmente estão relacionadas com a reciclagem dos tecidos, em mudanças na composição corporal e a uma resposta ao estresse (RICHARDSON & HERD, 2004).

Richardson et al. (2002) encontraram correlações genéticas do CAR com perfil celular sanguíneo em um estudo com bovinos de origem europeia, sugerindo que animais menos eficientes poderiam ser mais susceptíveis ao estresse se comparado com animais menos eficientes, porém não foram encontradas associações do perfil celular sanguíneo com o CAR em animais zebuínos (SANTANA, 2009).

A digestibilidade da dieta foi negativamente correlacionada com o CAR ($r = -0,44$) indicando que o baixo CAR associa-se com maior digestibilidade (RICHARDSON et al., 1996; RICHARDSON et al., 2004). Channon et al. (2004) estudaram a digestibilidade de progênes provenientes de touros de diferentes raças selecionados para CAR, os autores concluíram que animais mais eficientes têm melhor aproveitamento na digestão do amido da dieta. Em trabalho de Nkrumah et al. (2006), animais de baixo CAR tiveram maior digestibilidade aparente de proteína e da matéria seca da dieta. Essas diferenças de digestibilidade podem estar associadas com a velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal, como consequência das

diferenças na ingestão do alimento, pois a maior ingestão alimentar é negativamente associada com a digestibilidade (NRC, 1996).

Uma série de avaliações foi realizada com o objetivo de identificar os mecanismos biológicos relacionados com a variação fenotípica para consumo alimentar residual em bovinos da raça Nelore (GOMES et al., 2011; 2012; 2013a). Nestes estudos, não foram observadas diferenças entre animais mais e menos eficientes quanto aos níveis de glicose plasmática, número de células brancas, porcentagem de linfócitos, monócitos, eosinófilos e neutrófilos, assim como na relação neutrófilo:linfócito. Também não foram observadas diferenças entre classes de CAR para o número de células vermelhas, hematócrito, hemoglobina, volume corpuscular médio, hemoglobina corpuscular média e concentração de hemoglobina corpuscular média (GOMES et al., 2011).

As diferenças em eficiência também não estiveram relacionadas com a porcentagem de gordura e proteína no corpo vazio, assim como com a retenção de energia, a atividade do sistema calpaína, o peso das vísceras e da gordura renal, pélvica e inguinal. Entretanto, foi observado que novilhos Nelore mais eficientes apresentaram menores exigência de manutenção (18%) e menor peso da gordura do trato gastrointestinal (22%) que novilhos menos eficientes (GOMES et al., 2012).

Arthur et al. (2001) encontraram que é possível que exista associação na redução do consumo de oxigênio pelos tecidos viscerais com a seleção para melhorar o CAR, isso devido à forte correlação genética entre o CAR e o consumo de oxigênio (+0,69). Concordando com esta hipótese, Basarab et al. (2003) encontraram diferenças entre os animais mais e menos eficientes para CAR no peso do fígado. Entretanto, Richardson et al. (2001) concluíram que o peso dos tecidos do trato gastrointestinal (TGI) e os órgãos internos podem não ser relacionados com a variação no CAR.

Em outro estudo com novilhos Nelore (GOMES et al., 2013a), animais com alto e baixo CAR não diferiram quanto à digestibilidade, à reciclagem das proteínas miofibrilares e o metabolismo nitrogenado, entretanto os animais com maior eficiência tiveram menores níveis séricos de cortisol e também apresentaram períodos mais longos de ócio. Os estudos demonstraram que a variação em CAR em novilhos Nelore está provavelmente relacionada à deposição de gordura interna, às exigências energéticas de manutenção, ao grau de atividade física e à resposta ao estresse.

Em relação às respostas ao estresse, uma das respostas metabólicas dos animais às situações consideradas estressantes é a maior demanda energética para suprir o gasto promovido pela agitação dos animais nessa situação. Trata-se de uma tentativa do organismo em suprir essa maior demanda energética na qual seria necessária uma maior quebra tecidual das reservas corporais e maior produção de calor, contribuindo para a menor eficiência de deposição de tecidos. Os resultados encontrados por Arthur et al. (2001) sugerem que novilhos menos eficientes são mais susceptíveis ao estresse o que corrobora com o exposto acima e com os resultados observados no estudo de Gomes et al. (2013a).

Benefícios ambientais da seleção para CAR

A seleção baseada no CAR poderia melhorar o impacto ambiental reduzindo a produção de esterco e metano. Atualmente, o protocolo de Kyoto exige estratégias para redução da emissão dos gases de efeito estufa por parte dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Não há uma estratégia de curto prazo para redução da emissão de metano pelos ruminantes a não ser a redução drástica do rebanho mundial que é responsável por 16 a 20% da emissão desse gás na atmosfera. Cerca de 8 a 14% da energia digestível é eliminada pelos ruminantes via gás metano (HERD et al., 2002).

Nkrumah et al. (2006) encontraram que animais mais eficientes para CAR emitiram 28% menos metano na atmosfera do que animais menos eficientes. Em outro trabalho, Okine et al. (2003) encontraram que a emissão de metano dos animais mais eficientes foi 5% menor que dos animais menos eficientes. Os mesmos autores calcularam a produção de esterco e obtiveram

valores diferentes para os animais mais eficientes e os menos eficientes (24,0 e 26,5 kg/dia, respectivamente). Esses valores são muito próximos dos obtidos por Herd et al. (2002) que também encontraram maiores valores de produção de metano para animais menos eficientes para CAR. Para novilhos Nelore, Gomes et al. (2013a) estimaram uma emissão diária de metano 8% menor para animais mais eficientes.

Organizações de criadores e produtores de bovinos de corte no Canadá têm desenvolvido, em conjunto, projetos de redução da emissão de gases de efeito estufa nas propriedades associadas, como uma ação de responsabilidade ambiental e social da atividade. Para isso, os criadores devem utilizar reprodutores provados para CAR e progênie oriundas de animais testados, que irão consumir menos alimento por unidade de produto e também produzir menos metano oriundo da digestão (ARTHUR & HERD, 2008). Este é um exemplo de como a seleção para eficiência alimentar pode ser implementada na prática para a promoção da sustentabilidade ambiental da pecuária bovina.

Características de carcaça e qualidade de carne associadas ao CAR

Evidências sugerem que a seleção para CAR altera a composição corporal (ARTHUR et al., 1997; RICHARDSON et al., 2001), principalmente da gordura subcutânea. Resultados obtidos por Richardson et al. (2001) mostraram que a composição química foi correlacionada geneticamente com a variação no CAR, sendo que a progênie de novilhos com pais mais eficientes tiveram menor quantidade de gordura total corporal e maior quantidade de proteína que a progênie dos pais menos eficientes. A concentração de leptina, tipicamente associada com um aumento da gordura em bovinos (JI et al., 1997; MINTON et al., 1998), foi correlacionada geneticamente ($r = +0,31$) com o CAR, onde animais menos eficientes apresentaram maior concentração desse hormônio (RICHARDSON et al., 2004), concordando com uma maior porcentagem de gordura corporal em animais de alto CAR.

Arthur et al. (2001) demonstraram que diferenças na composição corporal é responsável por 5% da variação genética do CAR e que a deposição de gordura subcutânea no músculo *Longissimus* foi positivamente correlacionada com o CAR ($r = +0,17$) na raça Angus. Outros estudos evidenciaram que existem correlações do CAR com percentual de gordura, energia e proteína corporal (BASARAB et al., 2003).

BASARAB et al. (2003) encontraram estimativas de correlações fenotípicas do CAR com variáveis de composição corporal de -0,21 para porcentagem final de carne magra na carcaça, de +0,22 para ganho em espessura de gordura subcutânea, de +0,22 para ganho em escore de marmoreio e de +0,26 para ganho de gordura no corpo vazio. Nesse mesmo trabalho a correlação fenotípica do CAR com ingestão de energia metabolizável foi de +0,80 e para produção de calor corporal foi de +0,56.

Em estudo com bovinos Nelore, Leme & Gomes (2007) relataram que animais de baixo CAR apresentaram menor deposição de gordura subcutânea, menores quantidades de gordura renal pélvica e inguinal e maior área de olho de lombo, sugerindo que bovinos dessa raça que mais eficientes para CAR apresentam um ganho maior em proteína e menor em gordura. No mesmo estudo, com relação à composição física da carcaça, não houve diferença entre animais para porcentagem de dianteiro, traseiro e peso dos ossos. Essa evidência foi relatada também por Santana et al. (2012) em estudo com touros da raça Nelore na qual a correlação da deposição de gordura subcutânea no músculo *Biceps femoris*, avaliada por ultrassonografia, foi de +0,36 e também houve diferença entre os animais de alto CAR e baixo CAR. Entretanto, em novilhos, Gomes et al. (2012) observaram apenas uma tendência de animais menos eficientes depositarem mais gordura sobre a garupa, sendo que não houve diferenças entre as classes de eficiência para a espessura de gordura subcutânea sobre o lombo e também na área de olho de lombo.

A aparente menor deposição de gordura corporal em bovinos de CAR negativo pode sugerir que a seleção para melhorar o CAR teria como consequência animais com menores reservas corporais. Essas reservas são importantes para a manutenção das matrizes, principalmente, uma vez que estas são submetidas à sazonalidade de qualidade e disponibilidade

de forragem em regiões tropicais, assim essa categoria pode ser afetada e como consequência ocasionar menores taxas reprodutivas do rebanho (SANTANA et al., 2012). Adicionalmente, animais destinados ao abate que possuem menor taxa de deposição de gordura subcutânea na carcaça, teoricamente, atingem acabamento de gordura mínimo necessário mais tardiamente, necessitando permanecer mais tempo em regime de terminação, o que pode aumentar os custos de produção (LEME & GOMES, 2007).

Se a redução da deposição de espessura de gordura subcutânea em animais de melhor CAR realmente for comprovada, a solução para evitar esse efeito seria a inclusão de alguma medida (por exemplo, a deposição de espessura de gordura no músculo *Longissimus*) que expresse essa deposição no modelo de estimativa da ingestão no cálculo do CAR. Com essa inclusão, a correlação dessa deposição com o CAR será perto de zero, portanto a seleção baseada no CAR não traria nenhuma resposta correlacionada com a deposição de gordura subcutânea na carcaça (BASARAB et al., 2003).

Com relação à qualidade de carne, resultados apresentados por Leme & Gomes (2007), mostraram que animais mais eficientes para CAR apresentaram maior maciez na carne com maturação (avaliada por método objetivo) e não houve efeito do CAR sobre a percentagem de extrato etéreo na carne de bovinos zebuínos. Entretanto, em estudo posterior, Gomes et al. (2012) relataram que não houve diferenças entre novilhos Nelore com alto e baixo CAR para a força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar e a atividade do sistema calpaína.

McDonagh et al. (2001) não observaram diferenças quanto à força de cisalhamento, porém amostras do músculo *Longissimus* de animais de baixo CAR apresentaram menores valores de índice de fragmentação miofibrilar e concentrações de calpastatina no músculo 13% maiores, quando comparados com animais de alto CAR. Os autores concluíram que em razão de uma única progênie selecionada para CAR ter apresentado diferenças quanto às características acima descritas, uma seleção contínua para baixo CAR poderia afetar negativamente a maciez da carne.

Marcadores moleculares e a eficiência alimentar

Recentemente, as melhorias nas técnicas da biologia molecular tornaram possíveis estudos baseados na identificação de regiões dos genes dos animais que influenciariam as características quantitativas (QTLs). Essa identificação tornaria mais rápida a identificação de animais com genótipos superiores para determinada característica, pois poder-se-ia, assim, apontar os genótipos superiores privilegiando os acasalamentos com indivíduos melhores para essa característica (PEREIRA, 2012).

Estudos recentes testaram variações alélicas em milhares de genes e deste modo procuraram associar essas variações com o CAR, na tentativa de identificar os processos que mais contribuem para a variação na eficiência alimentar. Em uma varredura primária foram encontradas algumas regiões dos cromossomos 2, 5, 20 e 29 e foram encontrados polimorfismos de base única (SNPs) associados ao CAR (SHERMAN et al., 2009). Nessa região está localizado, por exemplo, o gene para o receptor do hormônio do crescimento (GHR) onde, em outro estudo (SHERMAN et al., 2008) também foi encontrado um SNP associado com o CAR. Os autores deste trabalho relataram haver evidências da relação de um SNP na região cromossômica que codifica proteínas associadas a moduladores de apetite (grelina e neuropeptídeo Y) com o CAR em bovinos.

Em outro trabalho de varredura genômica, utilizando 189 touros de sete raças diferentes, foram encontrados 161 SNPs relacionados ao CAR, sendo que estes representam 141 regiões do genoma bovino (BARENDSE et al., 2007). As principais funções metabólicas dos genes onde foram encontrados esses SNPs relacionavam-se com a regulação da utilização de energia pela célula, principalmente pelo processo de transporte iônico. Também foram encontrados mais três genes envolvidos com a regulação de apetite e controle de massa corpórea.

Sherman et al. (2010) realizaram um estudo com o objetivo de procurar novos SNPs relacionados com o CAR em 2663 bovinos *Bos taurus* e compostos e encontraram 150 SNPs associados com o CAR. Com esses resultados, os autores formaram um painel de SNPs que teve

efeito significativo na eficiência alimentar avaliada pelo CAR, explicando cerca de 50% da variação do CAR para a população estudada. Gomes et al. (2013b) avaliaram possíveis associações de SNPs em genes relacionados com reciclagem proteica corporal com a eficiência alimentar de bovinos Nelore. Neste estudo foi demonstrado que SNPs anteriormente associados com CAR em bovinos taurinos não apresentaram boa segregação em bovinos Nelore. Entretanto, polimorfismos nos genes da calpaína, calpastatina e do receptor do hormônio do crescimento ou em genes que regulam o sistema ubiquitina-proteassoma e o processo de tradução de proteínas podem ser associados com a eficiência alimentar, em efeitos aditivos e de dominância.

CONCLUSÃO

Animais mais eficientes para CAR consomem menos alimento, apresentam os mesmo índices de desempenho, são menos afetados em situações estressantes e possuem menores gastos com energia de manutenção, porém, podem apresentar menor gordura corporal quando comparados a animais menos eficientes. Os estudos realizados, até o presente momento, demonstram que o CAR é uma medida que possui sua regulação fisiológica complexa e dependente de muitos fatores genéticos, ambientais e nutricionais.

Possivelmente, os efeitos benéficos para o sistema de produção perante a seleção para melhorar o CAR, seriam relacionados ao impacto ambiental e à rentabilidade, porém, são necessários mais estudos para avaliação das consequências relacionadas a composição corporal. Também são necessários mais estudos sobre o metabolismo animal para maior esclarecimento das variações possíveis na fisiologia dos animais divergentes para CAR.

O novo enfoque da genômica pode auxiliar os estudos em eficiência alimentar, principalmente por acelerar o descobrimento de processos relacionados com a mesma. Da mesma forma, a descoberta de marcadores moleculares associados com características de eficiência alimentar podem melhorar a acurácia da seleção genética para medidas de eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.; LANNA, D.P.D; LEME, P.R. Consumo alimentar residual: um novo parâmetro para avaliar a eficiência alimentar de bovinos de corte. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...**, 2004. p.4.

ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005, 181p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2005.

ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; et al. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2024-2032, 1997.

ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Feed efficiency in beef cattle. In: Feed Efficiency Workshop, 2001, Armidale. **Proceedings...** Cooperative Research Centre for Cattle a Beef Quality, 2001. p.1-107.

ARCHER, J.A. et al. Genetic variation in feed intake and feed efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, **Proceedings...** Montpellier, 2002.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; et al. Genetic and phenotypic variation in feed intake, feed efficiency and growth in beef cattle. In: Conference of the Association for the

- Advancement of Animal Breeding and Genetics, **Proceedings...** Queenstown, v.12, p.234-237, 1997.
- ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.2805-2811, 2001.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.269-279, 2008.
- BARENDSE, W.; REVERTER, A.; BUNCH, R.J.; et al. A validate whole-genome association study of efficient food conversion in cattle. **Genetics**, v.176, p.1893-1905, 2007.
- BASARAB, J.A.; PRICE, M.A., AALHUS, J.L.; et al. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.83, p.189-204, 2003.
- BINGHAM, G.M.; FRIEND, T.H.; LANCASTER, P.A.; et al. Relationship between feeding behavior and residual feed intake in growing Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, v.87, p.2685-2689, 2009.
- BONIN, M.N. DEMARCHI, J.J.A.A.; MIZUBOTI, I.Y.; et al. Avaliação do consumo alimentar residual em touros jovens da raça Nelore Mocho em prova de desempenho animal. **ActaScientiarum**, v.30, n. 4, p. 425-433, 2008.
- CHANNON, A.F.; ROWE, J.B.; HERD, R.M. Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.44, p.469-474, 2004.
- CORVINO, T.L.S. **Caracterização do consumo alimentar residual e relações com desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore 2010**. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2010.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. 4ed. Essex Addison Wesley Longman Ltda., 1987, p.1-2.
- FERREL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, v.58, p.234-243, 1984.
- FNP Consultoria&Comércio. **ANUALPEC 2012: Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo, SP. 2012. 378p.
- GIBB, D.J.; McALLISTER, T.A. The impact of feed intake and feeding behavior of cattle on feedlot and feedbunk management. **Western Nutritional Conference**, v.20, p.101-116, 1999.
- GOMES, R.C.; BALLOU, M.A.; SIQUEIRA, R.F.; et al. Blood cell profiles and plasma concentrations of glucose and cortisol of Nelore steers and bulls selected for low and high residual feed intake before and following a mild stressor. In: 2008 ADSA-ASAS JOINT MEETING, 2008, Indianapolis. **Anais...** Indianapolis, FASS, 2008.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; LEME, P.R. Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nelore steers with high and low residual feed intake. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, p.44 - 50, 2013a.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D., SILVA, S.L.; et al. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nelore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, v.150, p.265-273, 2012.

GOMES, R.C.; SIQUEIRA, R.F.; BALLOU, M.A.; et al. Hematological profile of beef cattle with divergent residual feed intake, following feed deprivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1105-1111, 2011.

GOMES, R.C.; CARVALHO, M.E.; REZENDE, F.M.; et al. Protein synthesis and degradation gene SNPs related to feed intake, feed efficiency, growth and ultrasound carcass traits in Nelore cattle. **Genetics and Molecular Research**, no prelo, 2013b.

GOMES, R.C. **Metabolismo Proteico, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore (*Bos indicus*) em função de seu consumo alimentar residual**. 2009. 93 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

GOMES, R.C.; SANTANA, M.H.A.; FERRAZ, J.B.S.; et al. **Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte: metodologia de avaliação e instalações para viabilizar a colheita de dados na fase pós-desmama**. 1. ed. Ribeirão Preto: Funpec, 2011. v.1. 77p.

GUNSETT, F.C. Linear index selection to improve traits defined as ratios. **Journal of Animal Science**, v.59, p.1185-1193, 1984.

HERD, R.M.; BISHOP, S.C. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. **Livestock Production Science**, v.63, p.111-119, 2000.

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; HEGARTY, R.S.; et al. Potential to reduce greenhouse gas emissions from beef production by selection for reduced residual feed intake. **Proceedings...**, 7th World Congress of Genetic Applied to Livestock Production. v.31, p.281-284, 2002.

HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, v.81, p.9-17, 2003.

HERD, R.M.; DICKER, R.W.; LEE, G.J.; et al. Steer growth and feed efficiency on pasture are favourably associated with genetic variation in sire net feed intake. **Animal Production in Australia**, v.25, p.93-96, 2004a.

HERD, R.M.; ODDY, V.W.; RICHARDSON, E.C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle: 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.44, p.423-430, 2004b.

JI, S.Q.; SCOTT, R.R.; SPURLOCK, M.E. Partial cloning of the bovine leptin gene and its expression in adipose depots in cattle before and after finishing. **Journal of Animal Science**, v.75, p.167-179, 1997.

KOCH, R.; SWIGER, L.A., CHAMBERS, D.; et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, p.486-494, 1963.

LANNA, D.P.D.; ALMEIDA, R. 2004. Exigências nutricionais e melhoramento genético para eficiência alimentar: experiências e lições para um projeto nacional. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...**, 2004. p.248-259.

LEME, P.R., GOMES, R.C. Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual. In: XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Cuzco, Perú. **Anais da XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)**, 2007.

LIU, M.F.; GOONEWARDENE, L.A.; BAILEY, D.R.C.; et al. A study in the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, v.80, p.435-441, 2000.

LOBLEY, G.E.; MILNE, V.; LOVIE, J.M.; et al. Whole body and tissue protein sintesis in cattle. **The British Journal of Nutrition**, v.43, p.491-502, 1980.

McDONAGH, M.B.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; et al. Meat quality and the calpain system of feedlot steers following a single generation of divergent selection for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, p.103-121, 2001.

MINTON, J.E.; BINDEL, D.J.; DROUILLARD, J.S.; et al. Serum leptin is associated with carcass traits in finishing cattle. **Journal of Animal Science**, v.76, p.231-240, 1998.

MONTANHOLI, Y.R., SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; et al. On the determination of residual feed intake and association of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls, **Livestock Science**, v.125, p.22-30, 2009.

MOORE, S.; MUJIBI, F.D.; SHERMAN, E.L. Molecular basis for Residual Feed Intake in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.87, p.41-47, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 1996, 242p.

NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHINSON, G.W.; et al. Relationships of feedlot, feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, p. 145-153, 2006.

OKINE, E.K.; BASARAB, J.A.; GOONEWARDENE, L.A.; et al. Residual feed intake – What is it and how does it differ from traditional concepts of feed utilization. **Proceedings...**, Canadian Society of Animal Science Conference, Saskatoon, p.10-13, 2003.

PAULINO, P.V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Consumo residual, performance e características de carcaça de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. In: 6º Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas, **Anais...**, Uberaba, 2005.

PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 6 .ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2012, 758p.

RAUW, W.M.; KANIS E.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E.N.; et al. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. **Livestock Production Science**, v.56, p.15-33, 1998.

RICHARDSON. E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, J.A.; et al. Possible physiological indicators for net feed intake conversion efficiency. **Proceedings...**, Australian Society of Animal Production, v.21, p.103-106, 1996.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ODDY, V.H.; et al. Body composition and implications for heat production of Angus steers progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, p.1065-1072, 2001.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; COLDITZ, I.G.; et al. Blood cell profiles of steer progeny from parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.42, p.901-908, 2002.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; et al. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.44, p.443-454, 2004.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle: 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.44, p.431-440, 2004.

SANTANA, M.H.A. **Relação do consumo alimentar residual e conversão alimentar com características de carcaça, perfil metabólico e sanguíneo de touros Nelore**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R.; CUCCO, D.C. Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nelore bulls. **Livestock Science**, v.145, p.252-257, 2012.

SHERMAN E.L.; NKRUMAH, J.D.; MURDOCH, B.M.; et al. Polymorphisms and haplotypes in the bovine neuropeptide Y, growth hormone receptor, ghrelin, insulin-like growth factor 2, and uncoupling proteins 2 and 3 genes and their association with measures of growth, performance, feed efficiency, and carcass merit in beef cattle. **Journal of Animal Science** v.86, p.1-16, 2008.

SHERMAN E.L.; NKRUMAH, J.D.; LI, C.; et al. Fine mapping quantitative trait loci (QTL) for feed intake and feed efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.87, p.37-45, 2009.

SHERMAN E.L.; NKRUMAH, J.D.; MOORE, S.S. Whole genome single nucleotide polymorphism associations with feed intake and feed efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.88, p.16-22, 2010.