**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e
qualidade de carne de novinhos Nelore confinados**

Andréa Roberto Duarte Lopes Souza

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens**

**Piracicaba
2012**

Andréa Roberto Duarte Lopes Souza
Zootecnista

Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore confinados

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE DUARTE LANNA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Souza, Andréa Roberto Duarte Lopes

Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore confinados / Andréa Roberto Duarte Lopes Souza. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
85 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Bovinos de corte 2. Carcaça 3. Carnes - Qualidade 4. Confinamento animal
5. Consumo alimentar 6. Gado Nelore 7. Gordura 8. Novilhos I. Título

CDD 636.291
S729r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, **Antônio Lopes de Souza Neto e Seila Roberto Duarte Lopes Souza**, que perto ou longe, no silêncio das minhas noites e dias, estiveram sempre presentes me apoiando e tornaram possíveis as minhas conquistas. Obrigada pai, obrigada mãe, por confiarem e acreditarem em mim, embora em alguns momentos eu tenha duvidado que chegaria aqui. Sem vocês eu não conseguiria, aliás, não existiria!!!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao “Patrão”, pela vida cheia de desafios, pela saúde, pela família, pela força de vontade concedida para vencer desafios, profissionais ou pessoais, pelo aprendizado com as dificuldades surgidas e pelos verdadeiros amigos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ) e à coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens, pela contribuição na minha formação profissional e oportunidade de realização do curso de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Gado de Corte por possibilitar o desenvolvimento do experimento, disponibilizar animais e instalações para execução do projeto de doutorado.

Aos funcionários da Embrapa Gado de Corte, por facilitarem a caminhada e pela ajuda e pelo convívio bem humorado.

Ao professor Dr. Dante Pazzanese Duarte Lanna, pela orientação, ensinamentos e contribuição para meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Dr. Sérgio Raposo de Medeiros, pela orientação, incentivo, amizade, paciência e confiança.

Ao Professor Dr. Gerson Barreto Mourão, que dedicou seu tempo para as análises estatísticas dos dados. Seu trabalho foi fundamental para realização deste trabalho.

Aos professores do departamento de Zootecnia da ESALQ, em especial: Carla Maris Machado Bittar, Alexandre Vaz Pires e Wilson Mattos. Embora eu não tenha cursado suas disciplinas, contribuíram imensamente para minha formação pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Sila Carneiro da Silva, coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens, pelo exemplo de dedicação, sempre buscando a máxima qualidade do ensino.

Aos companheiros de atividades experimentais, os bolsistas Dorival Falchi Filho e Rafael Silva. Muito obrigada pelo suporte, pelos momentos de muito trabalho e alegria. Sem vocês tudo teria sido muito mais difícil.

À todos os estagiários que participaram da condução das duas etapas do experimento.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Gado de corte e à Professora Dra. Maria da Graça Morais, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela colaboração na realização das análises bromatológicas.

Aos amigos do laboratório de Nutrição e Crescimento Animal: Yuri Farjalla, Gabriela, Mariana Caetano, Tiago Albertini, Amália Saturnino, Pâmela Rizzo e Fabiane Souza.

À Tuka, ou melhor, à “mãe” Tuka, pela ajuda e paciência, pelos cafezinhos, por promover momentos alegres no LNCA!!!!

Aos irmãos que fiz na ESALQ, Luciane Mendes e Ronaldo Lucas, sempre presentes com alegria e otimismo, pelo apoio e excelentes momentos compartilhados.

À irmã de sangue que eu não tenho...Michele...Sem você eu estaria perdida...Não tenho palavras para expressar meus sentimentos e consideração por você! Obrigada pela força, companheirismo, apoio e ensinamentos em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis! Você tem total participação nessa conquista!!! Você me inspira!!

Aos meus pais, irmãos Jonathan e Symon e às minhas pequenas jóias, Gabriel e Isabela, lindos sobrinhos! Obrigada por acreditarem em mim!

Aqueles que no momento a minha memória trai e não me permite lembrar, a todos que estiveram envolvidos e colaboraram para conclusão de todas as etapas deste doutorado.

Muito obrigada!!!

“O homem que nunca erra é aquele que não faz nada”

SUMARIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Índices de eficiência alimentar para melhoramento genético de bovinos.....	19
2.1.2 Consumo alimentar residual como índice de eficiência alimentar	20
2.1.2.1 Estimativa do consumo alimentar residual	20
2.2 Potenciais efeitos da seleção para o CAR sobre características produtivas e qualidade de carne de bovinos de corte.....	22
2.3 Fatores envolvidos na variação da eficiência alimentar em bovinos de corte	29
2.3.1 Utilização da energia da dieta	29
2.3.2 Composição corporal de animais eficientes	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Obtenção das famílias de meios-irmãos	37
3.2 Coleta de dados de desempenho.....	38
3.2.1 Consumo de matéria seca, exigências e energia líquida da dieta.....	41
3.2.2 Ganho de peso e composição corporal dos animais.....	42
3.3 Abate	43
3.3.1 Avaliação de características de carcaça e qualidade de carne	43
3.4 Custos de produção e margem de contribuição	46
3.5 Análise dos dados	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 Características de desempenho e composição corporal	51
4.2 Características de carcaça e qualidade de carne.....	61
4.3 Custos de produção e margem de contribuição durante o confinamento	68
5 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	75

RESUMO

Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore confinados

Embora possua o maior rebanho comercial do mundo, o Brasil está longe de liderar pesquisas relacionadas ao melhoramento genético de bovinos de corte para eficiência alimentar. Alguns países investiram em estudos para seleção de animais eficientes e identificação de marcadores moleculares associados a esta característica. A seleção genética de animais eficientes representaria economia de alimentos, reduziria o impacto ambiental e aumentaria a rentabilidade da atividade. Obviamente é um desafio identificar animais mais eficientes em um rebanho de 205 milhões de cabeças, pois, além da mensuração ser cara, os resultados são obtidos a longo prazo. As associações entre eficiência alimentar e desempenho de bovinos de corte são conhecidas, porém avaliações envolvendo os impactos da seleção para eficiência sobre composição corporal e qualidade de carne de novilhos Nelore ainda são incipientes. O objetivo neste trabalho foi estudar relações entre eficiência alimentar, composição corporal, características de carcaça e qualidade da carne em bovinos Nelore confinados. Foram confinados, em dois anos, 322 novilhos para avaliação de características de carcaça e qualidade de carne. Deste total, 159 foram confinados em baias individuais, dos quais 92 foram avaliados quanto ao consumo alimentar residual (CAR). Foram calculadas a eficiência alimentar, eficiência parcial de crescimento, taxa relativa de crescimento, índice de Kleiber e CAR. No abate foram obtidos dados de rendimento, comprimento e profundidade de carcaça, área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, peso do coração, fígado, rins e gordura interna. Foram obtidas variáveis de qualidade da carne de amostras não maturadas do *Longissimus dorsi* (pH, força de cisalhamento, cor da carne e gordura, perdas por cocção, capacidade de retenção de água e extrato etéreo). Foram analisados os coeficientes de regressão linear entre as variáveis avaliadas e o CAR. Animais mais eficientes apresentaram consumo no mínimo 12% menor que os ineficientes ($P < 0,05$). A variação do CAR em 1 kg MS/dia melhorou a eficiência alimentar em 7% para o mesmo ganho de peso. Houve relação positiva entre CAR e espessura de gordura subcutânea ($P < 0,05$). Características de carcaça, peso do coração e do fígado, gordura interna e parâmetros de qualidade da carne não foram relacionados com CAR ($P > 0,05$). No entanto, a diminuição do CAR reduziu a deposição de gordura subcutânea, avaliada por ultrassom ($P < 0,05$). Consistente com essa redução, o conteúdo de gordura intramuscular diminuiu ($P = 0,08$), indicando uma relação positiva entre CAR e deposição de gordura. A energia retida, estimada pela composição corporal, foi reduzida em 0,4 Mcal / dia. Isto significa que mudanças na composição corporal foram capazes de explicar 36% das diferenças no consumo de alimentos entre animais eficientes e ineficientes quanto ao CAR. A margem de contribuição (lucro) foi positivamente relacionada ao CAR ($P < 0,05$), mas foi muito melhor correlacionada com a eficiência alimentar e ganho de peso. A associação de CAR com rentabilidade foi tão boa quanto medição de área de olho de lombo. O CAR está associado com a composição do ganho dos animais e pouco correlacionado com a lucratividade em confinamento. Animais eficientes quanto ao CAR apresentaram redução na deposição de gordura subcutânea.

Palavras-chave: Bovinocultura de corte; Consumo alimentar residual; Espessura de gordura

ABSTRACT

Feed efficiency and its relationships with profitability, carcass characteristics and meat quality of Nellore steers

Although Brazil has the largest commercial beef cattle herd of the world, research on genetic improvement of beef cattle for feed efficiency is incipient. Some countries have invested in studies to identify feed efficient animals and to find molecular markers associated with this characteristic. Genetic selection of efficient animals can resulting lower costs, reduced environmental impact and increased profitability. Obviously identifying the most efficient animals is a challenge in a herd of 205 million head as measurement of feed intake is expensive. Associations between feed efficiency and performance of beef cattle are known, but possible impacts of selection for efficiency on body composition and meat quality of Nellore are still unknown. The objective of this study was to investigate relationships of feed efficiency with corporal composition, carcass characteristics and meat quality in Nellore steers finished in the feedlot. To evaluate carcass characteristics and meat quality, 322 steers were fed over a two year period. Of this total, 159 were housed in individual pens and 92 were evaluated for feed consumption. Feed efficiency, residual feed intake (RFI) partial efficiency of growth, relative growth rate and Kleiber's index were calculated. Variables evaluated were: dressing, yield carcass linear measurements, loin eye area, fat thickness and weights of heart, liver, kidneys and internal fat. Longissimus dorsi pH, shear force, color of meat and fat, cooking losses, holding water capacity and ether extract were collected. The linear regression coefficients between these variables and RFI were calculated. Efficient and inefficient animals were separated as those that had 1 unit difference in RFI. The efficient animals intake were 12% lower than the inefficient animals ($P<0.05$). The variation of RFI by 1 kg DM/day improved feed conversion efficiency by 7%. There was a positive relationship between RFI and subcutaneous fat thickness ($P<0.05$) as well as with fat thickness deposition ($P<0.05$). Carcass characteristics, heart and liver weight, internal fat and meat quality parameters were not related to RFI ($P>0.05$). Consistent with the reduction in subcutaneous fat deposition there was a decrease in the fat content ($P=0.08$), indicating a positive relationship between RFI and fat deposition. The retained energy, estimated by the difference in body composition, was reduced by 0.4 Mcal/day in inefficient vs efficient animals. This means that the change in estimated body composition was able to explain 36% of the difference in feed intake between RFI efficient and RFI inefficient animals. Individual profit was calculated and it was positively associated to RFI ($P<0.05$). However, profit had much greater association with feed conversion efficiency ($r=0.75$) as well as with weight gain ($r=0.53$). The association of RFI with profitability was low (0.23) and about as good as the measurement of loin eye area ($r=0.20$). In this work RFI was associated with leaner composition of weight gain and was not well correlated with profitability in the feedlot.

Keywords: Beef cattle; Residual feed intake; Fat thickness

1 INTRODUÇÃO

O rebanho bovino brasileiro é constituído por aproximadamente 205 milhões de cabeças (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2009), representados em 80% pela raça Nelore (PEREIRA, 2004). Os animais zebuínos são maioria no rebanho por serem adaptados às condições tropicais, devido à sua maior capacidade de manutenção em condições com restrições nutricionais, maior resistência aos parasitas (LUCHIARI FILHO; MOURÃO, 2006) e menor exigência nutricional em relação aos animais taurinos (NRC, 1984).

Além de animais adaptados, o Brasil possui alto potencial para produção de carne bovina, em razão de sua extensão territorial para produção de grãos e pastagens. Essas características da pecuária de corte proporcionaram ao Brasil o título de segundo maior produtor mundial em equivalente carcaça, além de ser, desde 2005, o maior exportador de carne bovina. Estima-se que o Brasil continuará apresentando intenso dinamismo na produção de carne nos próximos anos, com crescimento previsto de 3,5% ao ano no período de 2009 a 2018/2019 (BRASIL, 2009). Neste cenário, o Brasil destaca-se como um dos maiores exportadores de carne no comércio mundial.

Porém, para manter-se na liderança e atender à crescente demanda e exigência por qualidade do mercado consumidor de carne bovina, o país deverá aumentar a produtividade do rebanho com sustentabilidade ambiental e ao mesmo tempo garantir a qualidade do produto final. Para isso será necessário intensificar e garantir a sustentabilidade da produção, evitando a ampliação de novas áreas e minimizando os conseqüentes prejuízos ao meio ambiente.

Uma alternativa interessante para reduzir o futuro impacto ambiental associado ao aumento da produção e ainda garantir a economicidade da atividade, seria a identificação e seleção de animais eficientes na utilização do alimento, capazes de ingerir menor quantidade de alimento e apresentarem desempenhos e rendimentos de carcaça satisfatórios. A seleção de animais mais eficientes poderá contribuir para a redução da produção de gás carbônico, metano e resíduos sólidos, o aumento da capacidade de suporte das pastagens, a intensificação das áreas já exploradas e a redução de pressão por novas áreas. Resultados de pesquisas recentes evidenciam que animais eficientes emitem menos metano, tanto em

quantidade absoluta quanto relativa ao consumo de matéria seca, sendo fator de relevância ao considerar os potenciais impactos negativos da produção de carne sobre o meio ambiente (HEGARTY et al., 2005; NKRUMAH et al., 2006; MILLIS et al., 2009). Além do benefício ambiental, a melhoria na eficiência alimentar implicaria em grande impacto econômico por se tratar de uma variável produtiva diretamente associada ao custo com alimentação.

No entanto, os programas de avaliação genética para bovinos de corte no Brasil são baseados em melhoria das características relacionadas ao crescimento, como pesos em diferentes idades e ganho de peso (ALENCAR, 2004). A falta de interesse dos programas para a inclusão da eficiência alimentar provavelmente está na dificuldade de mensurar o consumo alimentar individual, particularmente em sistemas extensivos de produção. Apesar de ser uma avaliação possível em provas de ganho em confinamento, apresenta limitações para inclusão nas rotinas de avaliação genética devido aos custos elevados associados à maior demanda de mão-de-obra e investimento em dietas e instalações.

Essas avaliações podem se tornar inviáveis se o tempo de confinamento for muito longo. Não se sabe ao certo quanto tempo de avaliação de consumo individual seria necessário para identificação de novilhos Nelore eficientes, mas na literatura o tempo de avaliação individual indicado para obtenção de valores acurados de consumo é 35 dias e, para a obtenção do ganho de peso e eficiência alimentar é recomendado o período mínimo de 70 dias (ARCHER; BERGH, 2000; WANG et al., 2006; CASTILHOS et al., 2011).

De acordo com Kennedy et al. (1993), outra razão para a eficiência alimentar não ser mensurada estaria relacionada à premissa de que este índice é positivamente correlacionado ao peso e ganho, e por serem características relativamente fáceis de serem avaliadas à campo, vêm sendo utilizadas há algum tempo como critério de seleção em programas de melhoramento genético de bovinos de corte. A longo prazo a seleção para peso e ganho poderá levar ao aumento no tamanho adulto dos animais, já que há correlação genética positiva entre pesos em idades jovens e à maturidade de fêmeas (BULLOCK et al., 1993; SILVA et al., 2000; TALHARI et al., 2003).

O aumento no tamanho adulto de vacas, por exemplo, poderia comprometer o desempenho e a eficiência reprodutiva dos animais em condições nutricionais limitantes (LANNA; ALMEIDA, 2004). Logo, a idéia de que a seleção para maiores ganhos aumentaria a eficiência esbarra nesta correlação, pois animais de maior peso adulto têm maior exigência nutricional (NRC, 1984). No Brasil, a maioria dos animais são criados em pastagens, formadas predominantemente por gramíneas tropicais que apresentam grande flutuação sazonal de produção e de qualidade. Desta forma, o tamanho adulto dos animais passa a ser ainda mais importante para a eficiência biológica e econômica dos sistemas de produção.

Vários pesquisadores (ARCHER et al., 1999, 2002; ARTHUR et al., 2001; BASARAB et al., 2003; CARSTENS et al., 2002; HERD et al., 2003) observaram que há considerável variabilidade entre os animais para consumo e eficiência alimentar. Segundo Archer et al. (1999), apesar desta variabilidade indicar que existe a possibilidade de melhorias na eficiência de utilização de alimentos pelos animais por meio de seleção genética, os autores alertam para a importância de conhecer as relações fenotípicas e principalmente genéticas existentes entre a eficiência e demais variáveis, como precocidade sexual, fertilidade, ganho de peso, padrões de carcaça e/ou qualidade de carne.

Um índice alternativo de eficiência alimentar que possivelmente não resultaria no aumento do peso adulto do rebanho é o Consumo Alimentar Residual (CAR). O CAR é uma medida obtida pela diferença entre o consumo observado além ou aquém do necessário para atender as exigências estimadas de manutenção e crescimento (BASARAB et al., 2003). Em outras palavras, é a diferença entre o consumo real e a quantidade de alimento que um animal deveria ingerir baseado no seu peso vivo metabólico médio e ganho de peso. Logo, animais eficientes são aqueles que apresentam CAR negativo (consumo observado menor que o predito) e menos eficientes os de CAR positivo (consumo observado maior que o predito).

Pelo fato de ser ajustado para ganho e peso metabólico, o CAR possibilita a identificação de indivíduos com menor consumo de alimentos que apresentem peso e ganho semelhantes. Isto indica que a seleção de animais eficientes pelo CAR pode melhorar consideravelmente a rentabilidade da produção de carne bovina, já que os investimentos em alimentação representam em torno de 80 % das despesas

no confinamento. Assim, no atual cenário de produção de bovinos de corte, com margem estreita de lucro, o interessante é não somente identificar e selecionar animais com ganho de peso superior, mas geneticamente mais eficientes e com menor consumo, pois estas variáveis são componentes chaves para redução dos custos de produção e aumento da lucratividade.

Além das vantagens citadas, o CAR é uma característica que apresenta herdabilidade moderada a alta, com a maior parte das estimativas publicadas variando entre 0,30 a 0,39 (KOCH et al, 1963; FAN et al., 1995; ARCHER et al, 1998; ARTHUR et al., 2001a). Arthur et al. (2001a) relataram haver satisfatória variabilidade fenotípica em animais da raça Angus identificados pelo consumo alimentar residual e sugeriram que o CAR pode ser usado como critério de seleção para eficiência alimentar.

Apesar das vantagens do CAR para identificação de animais eficientes, as consequências da sua utilização como critério de seleção sobre composição da carcaça e qualidade de carne são pouco conhecidas. Alguns resultados de trabalhos (ARCHER et al., 1999; BASARAB et al., 2003, CARSTENS et al., 2002; HERD et al., 2004; ROBINSON; ODDY., 2004; KELLY et al., 2010) evidenciaram que os animais identificados por este índice tendem a apresentar carcaças mais magras, com menor quantidade de gordura intramuscular e de acabamento.

No Brasil existem poucos trabalhos avaliando a variabilidade para as características de eficiência alimentar e qualidade de carne em bovinos da raça Nelore, sendo os primeiros realizados pelo Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal (ESALQ/USP). Nos estudos de avaliação do CAR em animais Nelore foram observadas variações fenotípicas semelhante às populações *Bos taurus* e a existência de correlações entre CAR e composição corporal, fato que evidenciou a produção de animais eficientes com menor teor de gordura corporal (GOMES, 2009; FARJALLA, 2009; NASCIMENTO, 2011). O objetivo nesta tese foi estudar as relações fenotípicas entre consumo alimentar residual, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore confinados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Índices de eficiência alimentar para melhoramento genético de bovinos

A identificação de bovinos de corte eficientes tem sido reconhecida pela comunidade científica como uma importante estratégia para reduzir os custos da produção da carne e por esta razão tem sido alvo de muitas pesquisas desenvolvidas na última década. Apesar do aumento do número de estudos nos últimos anos, as discussões acerca dos índices de eficiência tiveram início em meados século XX (KELLNER, 1909; BRODY, 1945; KLEIBER, 1936) e desde então, foram relatados várias maneiras para calcular eficiência alimentar. Dentre os índices de eficiência mais estudados estão a eficiência parcial de crescimento, índice de Kleiber, taxa relativa de crescimento, eficiência de manutenção, eficiência de produção, conversão alimentar, eficiência alimentar e consumo alimentar residual.

A eficiência parcial de crescimento é representada pela relação entre ganho de peso e consumo acima manutenção (KELLNER, 1909), o índice de Kleiber é obtido da relação entre ganho médio diário e peso médio metabólico (KLEIBER, 1936) e a taxa relativa de crescimento é um índice de eficiência referente à relação entre ganho de peso e crescimento instantâneo do corpo (FITZHUGH; TAYLOR, 1971). A eficiência de manutenção é calculada pela relação entre ganho de peso e consumo de alimento para manutenção e a eficiência de produção da relação entre carne produzida pelo consumo de alimento. Destes índices, a eficiência alimentar, obtida da razão entre o consumo e o ganho de peso, e a conversão alimentar, calculada pelo inverso desta relação, são os mais utilizados para identificação de animais eficientes (SCHENKEL et al., 2004).

Embora sejam os mais conhecidos, a sua utilização como critério de seleção em programas de melhoramento genético é limitada, uma vez que são medidas brutas e não levam em consideração as diferenças nas exigências de manutenção e crescimento dos animais (ARTHUR et al., 1996; MRODE et al., 1990; BISHOP et al., 1991) e estão diretamente relacionados à taxa de crescimento, cuja seleção poderia levar a aumentos na taxa de ganho e peso à maturidade. Além disso, o uso destas relações em programas de seleção pode resultar em problemas associados com a predição das mudanças nas características de gerações futuras, uma vez que

animais podem apresentar a mesma conversão com consumos de matéria seca e ganhos de peso bastante diferentes (HOQUE; SUZUKI, 2009).

Apesar de existirem ainda muitas dúvidas em relação ao melhor índice de eficiência a ser utilizado, um que tem se destacado nas últimas décadas dentre os demais citados, é o consumo alimentar residual (CAR). Esse índice é calculado levando em consideração o peso vivo metabólico, que é associado à exigência de manutenção, e o ganho de peso dos animais, e por ser ajustado para peso, a seleção de animais eficientes aparentemente não levaria ao aumento no peso adulto do rebanho, como a eficiência bruta (HERD; BISHOP, 2000; ARTHUR et al., 2001a,b).

2.1.2 Consumo alimentar residual como índice de eficiência alimentar

2.1.2.1 Estimativa do consumo alimentar residual

Para avaliação do consumo alimentar residual (CAR) os animais são confinados, em baias coletivas ou individuais, por aproximadamente 70 dias, período mínimo recomendado para garantia da acurácia dos dados (ARCHER; BERGH 2000). O consumo médio de alimento em confinamento pode ser obtido de forma acurada com aproximadamente 35 dias de avaliação (ARCHER et al., 1997). Porém, como a estimativa do CAR leva também em consideração o ganho de peso, cuja variação ao longo do tempo é maior, um período maior de avaliação é recomendado para estimativa da eficiência, em torno de 70 a 84 dias (WANG et al., 2006).

Diversos são os modelos utilizados na predição do consumo que dá origem ao CAR, o primeiro deles foi proposto por Koch et al. (1963), cuja equação é baseada no peso médio metabólico e ganho médio diário. Devido à constatação da associação do CAR com características de composição corporal dos animais, alguns modelos incluem variáveis como espessura de gordura, marmorização e área de olho de lombo, na tentativa de minimizar as diferenças de composição (RICHARDSON et al, 2001;. BASARAB et al, 2003; SCHENKEL et al, 2004; LANCASTER et al, 2009a;. LANCASTER et al, 2009b; KELLY et al, 2010).

O CAR proposto por Koch et al. (1963) é resultado da diferença entre o consumo de matéria seca (CMS) observado e o predito, sendo o predito obtido pela regressão linear múltipla do consumo observado em função do peso vivo metabólico ($PV_{\text{médio}}^{0,75}$) e ganho médio diário (GMD), cujo intercepto (β_0) e coeficientes de

regressão (β_1 e β_2) são médios para o grupo e resíduo (ε) o erro de cada observação:

$$\text{CMS} = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{PV}_{\text{médio}}^{0,75}) + \beta_2 \times (\text{GMD}) + \varepsilon$$

Assim, o CAR é a diferença entre o consumo real e a quantidade de alimento que um animal deveria ingerir baseado no seu peso vivo metabólico médio e taxa de ganho de peso. Graficamente, o CAR de cada animal pode ser visualizado como a distância vertical do ponto de consumo de cada animal até a linha de regressão (Figura 1). Animais acima da linha (CAR positivo) consomem mais do que o predito, portanto são menos eficientes ($\text{CAR} < +0,5 \text{ kg/dia}$); enquanto que os animais abaixo da linha (CAR negativo) consomem menos do que o predito, e, portanto, são mais eficientes ($\text{CAR} > -0,5 \text{ kg/dia}$).

Figura 1 - Relação entre consumo de matéria seca observado e predito de novilhos Nelore (Fonte: Nascimento, 2011)

O coeficiente de determinação (R^2) da relação entre consumo observado e o consumo predito, baseado no peso médio metabólico e ganho de peso, indicam o quanto as variáveis utilizadas para predizer o consumo explicam a variação observada. Quando se inclui também as medidas de carcaça, como espessura de gordura e marmorização, observa-se aumento nos valores de R^2 na estimativa do CAR. Basarab et al. (2003) verificaram que essas variáveis representaram 6,8% da

variação do consumo de matéria seca e ao compararem o modelo original proposto por Koch et al. (1963) ao modelo com composição corporal, observaram aumento no coeficiente de determinação da estimativa de 0,71 para 0,76. Quando estes autores incluíram ganho em espessura de gordura na 12^a costela e ganho em marmorização, o valor R^2 aumentou em 3 pontos percentuais. Arthur et al. (2003) também verificaram aumento de 3,6 e 4,4 pontos percentuais no R^2 ao incluírem medidas de espessura de gordura da garupa e área de olho de lombo obtidas pelo ultrassom.

2.2 Potenciais efeitos da seleção para o CAR sobre características produtivas e qualidade de carne de bovinos de corte

O consumo alimentar residual apresenta amplitude considerável, com herdabilidade moderada, com estimativas publicadas entre 0,18 e 0,35 (KOCH et al., 1963; FAN et al., 1995; ARTHUR et al., 1997, 2001b; ARCHER et al., 1998; RENAND et al., 1998; HERD; BISHOP, 2000; ROBINSON; ODDY, 2004). Além de apresentar variação genética e moderada herdabilidade, as correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e ganho de peso obtidas são próximas de zero (ARCHER et al., 1998; HERD e BISHOP, 2000; ARTHUR et al., 2001a, 2001b). Essas características sugerem que este índice apresenta potencial de utilização como critério de identificação e seleção de animais mais eficientes sem aumento do tamanho adulto do rebanho.

Em estudos com linhagens de bovinos de corte da raça Angus produzidas entre os anos 1994 e 1999 foi observado que progênies selecionadas para CAR negativo apresentaram consumo 11% menor e ganho de peso semelhante ao de progênies de alto CAR (ARTHUR et al., 2001; RICHARDSON 2001; HERD et al., 2002; HERD et al., 2003). Quando estudaram o crescimento e características de eficiência alimentar na pós-desmama de bezerros provenientes de cinco anos de seleção divergente para CAR, Arthur et al. (2001a) observaram que as progênies das linha de seleção para CAR positivo e CAR negativo apresentaram ganho de peso e peso ao sobreano similares, mas com diferença de 1,247 kg/dia na ingestão

de matéria seca. Entre as linhas de seleção de CAR positivo e negativo foi possível observar redução de 14% nos custos com alimentação (ARTHUR et al., 2001a).

Ao avaliarem novilhos Angus em confinamento, Basarab et al. (2003) verificaram que os animais com CAR negativo apresentaram 940 gramas de consumo de matéria seca (CMS) a menos que os animais com CAR positivo, ganho médio diário (GMD) similares e melhoria de 9,4% na eficiência alimentar. Castro Bulle et al. (2007) observaram que novilhos Angus de CAR negativo apresentaram CMS 15% menor e GMD semelhante aos animais de CAR positivo. No estudo de Kelly et al. (2011), o GMD de novilhos taurinos de CAR positivo e negativo foram similares (1,83 vs 1,91 kg/dia, respectivamente) e os animais mais eficientes apresentaram menor CMS (10,39 vs 9,34 kg/dia, respectivamente). Durunna et al. (2011) também observaram GMD similares (1,84 vs 1,81 kg/dia) e CMS distintas (9,52 vs 11,3 kg/dia) entre novilhos orinundos de vacas acasaladas com touros Angus ou Charolês de CAR negativo e positivo.

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos avaliando grupos de CAR positivo e negativo realizados com animais da raça Nelore, nos quais GOMES (2009) observou ganho de peso similares (0,90 vs 0,90 kg), menor CMS (8,30 vs 8,94 kg/dia, respectivamente) e melhor conversão alimentar (9,82 vs 10,5 kg ganho/kg matéria seca). De forma semelhantae, FARJALLA (2009) verificou menor consumo de matéria seca (8,63 vs 10,37 kg/dia) e melhor eficiência alimentar (0,112 vs 0,099 kg MS ingerida/kg ganho) de novilhos Nelore de CAR negativo em relação aos CAR positivo.

As correlações genéticas entre CAR e CMS variam entre 0,38 e 0,83 (ARCHER et al, 1998; KORVER et al, 1991; ARTHUR et al. 2001a; ARTHUR et al. 2001b), ou seja, quanto menor o CAR, menor o consumo de alimentos. No estudo de Arthur et al. (2001a) foi observada correlação positiva entre CAR e CMS ($r = 0,60$). Os valores das correlações entre CAR e conversão alimentar (CA) são próximos aos citados para consumo, variando entre 0,53 e 0,70 (HERD; BISHOP, 2000; ARTHUR et al. 2001a; ARTHUR et al. 2001b). Fan et al. (1995) avaliaram novilhos Angus em confinamento e constataram valor de correlação genética entre CAR e CA superior aos citados anteriormente ($r_g = 0,90$). Nos estudos de ARTHUR et al., (2001a,b), o CAR foi positivamente correlacionado ao CMS ($r_g = 0,69$ e $r_g =$

0,66, respectivamente) e CA ($r_g = 0,85$ e $r_g = 0,79$, respectivamente). ROLFE et al. (2011) também obtiveram correlações significativas entre CAR e CMS ($r = 0,61$) e entre CAR e eficiência alimentar ($r = -0,92$). As correlações entre CAR e CMS para a raça Nelore estão na ordem de 0,74 (FARJALLA, 2009) e 0,24 (NASCIMENTO, 2011) e entre CAR e eficiência alimentar $r_p = -0,36$ (FARJALLA, 2009).

Além das correlações entre CAR e eficiência bruta e conversão alimentar, alguns pesquisadores incluem em suas avaliações outros índices de eficiência e suas relações com características de desempenho. Por exemplo, Nkrumah et al. (2004) avaliaram animais mestiços castrados e inteiros durante o mesmo período de tempo e detectaram correlação significativa entre eficiência parcial de crescimento (EPC) e ganho médio diário ($r = 0,24$). Nesta avaliação, os animais castrados foram menos eficientes que os inteiros para CAR, EPC e conversão alimentar (CA) e as médias de taxa relativa de crescimento (TRC) e índice de Kleiber (IK) não diferiram entre os grupos de CAR negativo e positivo. Durunna et al. (2011) quando avaliaram novilhos cruzados em confinamento não observaram correlações entre CAR e IK ($r = -0,01$), porém o IK foi significativamente correlacionado com EA ($r = -0,52$). Neste estudo, o CAR também foi correlacionado com a eficiência alimentar ($r = 0,84$).

A correlação positiva entre alguns índices e ganho médio diário foi significativa no estudo realizado por Arthur et al. (2001a) com dados de mais de 700 touros da raça Charolês em teste de desempenho pós-desmame. Os autores verificaram correlação negativa entre ganho de peso com conversão alimentar ($r = -0,54$) e eficiência parcial de crescimento ($r = -0,14$), bem como correlações significativas entre peso vivo e IK, TRC, EPC e CA.

Na maior parte dos trabalhos citados os autores observaram que as correlações fenotípicas entre ganho de peso, peso vivo e CAR são nulas. Porém, existem alguns resultados contraditórios, como os obtidos por Herd e Bishop (2000), que detectaram correlações genéticas significativas entre CAR e peso ao sobreano ($r = -0,25$ e $r = 0,15$, respectivamente). Jensen et al. (1992), avaliando novilhos confinados no primeiro e segundo período de teste, observaram correlações genéticas significativas entre CAR e ganho de peso ($r = 0,32$ e $r = -0,24$, respectivamente). Em avaliação de touros Charoles, Arthur et al. (2001a) também encontraram valor de correlação significativa entre ganho de peso e CAR ($r = -0,10$),

assim como Archer et al. (1998) ao avaliarem touros e novilhas Angus em confinamento ($r = -0,25$). ARTHUR et al. (2001b) relataram correlação genética positiva entre CAR e peso vivo em touros Charolês ($r = 0,32$). Com esses resultados fica evidente que a relação genética entre ganho de peso e CAR não pode ser considerada totalmente independente, apesar do CAR ser a única medida de eficiência fenotipicamente ajustada para peso e ganho de peso.

As relações entre CAR e outras variáveis de produção também têm sido estudadas. No estudo de Arthur e Herd (2005), envolvendo três ciclos de produção de vacas Angus divergentemente selecionadas para CAR no pós-desmame foi constatado que vacas de CAR negativo (mais eficientes) apresentaram melhor taxa de prenhez (90,5 vs 90,2%), taxa de parição (89,3 vs 88,3%), taxa de desmama (81,5 vs 80,2%) e peso ao nascer dos bezerros (33,6 vs 31,8 kg) que as vacas CAR positivo. Associando eficiência alimentar e características de desempenho reprodutivo, como fertilidade e peso dos bezerros de vacas de corte, Crowley et al. (2011) verificaram que a CA foi associada à melhorias no peso à desmama dos bezerros ($r=-0,61$), idade ao primeiro parto ($r=-0,55$), índice de Kleiber ($r=0,33$), CAR ($r=-0,29$) e taxa relativa de crescimento ($r=0,37$).

Com esses resultados os autores evidenciaram que a utilização do CAR possibilita a identificação de animais com menor consumo de alimentos e desempenho produtivo satisfatório, sem aumentar o tamanho adulto dos animais. Neste cenário, a utilização do CAR como índice de eficiência alimentar pode trazer muitas vantagens para o sistema de produção, principalmente considerando os benefícios financeiros, já que animais de CAR negativo demandam menor quantidade de ração no confinamento, fato que contribui para redução dos custos com alimentação. No entanto, outras variáveis de interesse econômico, como características de carcaça e qualidade de carne, devem ser consideradas em associações com eficiência alimentar para que os benefícios econômicos alcançados com a redução dos custos não sejam diminuídos por eventuais prejuízos na qualidade da carcaça.

Resultados obtidos de avaliações que relacionaram características de carcaça e qualidade de carne de animais de CAR positivo e negativo evidenciaram que animais mais eficientes apresentaram carcaças com menor espessura de gordura de

cobertura subcutânea (EGS), gordura intramuscular e gordura na cavidade abdominal (ARCHER et al., 1999; BASARAB et al., 2003, CARSTENS et al., 2002; ROBINSON; ODDY, 2004). No entanto, Arthur et al., (2001b) obtiveram correlação significativa entre CAR e medida de EGS obtida por ultrassom em novilhos e novilhas selecionados divergentemente para eficiência no pós-desmame ($r = 0,14$).

Basarab et al. (2003) também verificaram diferenças na composição corporal de animais de CAR positivo e negativo, com correlação positiva entre CAR e EGS ($r = 0,15$). HERD et al. (2003) constataram que novilhos de CAR negativo apresentaram menor EGS na 12/13^a costela, menor EGS de garupa (14,9 mm vs 16,5 mm) e menor área de olho de lombo (AOL) que novilhos de alto CAR. Schenkel et al. (2004), Robinson e Oddy (2004) e Nkrumah et al. (2006) também relataram existência de correlação fenotípica entre CAR e EGS em novilhos confinados ($r = 0,17$; $r = 0,48$ e $r = 0,25$, respectivamente).

Castro Bulle et al. (2007) observaram diferenças entre animais Angus x Hereford de CAR positivo e negativo na quantidade de gordura da carcaça, onde novilhos mais eficientes ganharam menos gordura (494 vs 719 g/dia). Além de correlações significativas entre CAR, EGS ($r = 0,20$) e ganho de EGS ($r = 0,30$), Lancaster et al. (2009a) observaram correlação entre CAR e AOL na avaliação de novilhos Angus e, ao compararem os grupos de CAR, concluíram que animais mais eficientes possuíam menos EGS e menor AOL que os animais ineficientes (18,99 cm² vs 22,04 cm², respectivamente). Mader et al. (2009) não detectaram correlações significativas entre CAR, EGS e AOL, mas detectaram correlação significativa entre CAR e gordura peri-renal ($r = 0,34$). Na avaliação de novilhos Angus em confinamento, Herd e Pitchford (2011) observaram que animais de CAR positivo apresentaram menor EGS em relação aos de CAR negativo (10,2 vs 11,6 mm, respectivamente).

Ao compararem a eficiência de produção de vacas de grupos de CAR negativo, médio e positivo acasaladas por monta natural durante três anos, Basarab et al. (2007) observaram menores valores de ganho de gordura em vacas de CAR negativo quando comparadas à vacas de CAR positivo em todos os anos de avaliações (-0,67 vs -0,79 kg, respectivamente). Avaliando fêmeas da raça Brangus,

Lancaster et al. (2009b) verificaram que o CAR foi correlacionado com a EGS ($r = 0,36$), o ganho de EGS ($r = 0,22$) e ganho em AOL ($r = 0,55$).

Em novilhos da raça Nelore também foram observadas diferenças na composição corporal dos animais eficientes. Gomes (2009) verificaram menor quantidade de gordura no trato gastrintestinal de novilhos Nelore de CAR negativo quando comparados aos novilhos CAR positivo (30,05 vs 36,8 kg, respectivamente). Ao avaliar novilhos Nelore em confinamento por 70 dias, Nascimento (2011) observou menor valor de EGS (5,08 vs 5,34 mm) e menor ganho de EGS (2,39 vs 2,64 mm) entre animais eficientes e ineficientes.

A composição corporal mais magra de animais eficientes, evidenciada pelos resultados de pesquisa, é um fator que deve ser considerado na seleção de animais eficientes, pois influencia diretamente o padrão de acabamento de carcaça exigido pelos frigoríficos. A espessura de gordura subcutânea, ou gordura de acabamento de carcaça, tem papel de isolante térmico no resfriamento da carcaça e evita que a temperatura do músculo diminua rapidamente e provoque um drástico encurtamento das fibras musculares, endurecimento e escurecimento da carne. Assim, este papel de isolante térmico evita a depreciação da qualidade da carne dos animais.

Associada a gordura de cobertura, a gordura intramuscular ou de marmorização são fundamentais para garantia da qualidade do produto, pois influenciam diretamente na suculência e sabor da carne. Mader et al. (2009) observaram correlações significativas entre CAR e escore de marmorização ($r = 0,17$), indicando que animais mais eficientes apresentam menor quantidade de gordura intramuscular. Nascimento (2011) avaliou qualidade de carne de novilhos eficientes e não eficientes quanto ao CAR e observou menor teor de extrato etéreo do músculo *Longissimus dorsi*, em novilhos Nelore eficientes (2,31 vs 2,49%, respectivamente). Além de efeitos na gordura intramuscular, a composição de carcaças mais magras pode influenciar também na capacidade de retenção de água da carne. A capacidade de retenção de água é um fator associado à perdas por gotejamento excessivo durante o armazenamento, transporte e comercialização da carne (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Avaliando qualidade de carne de novilhos de CAR negativo, médio e positivo, Baker et al. (2006) observaram que os bifes de animais de CAR médio e negativo

apresentaram menor proporção de lipídio e maior umidade que os bifes dos animais de CAR positivo, evidenciando que animais mais eficientes possuem maior capacidade de depositar músculo em detrimento à gordura quando comparados aos animais ineficientes. Neste trabalho as amostras dos animais CAR negativo apresentaram maiores perdas por cocção (21,2 vs 17,0%, respectivamente) em relação aos animais de CAR médio. A maior perda no cozimento em bifes com maior proporção de proteínas é consistente com o que a literatura relata sobre a biologia do músculo, uma vez que este é constituído por 75% de água. Porém, a maior umidade em bifes mais magros pode contribuir para redução do peso da carne (FAUSTMAN et al., 1998).

Outras características importantes a serem consideradas na avaliação de carcaças de animais de CAR negativo é o efeito da eficiência sobre a força de cisalhamento (indicador da maciez da carne) e os aspectos visuais, como coloração do músculo e gordura, que são atributos importantes para comercialização e consumo dos cortes cárneos. Egarr et al. (2009) verificaram ter sido necessária maior força de cisalhamento da carne de animais de CAR negativo em relação aos animais de CAR positivo. Por outro lado, ao avaliar qualidade de carne de novilhas cruzadas em confinamento, Reis (2009) não detectou diferença quanto à % de proteína (18,20 vs 18,80%, respectivamente) e % de gordura (4,58 vs 3,50%, respectivamente) nos bifes de animais de CAR positivo e negativo e a força de cisalhamento foi similar para os dois grupos de eficiência (5,19 vs 5,45 kg, respectivamente).

No estudo de Gomes (2009), envolvendo avaliação do CAR e qualidade de carne de novilhos Nelore, não foram detectadas diferenças significativas entre força de cisalhamento no músculo *Longissimus*, independente da realização do processo de maturação e das perdas por cocção de animais eficientes e ineficientes. Farjalla (2009) informou que médias de força de cisalhamento em carnes não maturadas foram semelhantes entre novilhos Nelore de CAR positivo e negativo, com valores de 4,60 vs 4,88 kgf, respectivamente. Nascimento (2011) observou valores similares de força de cisalhamento (8,08 vs 7,98 kgf/cm²) e perdas por cocção (27,3 vs 26,8%) nos bifes não maturados de novilhos Nelore eficientes e ineficientes quanto ao CAR avaliado em confinamento.

2.3 Fatores envolvidos na variação da eficiência alimentar em bovinos de corte

2.3.1 Utilização da energia da dieta

A energia bruta do alimento é a energia liberada na forma de calor após sua combustão completa em dióxido de carbono e água. Após o consumo a fração da energia bruta passível de ser digerida pelo animal é então denominada energia digestível, obtida pela diferença entre a energia contida no alimento ingerido e àquela contida nas fezes. A diferença entre a energia digestível e a energia perdida na produção de urina e gases permite o cálculo de energia metabolizável, que é a energia efetivamente disponível ao metabolismo do animal. A disponibilidade de energia metabolizável (EM) é determinada pelo teor de energia perdida pela urina, que varia em função da utilização do nitrogênio da dieta e tem maior impacto na excreção de óxido nítrico e amônia no ambiente (REYNOLDS et al., 2011).

A maior parte da energia perdida pelos gases está na forma de metano e representa cerca de 8% da energia bruta do alimento, quando a ingestão está no nível de manutenção e 6% para níveis maiores. A EM é efetivamente utilizada pelo animal na forma de energia líquida, representando a parte da energia metabolizável do alimento que é retida nos tecidos, leite, fetos, lã e pêlos. A perda de EM na forma de calor é resultado de uma variedade de funções, como metabolismo basal, atividade física, digestão e absorção, fermentação, formação de produtos metabólicos, regulação térmica, formação e excreção de resíduos, entre outros. A utilização da EM para manutenção e ganho de energia em tecidos depende de um conjunto de funções metabólicas no animal e da sua eficiência de absorção dos nutrientes para atender suas demandas metabólicas (REZENDE et al., 2006).

A eficiência de utilização da EM para manutenção é obtida da relação entre energia líquida para manutenção e energia metabolizável para manutenção (K_m) e a eficiência para ganho de energia em tecidos (K_g) da relação entre energia líquida para ganho e energia metabolizável para ganho (NRC, 1996). As variações da eficiência alimentar observadas na literatura vêm sendo associadas às diferenças nas etapas de utilização de energia da dieta pelos animais. A eficiência teórica de um ruminante deveria ser de 70% a 80%, no entanto têm sido observados valores entre 30% e 60%, demonstrando que os animais dificilmente atingem sua eficiência máxima (REZENDE et al., 2006). Assim, cada ponto citado da partição da energia é

extremamente importante de ser considerado para melhor entender as variações entre os indivíduos, principalmente na capacidade de converter o alimento em produto com eficiências distintas.

Todos os processos envolvidos na partição da energia tem início com o consumo dos alimentos, que é controlado por fatores físicos e químicos e seu aproveitamento varia de acordo com a relação volumoso:concentrado, composição química e digestibilidade da dieta. RICHARDSON; HERD. (2004) observaram correlação significativa entre CAR e digestibilidade da matéria seca ($r = -0,44$), ou seja, os animais eficientes (CAR negativo) aproveitaram melhor o alimento ingerido. Resultado similar foi observado por Nkurumah et al. (2006) que ao avaliarem novilhos cruzados de CAR negativo e positivo, observaram digestibilidade da matéria seca (75,33 vs 70,87%, respectivamente) e proteína bruta (74,70 vs 69,76%) significativamente maior em animais eficientes.

Em alguns estudos (NKRUMAH et al., 2006; CASTRO BULLE et al., 2007; MILLIS et al., 2009; JONES et al., 2011) os animais de CAR negativo foram mais eficientes na conversão da energia digestível em energia metabolizável, uma vez que produziram menor quantidade de metano entérico. Em bovinos de corte o CAR tem sido positivamente correlacionado com consumo, emissão de metano e produção de calor. De acordo com Nkurumah et al. (2006), quanto maior o CAR, maior a produção de metano, pois ambas variáveis são positivamente correlacionadas ($r = 0,44$). Hergarty et al. (2007) verificaram que o menor consumo de animais eficientes (CAR negativo) resultou na redução de 18% da produção diária de metano. Jones et al. (2011) observaram redução de 27% na emissão de metano quando compararam novilhas Angus de CAR positivo e negativo em pastejo.

O metano é um fator importante para melhorias na eficiência alimentar por ser produto da fermentação dos alimentos. Em torno de 18% da energia bruta ingerida é perdida pela produção de calor na fermentação dos alimentos (NRC, 1996) e isto inclui a produção deste gás. A redução da produção de metano em animais eficientes é proporcional à redução do consumo de alimentos, no entanto a manutenção do ganho de peso pode ser resultado de melhorias na eficiência energética no rúmen, em função de mudanças na relação acetato:propionato, já que a síntese de metano depende diretamente da disponibilidade de gás carbônico, que

é um produto da síntese de ácidos graxos voláteis. As diferenças nas médias de concentração de propionato entre animais de CAR positivo e negativo foram observadas por Lawrence et al. (2011), quando avaliaram novilhas em confinamento (189 x 202 mmol/mol AGV, respectivamente).

Esses mesmos autores também verificaram diferenças na relação acetato:propionato (3,66 x 3,33 mmol/mol AGV, respectivamente) entre as novilhas de CAR positivo e negativo. Como a síntese de propionato não resulta na produção de gás carbônico e não libera calor, a redução da produção de metano também pode ser consequência das diferenças do padrão de fermentação dos animais baixo CAR, pois os esqueletos de carbono que seriam perdidos pela eructação passam a ser direcionados para outros processos, como síntese de tecidos, aumentando a quantidade de energia retida pelo animal e diminuindo a produção de calor. Valores de correlação positiva entre CAR e produção de calor ($r = 0,56$) em novinhos Angus foi observada por Basarab et al. (2003). Nkrumah et al. (2006) verificaram menor produção de calor dos novinhos de CAR negativo (129,32 x 163,97 kcal/kg PV^{0,75}).

A menor produção de calor e melhor eficiência alimentar pode ser consequência também das variações comportamentais dos animais. Na revisão de Herd et al. (2004) foi constatado que animais ineficientes (CAR positivo) dispediam mais tempo mastigando os alimentos que os animais eficientes (CAR negativo). Nkrumah et al. (2006) confinaram novinhos Angus e observaram que animais eficientes apresentaram menor número de visitas ao cocho que os animais ineficientes. Avaliando comportamento alimentar de animais cruzados Angus x Charolês, Durunna et al. (2011) verificaram que animais de CAR negativo permaneceram menos tempo no cocho que animais de CAR positivo (63 minutos vs 78 minutos, respectivamente) e apresentaram menor frequência diária de visitas ao cocho por dia (19,9 vs 22,9, respectivamente).

2.3.2 Composição corporal de animais eficientes

A composição corporal é mais um fator considerado na variação da eficiência e contribui em torno de 5% para a variação do CAR (RICHARDSON; HERD, 2004). A composição do corpo varia conforme o estágio de desenvolvimento dos animais, já que no início da vida do animal e durante seu crescimento há maior deposição de

proteína, em função do desenvolvimento de órgãos e tecidos, observando-se aumento da deposição de gordura na terminação (OWENS et al., 1995).

Associada à maior deposição de proteína observa-se maior ganho de peso, consumo de alimentos e eficiência alimentar em animais na fase de crescimento quando comparados aos animais em terminação. Todos os animais seguem esse padrão de desenvolvimento, porém em um mesmo estágio, seja crescimento ou terminação, existe variação na proporção de proteína e gordura depositada na carcaça dos animais, onde os mais eficientes apresentam menor espessura de gordura subcutânea e maior ganho em proteína (ARCHER et al., 1999; BASARAB et al., 2003; CARSTENS et al., 2002; HERD et al., 2004; ROBINSON; ODDY, 2004).

A carcaça é composta por tecido ósseo, muscular e adiposo, e a proporção e velocidade com que há acúmulo destes tecidos no corpo determinam a composição do ganho de peso vivo e a eficiência alimentar dos animais (SHAIN et al., 1993). Os ganhos de peso mais magros, associados à maior deposição de proteína, geralmente apresentados por animais de CAR negativo, são mais eficientes em relação à conversão de alimentos em peso vivo quando comparados a ganhos com maior deposição de gordura.

O fato de animais mais eficientes depositarem mais proteína contribui para melhor aproveitamento da energia do alimento ingerido, pois embora a concentração energética dos lipídios seja 2,25 vezes maior que da proteína, a deposição de tecido muscular é mais eficiente, pois em cada grama de proteína depositada são carregados três gramas de água e isso resulta em maior quantidade de tecido depositado para uma mesma quantidade de energia ingerida, com teor energético do ganho menor. Além disso, a produção de calor na síntese de tecido muscular é menor que no tecido adiposo (LOFGREEN; GARRET, 1968).

As diferenças nos pesos e atividade metabólica de órgãos internos, como estômagos, intestinos e fígado também afetam a eficiência alimentar, pois estão diretamente associados às exigências de manutenção dos animais. No estudo de Basarab et al. (2003) foram observados menores valores de pesos de vísceras em animais eficientes, onde animais de CAR negativo apresentaram menor peso de fígado (6,57 x 6,06 kg, respectivamente) e menor peso de estômago e intestino (48,73 x 45,05 kg, respectivamente) em relação aos de CAR positivo.

Essas diferenças contribuem para redução do *turnover* protéico, pois certos tecidos associados com a digestão, como trato gastrointestinal e o fígado, têm maior *turnover* que o músculo esquelético e isto implica em maior exigência energética destes tecidos. Assim, as diferenças na composição corporal dos animais podem ser resultantes de mudanças no metabolismo de tecidos, principalmente no *turnover* protéico, que segundo RICHARDSON; HERD (2004), pode explicar até 37% das variações. De acordo com Diconstanzo et al. (1990), a energia necessária para manter 1 kg de proteína corporal é 9,3 vezes maior que para manter 1 kg de gordura (807,1 KJ/kg vs 86,6 KJ/kg) e esse custo elevado de manutenção é devido ao maior *turnover* deste tecido em relação ao adiposo.

Os tecidos do trato gastrointestinal podem contribuir com mais de 40% da síntese protéica diária e os processos contínuos de *turnover* consomem de 20 a 25% da energia diária ingerida pelos animais (BERGEN, 2008). Embora o consumo total de energia de manutenção pelo músculo e sua contribuição para síntese protéica diária seja menor em relação as tecidos viscerais (CATTON ; DHUYVETTER, 1997), este merece atenção por ser o principal componente da carne. O tecido muscular é produto de processos contínuos de síntese, degradação e ressíntese protéica (GOLL et al., 2008) e a deposição de músculo no corpo do animal ocorre quando a taxa de síntese excede a taxa de degradação de proteína (WATERLOW, 2006).

Diante das evidências, o *turnover* protéico e a exigência de manutenção são pontos importantes para serem considerados quando se associa composição corporal com eficiência alimentar dos animais, pois a energia despendida para manutenção corresponde a 70-75% do total da energia dietética consumida (OKINE et al., 2004). Castro Bulle et al. (2007) mostraram que existe correlação positiva entre taxa fracional de degradação protéica e exigência de manutenção de bovinos de corte ($r = 0,498$) e sugeriram que os animais com taxas elevadas de *turnover* protéico são mais exigentes e menos eficientes.

O *turnover* protéico é regulado por vários sistemas enzimáticos (lisossomal, caspase, calpaína e proteasomas), sendo o sistema calpaína o principal envolvido nos processos de síntese e degradação muscular. Este sistema funciona a partir de duas enzimas que atuam de forma antagônica, as calpaínas e calpastinas, sendo a calpastatina inibidor específico da calpaína. Ao inibir as atividades das calpaínas no

músculo, as calpastatinas promovem redução da taxa de degradação de proteína muscular e melhora eficiência de deposição muscular (GOLL et al., 2008). Huang e Forsberg (1998) estudaram atividade das enzimas calpaínas e calpastatina em células miogênicas de ratos e observaram decréscimo de 63% na taxa de degradação muscular com aumento da atividade de calpastatinas.

O decréscimo da taxa de degradação protéica é energeticamente vantajoso, pois ocorre redução da energia perdida no processo e contribui para aumento da deposição de tecido. No entanto, essa redução da taxa de degradação associada ao aumento das atividades de calpastatinas pode ser prejudicial para a maciez da carne em animais eficientes, pois a proteólise *post mortem* resultante da ação de calpaínas, que contribui para aumentar a maciez da carne, pode ser reduzida.

Um indicador da ocorrência de proteólise é o índice de fragmentação miofibrilar, que é associado a vários processos, como desagregação das miofibrilas do músculo, pela atividade proteolítica da μ -calpaína, e a inibição específica da calpaína por calpastatina. Ao estudarem qualidade de carne de cordeiros confinados, esses mesmos autores observaram correlações significativas entre a relação μ -calpaína:calpastatina (estimativa da atividade proteolítica potencial da μ -calpaína) e índice de fragmentação miofibrilar ($r = 0,75$) e força de cisalhamento ($r = -0,64$).

Estudando a qualidade de carne de progênie de bovinos oriundos de seleção divergente para CAR, McDonagh et al. (2001) observaram atividade de calpastatina (inibidor da calpaína) 13% maior e índice de fragmentação miofibrilar menor em animais mais eficientes (CAR negativo), mas não observaram diferenças entre os grupos na força de cisalhamento. Por outro lado, Baker et al. (2006) não encontraram diferenças significativas quanto à atividade enzimática da calpastatina, força de cisalhamento e escore de maciez de novilhos Angus de CAR positivo e negativo. Reis (2009) quando estudou qualidade de carne de novilhas *three cross* de três grupos genéticos com participação de sangue zebuino também não observou diferenças significativas entre os valores de índice de fragmentação miofibrilar em animais baixo e alto CAR. Nascimento (2011) avaliou qualidade de carne em novilhos Nelore confinados e não observou relação entre CAR e índice de fragmentação miofibrilar.

Essas respostas controversas da literatura em relação à qualidade da carne de animais eficientes provavelmente estão associadas às variações na taxa de crescimento muscular entre as diferentes raças e linhagens, ou seja, além da eficiência em si, podem existir diferenças genéticas que influenciam na taxa e extensão da proteólise e, conseqüentemente, na maciez da carne. Na literatura internacional são conhecidas as relações entre CAR e características de carcaça, no entanto em novilhos Nelore estas relações são pouco estabelecidas (GOMES, 2009; FARJALLA, 2009; NASCIMENTO, 2011).

Não se sabe quais são as conseqüências da seleção de animais eficientes quanto ao CAR sobre a qualidade da carne produzida. Pode ser que a seleção para consumo alimentar residual seja favorável economicamente, por reduzir a necessidade de alimentos no confinamento e não prejudicar o desempenho dos animais, mas para isso as características de carcaça e qualidade de carne não devem ser prejudicadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento fez parte do Projeto em Rede “Estratégias genéticas para melhoria da eficiência de produção e da qualidade da carne bovina no Brasil”, inserido no Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais - coordenado pela Embrapa. Os objetivos gerais do Macro Programa são a avaliação da existência de variação genética aditiva e identificação dos genes relacionados às características de qualidade da carne e eficiência alimentar da raça Nelore. Este projeto foi concebido para compor uma rede multidisciplinar de pesquisa, a Rede Bife Quali, composta pela integração de conceituados centros de pesquisa, como a Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Gado de Corte, Embrapa Informática Agropecuária, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Instituto de Zootecnia, Unicamp, Produtores e Centrais de Inseminação.

O Projeto foi dividido em planos de ação que contemplaram abordagens fenotípicas, de genética quantitativa e molecular. No primeiro plano foram selecionados touros da raça Nelore, que teriam sua progênie avaliada, e na formação, propriamente dita, da família de meio-irmãos. A segunda etapa consistiu na avaliação da progênie produzida, para a obtenção das características de desempenho, consumo e eficiência alimentar em confinamento, parâmetros de carcaça e qualidade da carne, informações estas que permitirão avaliar a variação genética aditiva para essas características.

As informações fenotípicas e genéticas serão utilizadas para a identificação de possíveis marcadores moleculares e genes candidatos para características estudadas. As avaliações fenotípicas de ganho de peso, consumo, eficiência alimentar em confinamento, características de carcaça e qualidade da carne foram realizadas em duas estações experimentais: Embrapa Pecuária Sudeste (CPPSE) e Embrapa Gado de Corte (CNPGC), localizadas em São Carlos - SP e Campo Grande - MS, respectivamente. As informações apresentadas nesta tese são referentes às avaliações realizadas na Embrapa Gado de Corte, nos anos 2009 e 2010.

3.1 Obtenção da família de meios-irmãos

O Macro Programa começou a ser executado no ano de 2006, com a escolha de 32 touros da raça Nelore para produzir, em três safras (três anos), 800 filhos machos para avaliação de desempenho em confinamento e características de carcaça e qualidade da carne. A seleção dos touros foi feita a partir de consultas ao Sumário Nacional de Touros da Raça Nelore, editado pela Associação Brasileira dos Criadores de Zebu e Embrapa Gado de Corte, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Os reprodutores foram escolhidos para representar os touros ativos na população, com sêmen disponível no mercado, cujas genealogias fossem representativas das principais linhagens que compõem a raça Nelore. O valor comercial da dose do sêmen também foi um critério, não devendo ultrapassar R\$ 50,00, na tentativa de escolher touros com maior chance de uso em escala comercial. Outra estratégia utilizada na seleção dos touros foi a formação de grupos divergentes, considerando os coeficientes de parentesco entre os animais (a partir da análise de parentesco de cerca de 600 animais com sêmen disponível), na tentativa de maximizar as chances de encontrar diferenças relacionadas às características de eficiência e qualidade da carne.

Para obtenção do número de progênies experimentais, foi considerado um número de cerca de 20 filhos por touro, coerente com a disponibilidade de infraestrutura para avaliações em confinamento e com a contribuição relativa de cada linhagem na composição da raça. Os acasalamentos foram feitos ao acaso, em matrizes da raça Nelore da própria Embrapa (CNPGC e CPPSE) bem como de parceiros privados (Fazenda Novo Horizonte, Coxim, MS; Fazenda do Sagrado Coração de Jesus, Vila Bela da Santíssima Trindade, MT, e Fazenda Bodoquena, Miranda, MS), atentando-se para a necessidade de obtenção do número de produtos machos por touro, para a produção das famílias.

Os machos foram criados e recriados em regime a pasto nas fazendas de origem, desmamados com média de 8 meses de idade, pesados na desmama, no sobreano e na castração ($\pm$ 17 meses de idade). Os animais produzidos nas unidades da Embrapa Gado de Corte permaneceram na unidade e aqueles oriundos das fazendas parceiras foram transportados para as estações experimentais,

CPPSE e/ou CNPGC, com aproximadamente 18 meses de idade, divididos e alocados em função da paternidade, para garantir a representatividade dos touros nos diferentes locais de avaliação (CNPGC e CPPSE). Os animais da primeira safra foram confinados em 2009 (n=285, sendo 147 no CNPGC), os da segunda em 2010 (n=347, sendo 175 no CNPGC). Os novilhos da safra 3 (n=175, sendo 91 no CNPGC) estão sendo avaliados em 2011. A identificação dos touros foi feita por códigos de modo a preservar o sigilo dos dados.

3.2 Coleta de dados de desempenho

O experimento foi conduzido na Unidade da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande/MS. Na primeira etapa foram confinados 147 novilhos Nelore, durante os meses de outubro/2009 a janeiro/2010, sendo filhos 21 de touros oriundos da estação de monta realizada de novembro a janeiro de 2006/2007. Na segunda etapa, foram confinados 175 novilhos Nelore, durante meses de outubro/2010 a janeiro/2011, sendo filhos de 20 de touros provenientes da estação de monta realizada de novembro a janeiro de 2007/2008. O protocolo hormonal utilizado para as matrizes foi inseminação artificial em tempo fixo (IATF), para concentrar os nascimentos nas duas etapas. Os animais foram desmamados aos oito meses de idade e foram confinados ao atingirem em média vinte e dois meses.

Na primeira etapa, em que foram avaliados 147 animais, 81 animais permaneceram em confinamento tradicional e 66 em baias individuais. Na segunda etapa, quando foram confinados 175 animais, 82 foram mantidos em confinamento tradicional e 93 em baias individuais. Do total de touros, oito tiveram suas progênes avaliadas nos dois anos e o número de filhos por touro variou entre 2 e 25 animais.

As duas etapas permitiram a avaliação das características de carcaça e qualidade de carne de 322 novilhos filhos de 32 touros e deste total, 159 novilhos confinados individualmente, mas somente 92 animais foram avaliados quanto ao consumo alimentar residual. Os animais foram adaptados em piquete coletivo e receberam inicialmente dieta somente com volumoso, com aumento gradativo da proporção de concentrado até 14 dias de adaptação, quando passaram a consumir integralmente a dieta experimental. Do total de 322 animais, 163 permaneceram na

mesma instalação da adaptação e os demais foram distribuídos em baias individuais.

Figura 2 - Cronograma experimental representando o período de alimentação em dias de confinamento, o dia zero é referente ao início do período experimental

Os 159 animais avaliados individualmente foram distribuídos em 4 tipos de instalações. Os animais foram distribuídos nas instalações de acordo com o peso e a paternidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Médias de idade e peso inicial de novilhos Nelore distribuídos nas diferentes instalações

Tipo de Baia	N	Idade inicial (dias)	Peso Inicial
Individual de concreto separada por parede, 8 m ²	84	666	339
Individual de terra separada por arame, 45 m ²	38	660	342
Individual de terra separada por arame, 180 m ²	9	664	349
Individual terra separada por arame, 50 m ²	28	660	327

Os animais foram confinados, em ambas as etapas, com dieta de relação volumoso:concentrado 40:60 em base de matéria seca (Tabela 2). A dieta foi oferecida duas vezes ao dia (8h30 e 14h30) e o consumo ajustado diariamente em função das sobras observadas, mantidas em torno de 5% do total ofertado.

Tabela 2 - Composição das dietas com base na matéria seca (%MS)

Ingrediente (%)	Primeira etapa - 2009	Segunda etapa - 2010
Silagem Sorgo	40,00	40,00
Soja, grão	11,25	-
Caroço de algodão	-	8,00
Milho	32,00	31,52
Farelo de Soja	4,89	9,00
Casca de Soja	10,00	10,00
Uréia	-	0,25
Calcário calcítico	1,16	0,50
Sal Mineral	0,70	0,70
Rumensin	0,03	0,03
Total	100,00	100,00

As amostras de silagem, dieta total e das sobras por animal foram coletadas semanalmente. Foram armazenadas em congelador a -20°C , posteriormente secas em estufa de ventilação forçada a $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas e processadas em moinho do tipo Willey com peneira de 1 mm. As amostras da dieta ofertada e das sobras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca definitiva a 105°C , matéria mineral, extrato etéreo e proteína bruta de acordo com a AOAC (2006); fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido e lignina de acordo com metodologia sugerida por Van Soest et al. (1991), utilizando amilase e nas determinações de FDN; nitrogênio ligado à fração FDN e nitrogênio ligado à fração FDA segundo Licitra et al. (1996).

As análises bromatológicas foram baseadas nas frações exigidas para estimar os nutrientes digestíveis totais (NDT), pela equação proposta por Weiss et al. (1992). Após a obtenção do NDT estimado, este foi então convertido em energia digestível (ED), considerando que 1 kg de NDT corresponde a 4,409 Mcal de ED, e posteriormente em energia metabolizável (EM), onde EM corresponde a 0,82 da ED (NRC, 1984).

Tabela 3 - Composição bromatológica da dieta experimental ofertada aos animais

Nutriente, %	Primeira etapa	Segunda etapa
Matéria seca ²	50,10	51
Matéria orgânica ³	92,85	94,24
Proteína bruta ³	15,35	15,36
Proteína insolúvel em detergente neutro ⁴	5,03	4,60
Proteína insolúvel em detergente ácido ⁴	5,74	4,41
Extrato etéreo ³	5,41	4,17
Fibra insolúvel em detergente neutro ³	38,35	39,47
FDNp ³	33,32	34,87
Fibra insolúvel em detergente ácido ³	26,50	25,40
FDAp ³	20,76	20,99
Lignina ³	3,22	3,12
Carboidratos não-fibrosos ³	38,77	39,06
Nutrientes digestíveis totais ^{3,5}	73,09	72,44
Energia digestível ⁶	3,23	3,17
Energia metabolizável ⁶	2,65	2,60

^{1/} FDNcp - FDN corrigida para proteína; FDAp – FDA corrigida para proteína; ² % na matéria natural, ³ % na MS; ⁴ % da PB; ⁵ Estimado segundo equação proposta por Weiss et al. (1992); ⁶ Mcal/kg de matéria seca da dieta.

3.2.1 Consumo de matéria seca, exigências e energia líquida da dieta

O consumo individual de alimento em kg de matéria seca foi obtido pela diferença entre a quantidade de MS ofertada e a quantidade de MS da sobra. As exigências de energia para ganho (Eg) e de manutenção (Em) dos animais (eq. 1 e 2), foram calculadas levando-se em consideração o GMD (kg/dia) e PVMM (kg^{0,75}). A partir desses valores, calculou-se a energia líquida da dieta consumida (Mcal/kg de MS) para ganho (ELg) e manutenção (ELm), segundo metodologia proposta por Zinn e Chen (1998), (eq. 3 e 4).

$$Eg = [0,0493 \times PVMM] \times GPD1,097; \text{ (NRC, 1984)} \quad (\text{eq. 1})$$

$$Em = 0,077 \times PVMM; \text{ (LOFGREEN; GARRET, 1968)} \quad (\text{eq. 2})$$

$$Elm = (-b - ((b^2) - (4ac))0,5)/(2c); \text{ (ZINN; SHEN, 1998)} \quad (\text{eq. 3})$$

$$a = -0,41 \times Em$$

$$b = 0,877 \times Em + 0,41 \times CMS + Eg$$

$$c = -0,877 \times CMS$$

$$ELg = 0,877 \times ELM - 0,41; \text{ (ZINN; SHEN, 1998)} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

Eg = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia)

Em = exigência de energia líquida para manutenção (Mcal/dia)

ELm = energia líquida de manutenção da dieta consumida (Mcal/kg de MS)

ELg = energia líquida de ganho da dieta consumida (Mcal/kg de MS)

O consumo de matéria seca necessária para a manutenção (CMSm, kg/dia) foi obtida pela razão entre a exigência diária para manutenção (Em) e o teor de energia líquida para manutenção da dieta (ELm) e o consumo de matéria seca destinada ao ganho (CMSg, kg/dia) foi calculada pela diferença entre a CMS total e a CMS para manutenção.

3.2.2 Ganho de peso e composição corporal dos animais

Os animais foram pesados a cada duas semanas, sem jejum hídrico e alimentar, exceto nas pesagens inicial e final que foram feitas após jejum hídrico e alimentar de 16 horas. O peso vivo inicial (PVji, kg) e o final em jejum (PVjf, kg) para avaliação do CAR foram utilizados no cálculo do peso vivo metabólico médio (PVMM).

Nas pesagens inicial e final foram coletadas imagens ultrassonográficas de 66 animais, para obtenção de medidas de espessura de gordura subcutânea e área de olho de lombo no dorso, entre a 12^a e a 13^a costelas, com o equipamento da marca Aquila Pie Medical (Pie Medical, Inc. Maastricht, The Netherlands) equipado com sonda específica. Utilizou-se óleo vegetal para facilitar o contato acústico com corpo do animal. As imagens foram armazenadas e posteriormente interpretadas com o software ODT Eview® (Pie Medical, Inc. Maastricht, The Netherlands).

O teor de energia inicial e final no corpo vazio dos animais foi estimado a partir da equação desenvolvida por Berndt, Alencar e Lanna (dados não publicados). Estes autores desenvolveram a equação a partir de dados da moagem completa de animais da raça Nelore (eq. 6). Apesar de existirem outras equações que estimam a composição corporal (CHIZZOTTI; PAULINO; VALADARES FILHO, 2008), estas utilizam o peso do animal como uma das variáveis dependentes que mais afetam o

teor de energia. Como o CAR é independente do peso vivo, optou-se por utilizar a equação apenas com as características de composição da carcaça, oriunda da regressão múltipla entre o teor de energia total do corpo vazio (ECVZ, Mcal), espessura de gordura subcutânea (EGS, mm) e área de olho de lombo (AOL, cm²).

$$\text{ECVZ} = -126,73 + 10,88 \text{ AOL} + 70,01 \text{ EGS} \quad (\text{eq. 6})$$

$$R^2 = 0,7379; P < 0,0001$$

O peso de corpo vazio foi estimado segundo NRC (1984) e a energia retida no corpo vazio foi obtida pela diferença entre a energia final e a inicial do corpo vazio dos animais. A quantidade de energia retida total no período de avaliação do CAR foi obtida pela diferença entre energia retida inicial e final e a produção de calor pela diferença entre consumo de energia metabolizável e energia retida.

3.3 Abate

3.3.1 Avaliação de características de carcaça e qualidade de carne

Os animais foram abatidos ao atingirem o acabamento mínimo de 4 mm de espessura de gordura subcutânea, determinado através de imagens de ultrassom. Os animais da primeira etapa (2009) foram abatidos no Frigorífico Bertim, localizado em Campo Grande – MS e os animais da segunda etapa (2010) foram abatidos no Frigorífico Boi Brasa, localizado em São Gabriel do Oeste – MS. No dia anterior ao embarque, todos os animais foram submetidos a um jejum hídrico e alimentar 16 horas para a obtenção do peso vivo em jejum no pré-abate. No abate, os animais foram insensibilizados por concussão cerebral e após o sacrifício, foram retirados couro, cabeça, pés e vísceras. Em seguida, foram obtidos os pesos de cada meia carcaça quente. Além dessa medida, durante o abate dos animais avaliados na segunda etapa do experimento foram obtidos também os pesos de coração, rins, fígado e gordura perirrenal. O rendimento de carcaça quente foi calculado pela razão entre o peso da carcaça quente e o peso vivo do animal em jejum no pré-abate.

As meias-carcaças quentes permaneceram em câmara fria a 5°C, por aproximadamente 24 horas. Após 24 h de resfriamento, foi obtido comprimento de carcaça, medido do bordo anterior do púbis ao bordo anterior da primeira costela e profundidade da carcaça, medida na altura da quinta costela, do bordo superior ao bordo inferior. Após a obtenção das medidas, as meias-carcaças foram retiradas das

câmaras para desossa. As meias-carcaças foram separadas em dianteiro e traseiro, entre a quinta e a sexta costelas, com incisão feita a igual distância das referidas costelas, alcançando a região esternal (peito) e da coluna vertebral, à altura do quinto espaço intervertebral.

No traseiro da meia-carcaça esquerda foi feito um corte transversal, entre a 12^a e 13^a costelas, para expor o músculo *Longissimus dorsi* para a medida da espessura de gordura subcutânea (EGS) e área de olho de lombo (AOL). Para a determinação da AOL utilizou-se o desenho do perímetro do músculo, em papel vegetal, cuja área foi medida por contagem de pontos com o auxílio de uma grade impressa em folha transparente, onde cada quadrículo da grade foi correspondente a 1mm². A EGS, obtida no terceiro quarto da altura desse músculo a partir da coluna vertebral, foi mensurada com o auxílio de um paquímetro

As análises de qualidade de carne foram realizadas em amostras do músculo *Longissimus dorsi*, na região entre às 10^a, 11^a e 12^a costelas, retirado da carcaça esquerda de cada animal. A região exposta do músculo foi avaliada quanto à escores de textura, que variaram entre 1 e 5 (Tabela 4).

Tabela 4 - Escores utilizados para avaliação da textura do músculo *Longissimus dorsi*

Textura	Valor
Muito fina	5
Fina	4
Levemente grosseira	3
Grosseira	2
Muito grosseira	1

Em seguida, na região exposta do *Longissimus* foram avaliadas a cor da carne e gordura, utilizando-se um colorímetro portátil (HunterLab, modelo Miniscan XE plus), em três diferentes pontos da amostra (RAMOS; GOMIDE, 2007). O colorímetro foi calibrado com a colocação na porta de reflectância do dispositivo protetor de luz, azulejo preto calibrado e azulejo branco calibrado, respectivamente. Para os cálculos das coordenadas de cor foram estabelecidos o iluminante D65 (luz do dia, 6.500K), o ângulo de 10° para o observador e abertura da célula de medida

de 30 mm usando a escala de cor CIELAB (L^* = luminosidade, a^* = teor de vermelho e b^* = teor de amarelo).

Depois de desossado, uma amostra de cerca de 10 g do músculo foi retirada para determinação da capacidade de retenção de água. A capacidade de retenção de água, correspondente ao percentual relativo à umidade total, foi calculada pela diferença entre os pesos de uma amostra de carne, de aproximadamente 2 g, antes e depois de ser submetida à pressão de 10 kg, durante 5 minutos.

Foram retirados do músculo *Longissimus dorsi* de cada animal dois bifes de 2,5 cm de espessura, um para liofilização e determinação do teor de extrato etéreo intramuscular e outro para as análises de qualidade de carne. O extrato etéreo intramuscular foi quantificado em amostras previamente liofilizadas usando o procedimento da AOCS Am 5-04 (2005), com o extrator Ankom (Modelo XT20).

As análises de qualidade de carne da primeira etapa do experimento foram realizadas após um período de 6 meses congeladas. Já na segunda etapa as análises foram realizadas em amostras não maturadas, ou seja, foram obtidas no mesmo dia da retirada da amostra, 24 horas após o resfriamento das carcaças em câmara fria. Foram obtidos valores de pH, medido em três pontos da amostra na porção muscular, com um peagâmetro digital (Texto, modelo R 230). Após as medidas de pH, os bifes foram pesados e assados em forno industrial elétrico (Tedesco, modelo TC06/ELT) à temperatura de 170°C, até atingir 70°C em seu centro geométrico. Depois de assados e frios, os bifes foram novamente pesados para avaliação de perdas por cocção.

As perdas na cocção foram obtidas pela diferença de peso dos bifes antes e após o cozimento. Os bifes assados foram embalados e resfriados por 12 horas em refrigerador doméstico a 5°C. Posteriormente, foram retirados de cada bife oito cilindros paralelos à direção das fibras musculares, com o auxílio de uma sonda metálica de 1,27 cm de diâmetro, para determinação da força de cisalhamento em texturômetro digital (Exponent modelo TAXT plus) com lâmina de 1 mm de espessura segundo a metodologia proposta por Wheeler et al. (2011).

3.4 Custos de produção e margem de contribuição

Foram contabilizadas despesas e receitas diárias durante o período de confinamento, do início do experimento ao abate, sendo os custos baseados em despesas fixas, que independem da quantidade produzida e variáveis que se incorporam totalmente ao produto no curto prazo.

O custo variável relativo à alimentação foi calculado em função do custo da dieta e da ingestão de matéria seca (kg/dia), considerando 15% de perdas (sobras no cocho e na distribuição da dieta). Foram considerados juros sobre o capital investido na compra dos animais e de alimentos, com taxa de 0,8% ao mês. Os juros sobre o alimento foram calculados para a metade do período, visto que o desembolso ocorre de forma parcelada. Para o valor de compra dos animais, foi utilizado o valor médio de R\$ 91,67/@, cotação da arroba do boi magro no mês de janeiro de 2011(SCOT CONSULTORIA, 2011).

Para a estimativa dos custos fixos e variáveis que não estão relacionados ao desembolso direto com a compra do alimento ou dos animais foi utilizado como referência o levantamento de custos do ano de 2010, disponibilizado pelo confinamento comercial do grupo Marca, localizado no estado de Mato Grosso. Assim, foi considerado, como referência, um custo fixo diário de R\$ 0,50/animal, correspondente a um período médio de 90 dias de confinamento e ingestão média de 9,78 kg de MS/dia. Deste valor, 33% é relativo ao custo fixo (R\$ 0,165/animal), 33% diluível em função do tempo de permanência no confinamento, e os outros 33% diluíveis em função da ingestão de matéria seca. Os custos reais diluíveis foram então calculados relativos aos valores de referência:

$$\text{Custo fixo (R$/dia)} = \text{R\$ } 0,165$$

$$\text{Custo diluível (R$/dia)} = (\text{R\$ } 0,165 \times \text{tempo de confinamento})/90$$

$$\text{Custo diluível relativo à ingestão (R$/dia)} = (\text{R\$ } 0,165 \times \text{CMS})/9,78$$

O custo total então foi a soma dos custos com alimentação, juros sobre o capital investido na compra de animais e alimentos, custos diluíveis em função do tempo de permanência e da ingestão, e os custos fixos.

A receita bruta diária dos animais (R\$/dia) foi calculada em função do ganho de peso médio diário (GPD), rendimento total do ganho (RTG) e do preço da arroba do boi gordo em R\$, como segue:

RECEITA BRUTA DIÁRIA (R\$/dia) = (GPD * RTG * preço da arroba)/15

O rendimento total do ganho foi calculado em função do peso vivo em jejum inicial e no pré-abate, do rendimento inicial e final de carcaça:

$$RTG = \frac{RCf - \left(\left(\frac{PV_i}{PV_f} \right) \times 100 \times RCi \right)}{100 - \left(100 \times \left(\frac{PV_i}{PV_f} \right) \right)}$$

RCf = rendimento de carcaça fria final em porcentagem;

PV_{ji} = peso vivo em jejum ao início do experimento em kg;

PV_{jf} = peso vivo em jejum no final do experimento kg;

RCi = rendimento de carcaça fria inicial, assumiu-se igual a 51% para todos os animais.

O valor de venda do boi gordo adotado para a análise econômica foi o preço médio de R\$ 98,03 por arroba em julho de 2011 cotado pelo CEPEA-ESALQ. Adotando-se a estrutura do custo total, a margem de contribuição diária (R\$/dia) pôde ser calculado pela diferença entre a receita total diária e o custo total diário.

3.5 Análise dos dados

Dos 159 animais confinados individualmente nas duas etapas do experimento, 92 animais (66 da etapa 1 e 26 da etapa 2) foram utilizados nesta tese para estudar as relações entre eficiência alimentar, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne. Os outros 68 animais atingiram espessura de gordura de acabamento aos 47 dias de confinamento e apesar de adequado para avaliação do consumo (mínimo de 35 dias) esse período foi inferior ao recomendado pela literatura para avaliação do CAR (mínimo 70 dias).

Esses, então, serão incluídos no banco de dados para futuras análises de avaliação de consumo individual das progênie. Os dados de características de carcaça e qualidade de carne obtidos dos 322 animais confinados na Embrapa Gado de Corte, juntamente com os coletados na Embrapa Pecuária Sudeste, farão parte do banco de dados do projeto para avaliação genética e identificação de marcadores moleculares destas características.

O ganho médio diário de cada animal foi correspondente ao *slope* da reta obtida da regressão linear do peso vivo em função do tempo, utilizando-se o procedimento REG do SAS (SAS INSTITUTE, 2009). Os índices de eficiência alimentar estudados foram: eficiência alimentar, eficiência parcial de crescimento, eficiência de ganho de peso, taxa relativa de crescimento, índice de Kleiber e consumo alimentar residual. A eficiência alimentar foi calculada pela razão entre a média de ganho médio diário (GMD, kg) e ingestão de matéria seca (IMS, kg/dia).

A eficiência parcial de crescimento foi obtida pela razão entre o GMD e IMS para ganho. A eficiência de ganho de peso foi calculada dividindo-se o GMD (g/dia) pela ingestão de energia metabolizável (Mcal/dia). Para o cálculo da taxa de crescimento relativo (TCR), a equação utilizada levou em consideração o peso vivo inicial, peso vivo final do animal e a duração do período de avaliação, como representado a seguir: $TCR = 100 * (\log PV \text{ final} - \log PV \text{ inicial}) / \text{dias de experimento}$. O índice de Kleiber (IK) foi calculado como GMD dividido pelo peso vivo metabólico médio.

Para o cálculo do consumo alimentar residual, utilizou-se a metodologia dos modelos mistos para estimar a equação de predição do consumo de matéria seca (CMS), correspondente à regressão conjunta do CMS, em função dos efeitos fixos de peso vivo médio metabólico (PVMM) e ganho médio diário (GMD) dos animais. Foi considerado como aleatório o efeito de grupo de contemporâneos categorizados de acordo com o ano de avaliação, tipo de baia, origem dos animais e data de início do experimento, utilizou-se o procedimento MIXED do pacote estatístico do SAS (SAS INSTITUTE, 2009). A partir da equação obtida, foram estimados os valores preditos de consumo de matéria seca para cada animal.

A diferença entre o consumo observado e o predito, foi correspondente ao consumo alimentar residual de cada animal, ou seja, o valor equivalente ao erro da estimativa de CMS, ε . Para avaliar as diferenças entre os animais segundo o CAR é comum encontrar na literatura a comparação entre grupos de eficiência classificados para alto, médio e baixo CAR, porém o critério utilizado para essa classificação, cujos limites são de $\pm 0,5$ desvios-padrão em relação à média do CAR, é arbitrário e não possibilita estudar o comportamento das variáveis em função da variação do CAR.

A abordagem utilizada nesse trabalho foi baseada na análise da regressão linear entre as variáveis estudadas, consideradas dependentes ou resposta (Y), e o CAR como variável independente (X). Para a composição da análise utilizou-se o procedimento de modelos mistos, cuja metodologia tem como principal característica a estimativa concomitante dos efeitos fixos e aleatórios.

Para as variáveis mensuradas durante o período de avaliação do CAR considerou-se os efeitos de grupo de contemporâneo e CAR como fixos, enquanto para as avaliadas no período total (parâmetros de carcaça e qualidade de carne), além dos efeitos fixos citados utilizou-se o efeito do tempo de experimento como aleatório, em ambos os modelos utilizaram-se os efeitos de ano, tipo de baia, origem dos animais e data de início de experimento como critérios para a definição dos grupos de contemporâneos, e idade inicial como covariável.

O coeficiente regressão com o CAR (β_1) representa a variação esperada para a característica de interesse em resposta à variação de uma unidade no CAR (kg de MS/dia). Para ilustrar as diferenças entre animais eficientes, intermediários e ineficientes foram adotados os valores -0,5; 0,0 e 0,5 kg/dia para o CAR, cuja diferença entre os pontos extremos representa justamente a variação de uma unidade de CAR e a média o valor central. Logo, se o coeficiente β_1 for significativo, a distância entre os extremos e as comparações dos valores acima de 0,5 e abaixo de -0,5 também diferiram entre si. As interpretações foram feitas com um nível de significância de 5% para o erro tipo I.

A análise de correlações entre as medidas de eficiência, desempenho, ganho de peso, consumo, composição corporal e lucro foram feitas mediante análise dos coeficientes de correlação de Pearson, que mede a força de associação entre duas variáveis utilizando o procedimento CORR do SAS (SAS INSTITUTE, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características de desempenho e composição corporal

As médias e desvios padrão (DP) de ganho médio diário (GMD), ingestão de matéria seca (IMS) e consumo alimentar residual (CAR) na população estudada foram 0,811 (DP= 0,30), 7,732 (DP= 0,94) e 0,0 (DP= 0,70) kg/dia, respectivamente.

A equação de predição do consumo de matéria seca foi obtida em função do peso vivo médio metabólico e do ganho diário, com ajustes no intercepto em função do grupo de contemporâneo:

$$\text{CMS} = -1,446 + 0,0970\text{PVMM} + 0,932\text{GMD}$$

A relação entre o consumo predito e o observado apresentou um R^2 de 0,4738, ou seja, as variáveis utilizadas para predizer o consumo explicaram 47% da sua variação, enquanto outros fatores, como o genótipo, explicariam o restante (Figura 3). A amplitude observada (máximo = 2,21 kg/dia e mínimo = -1,55 kg/dia) e desvio padrão (DP=0,70 kg/dia) dos valores de CAR indicam variabilidade fenotípica para este índice de eficiência.

Figura 3 – Relação entre consumo de matéria seca observado e consumo de matéria seca predito de novilhos Nelore confinados

O Consumo Alimentar Residual (CAR) é a distância vertical do consumo de cada animal até a linha de regressão entre consumo observado e predito. Os animais destacados em azul apresentaram CAR maior que 0,5 kg de MS/dia e foram considerados ineficientes, enquanto os destacados em verde apresentaram CAR menor que -0,5 kg de MS/dia e foram considerados ineficientes.

Do total de animais avaliados, 24% foram considerados eficientes (apresentaram CAR menor que -0,5 kg de MS/dia) e 24% foram considerados ineficientes (apresentaram CAR acima de +0,5 kg de MS/dia). Dessa forma, os dados apresentados nas tabelas a seguir referem-se aos valores para cada característica no ponto da regressão onde o CAR é correspondente a -0,5, 0,0 e +0,5 kg/dia, e não a média desses grupos. Não houve diferenças significativas entre os valores de peso vivo inicial, peso vivo final, peso metabólico entre animais eficientes e ineficientes, uma vez que o CAR não foi relacionado com essas variáveis (Tabela 5).

Estes resultados corroboram com os observados na literatura (ARTHUR et al., 1997; ARTHUR et al., 2001; HERD et al., 2003) e eram esperados, pois o CAR é um índice ajustado para peso médio metabólico e ganho de peso. Almeida; Lanna e Leme (2004) também verificaram o mesmo comportamento quando relacionaram CAR e peso vivo em novilhos Nelore confinados, assim como Kelly et al. 2011 quando avaliaram raças taurinas em confinamento. No estudo de Baker et al. (2006) também não foram observadas relações entre CAR e peso médio metabólico e os autores verificaram que este índice está positivamente relacionado com CMS, o que sugere menor eficiência dos animais a medida que aumenta o consumo.

Tabela 5 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para características de desempenho, consumo e dieta de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e + 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Variáveis	CAR			EP	β_1 CAR	Valor P
	Eficiente	Intermediário	Ineficiente			
N = 92				-	-	-
Percentil	24	50	76	-	-	-
CAR, kg/dia	-0,50	0,00	+0,50	-	-	-
Peso vivo inicial, kg	339	338	337	3,71	-1,618	0,6641
Peso vivo final, kg	404	405	406	4,54	2,239	0,6235
Peso metabólico, kg	84	84	84	0,60	0,029	0,9631
Ganho médio diário, kg	0,866	0,883	0,900	0,03	0,034	0,3174
CMS, kg/dia	7,10	7,62	8,13	0,07	1,035	<.0001
CMS, % PV	1,93	2,01	2,20	0,00	0,276	<.0001
CNDT, kg/dia ¹	5,17	5,54	5,91	0,15	0,745	0,0561
EM, Mcal/kg MS ²	2,63	2,63	2,63	0,00	-0,005	0,0589
CEM, Mcal/dia ³	18,69	20,04	21,39	0,19	2,694	<.0001
ELm, Mcal/kg MS ⁴	1,70	1,64	1,56	0,02	-0,136	<.0001
ELg, Mcal/kg MS ⁵	1,08	1,03	0,97	0,02	-0,119	<.0001
CMS manutenção, kg/dia ⁶	3,90	4,10	4,30	0,06	0,400	<.0001
CMS ganho, kg/dia ⁷	3,19	3,52	3,83	0,10	0,634	<.0001

1 Consumo de NDT, estimado segundo equação de Weiss et al., (1992); 2 EM – energia metabolizável estimada por kg de MS ingerida; 3 Consumo de EM estimado; 4 ELm = energia líquida de manutenção da dieta estimada segundo Zinn e Shen, 1998; 5 ELg = energia líquida de ganho da dieta, estimada segundo Zinn e Shen, 1998; 6 Consumo de energia metabolizável. 4 Exigência de ELm/ELm da dieta. 6 Diferença entre CMS total e CMS para manutenção.

O CAR apresentou-se relacionado ao consumo de matéria seca, expressos em kg ou % peso vivo, consequentemente os animais eficientes e ineficientes diferiram entre si quanto a estas características. O aumento em 1 kg de MS/dia no CAR resultou na diminuição de 1,035 kg/dia e 0,27 unidades percentuais do consumo de matéria seca e reduziu em 0,745 kg o consumo NDT. O CAR foi negativamente relacionado ao teor de energia líquida de manutenção e ganho da dieta. Os animais eficientes apresentaram menor CMS para manutenção e ganho (Tabela 5).

Estes resultados corroboram os observados por outros autores (DURUNNA et al., 2011; LAWRENCE et al., 2011; SHAFFER et al., 2011; ROLFE et al., 2011). Quando avaliaram CAR e desempenho de novilhos confinados, Basarab et al.

(2003) verificaram que animais eficientes (baixo CAR) apresentaram ganho de peso similar aos animais ineficientes (alto CAR), redução de 0,930 kg/dia na ingestão de matéria seca e melhoria de 9,4% na eficiência alimentar. Castro Bulle et al. (2007) observaram diferença de 15% no consumo e GMD semelhante entre novilhos Angus eficientes e ineficientes.

Ao confinarem novilhos taurinos Kelly et al. (2011) também verificaram ganho de peso similares entre animais eficientes, intermediários e ineficientes (1,83; 1,89; 1,91 kg/dia, respectivamente) e menor CMS dos animais eficientes (10,39; 9,85; 9,34 kg/dia, respectivamente). O menor consumo observado indica que o CAR apresenta potencial de utilização como critério de seleção de animais eficientes sem prejudicar o desempenho e aumentar o tamanho adulto, já que é um índice ajustado para peso e ganho de peso.

Porém, quando se observa a dispersão dos dados da relação entre o consumo observado e predito (Figura 3), é possível verificar dentro do grupo de animais eficientes, existem indivíduos com consumos variando entre 7,0 e 9,5 kg MS/dia. Como o animal consome conforme sua demanda energética para manutenção e crescimento, os animais com menor potencial de ganho de peso ingerem menor quantidade de alimento, e isso pode ser um problema ao se utilizar o CAR, pois estes animais com menor desempenho também são classificados como eficientes.

Assim, por mais que todos os animais de CAR negativo sejam igualmente classificados como eficientes, aqueles que apresentam menor consumo e ganho dentro deste grupo podem não ser tão lucrativos, uma vez que o ganho de peso, além de ser determinante para o tempo de confinamento e grau de acabamento, é uma variável mais associada ao lucro que o CAR (NASCIMENTO, 2011). Além disto, a conversão alimentar destes animais é menor e para minimizar este problema seria necessário que o CAR fosse capaz de identificar indivíduos eficientes (CAR negativo) de maior ganho, porém isso não ocorre justamente por ser um índice ajustado para essa variável, ou seja, animais eficientes e ineficientes apresentaram ganho de peso similares. Consequentemente, o CAR não apresentou relação significativa com o ganho de peso (Tabela 5).

O CAR não foi relacionado com o teor de energia metabolizável estimado da dieta consumida ($P>0,05$), baseado na energia contida na dieta ofertada subtraída

daquela presente nas sobras. Não foram observadas relações significativas entre CAR e índice de Kleiber e taxa relativa de crescimento (Tabela 6). Este resultado era esperado, pois são índices obtidos de estimativas que levam em consideração o peso vivo inicial, final e ganho de peso dos animais, que por sua vez são variáveis que compõem o CAR.

Os animais eficientes e ineficientes apresentaram valores de EA e EGP similares. O CAR foi negativamente associado à eficiência parcial de crescimento (Tabela 6). Este resultado indica que os animais eficientes consomem menos alimento e aproveitam melhor os nutrientes ingeridos para ganho, no entanto para o cálculo deste índice foi considerado o mesmo valor de exigência de manutenção para todos os animais. A variação do CAR em 1 kg MS/dia diminuiu a eficiência parcial de crescimento em 0,030 kg de ganho/kg de alimento consumido acima da manutenção.

Os animais eficientes (CAR menor que -0,5 kg de MS/dia) apresentaram consumo pelo menos 14% menor quando comparados aos animais menos eficientes (CAR maior que 0,5 kg de MS/dia). O menor CMS pode ser decorrente da menor exigência de manutenção, menores teores de energia no ganho de carcaça ou tecidos extra-carcaça ou maior eficiência de uso de energia para ganho.

Tabela 6 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) dos índices de eficiência de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 de MS/dia (intermediário) e + 0,5 de MS/dia (ineficiente)

Variáveis	CAR			EP	β_1 CAR	Valor-P
	Eficiente	Intermediário	Ineficiente			
EA ¹	0,122	0,118	0,114	0,0039	-0,0075	0,0601
EPC ²	0,265	0,249	0,235	0,0037	-0,0027	<0,0001
EGP ³	46,3	44,9	43,6	0,0015	-0,0302	0,0800
IK ⁴	0,012	0,010	0,011	0,0007	0,0004	0,5573
TRC ⁵	0,113	0,117	0,121	0,0065	0,0084	0,2039

¹ Eficiência alimentar- kg de ganho/kg de matéria seca consumida. ² Eficiência parcial de crescimento - kg de ganho/kg de MS consumida acima da manutenção. ³ Eficiência de ganho de peso - g de ganho/ Mcal de energia metabolizável consumida. ⁴ Índice de Kleiber - kg de ganho/ kg de peso vivo metabólico. ⁵ Taxa relativa de crescimento %/dia.

As exigências de manutenção dos animais estão associadas aos processos de produção de calor para regulação térmica, atividade muscular, realização da circulação, respiração e renovação tecidual. Adicionalmente existe a produção de calor resultante da utilização dos alimentos, como calor gasto para obtenção,

apreensão, mastigação, digestão, absorção, fermentação, formação de produtos a partir de metabólitos absorvidos e síntese e excreção de produtos (REZENDE et al., 2006). A menor ingestão de alimentos pode estar relacionada ao menor *turnover* protéico de tecidos viscerais. Os tecidos viscerais, como trato gastrintestinal, coração, rins e o fígado, têm maior *turnover* protéico que o músculo esquelético e consomem cerca de 50% da energia destinada a manutenção, enquanto os músculos 23% (CATTON; DHUYVETTER, 1997). O *turnover* protéico em bovinos pode representar até 30% da produção de calor diária e deste total, aproximadamente 38-46% ocorre no trato gastrintestinal e 19-22% no músculo esquelético (LOBLEY et al., 1980). De acordo com Bergen (2008), os processos contínuos de *turnover* protéico consomem em torno de 20 a 25% da energia diária ingerida pelos animais.

Assim, o menor consumo observado em animais mais eficientes pode estar associado à redução do *turnover* protéico do trato gastrintestinal e tecido muscular. Casto Bulle et al. (2007) observaram que existe relação positiva entre taxa fracional de degradação protéica e exigência de manutenção de bovinos de corte de CAR negativo ($r=0,498$), sugerindo que os animais com taxas elevadas de *turnover* seriam mais exigentes e menos eficientes. Além da contribuição do *turnover* protéico para as variações na eficiência e manutenção, estas também podem estar associadas ao peso e a atividade metabólica de órgãos viscerais (FERREL; JENKINS, 1998).

O fígado, coração e rins são os órgãos de elevadas taxas metabólicas e destes, o fígado apresenta o maior gasto de energia. No trabalho de Basarab et al. (2003), os animais de CAR negativo apresentaram menor peso de fígado em relação aos de CAR positivo (6,57 x 6,06 kg, respectivamente) e menor peso de estômago e intestino (48,73 x 45,05 kg, respectivamente). Bonilha et al. (2009) observaram rins mais leves em animais eficientes (CAR negativo). Os rins, apesar de apresentarem menor peso em porcentagem de peso vivo em relação ao coração e fígado, e representarem apenas 0,3% do peso da carcaça, são responsáveis por cerca de 7% do gasto de energia do animal e apresentam taxa metabólica por unidade de massa mais elevada destes três órgãos (BALDWIN et al., 1985).

Embora alguns resultados encontrados nas publicações indiquem que peso de órgãos viscerais sejam menores em animais mais eficientes, os dados obtidos neste estudo não corroboram com a literatura, pois os valores de peso de coração, rins e

fígado, expressos em kg ou em kg/100 kg de carcaça quente, não diferiram entre animais eficientes e ineficientes (Tabela 7).

Tabela 7 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para peso de vísceras de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Variáveis	CAR			EP	β ₁ CAR	Valor-P
	Eficiente	Intermediário	Ineficiente			
<i>Peso de vísceras, kg</i>						
Coração	1,241	1,256	1,270	0,04	0,030	0,4970
Rins	0,674	0,706	0,739	0,03	0,065	0,0743
Fígado	4,302	4,313	4,329	0,16	0,028	0,8597
Gordura perirenal	5,495	5,672	5,848	0,43	0,353	0,4238
<i>Peso de vísceras, kg / 100 kg de carcaça quente</i>						
Coração	0,539	0,551	0,563	0,02	0,024	0,4157
Rins	0,311	0,328	0,345	0,01	0,034	0,0581
Fígado	1,899	1,911	1,924	0,07	0,024	0,7529
Gordura perirenal	2,423	2,544	2,659	0,02	0,023	0,3030

O peso da gordura perirrenal também não diferiu entre os animais eficientes e ineficientes uma vez que essa característica não foi relacionada ao CAR. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Nascimento (2011) quando comparou novilhos Nelore eficientes e ineficientes em confinamento. GOMES (2009) estudou CAR em novilhos Nelore confinados e também não encontrou diferenças entre os pesos de vísceras em animais eficientes e ineficientes, porém observou que os animais eficientes apresentaram 6,3 kg a menos de gordura no trato gastrointestinal que os animais ineficientes, gordura esta que não foi mensurada no presente trabalho.

Outra possibilidade para a variação da eficiência observada seria considerar que as exigências de manutenção e ganho dos animais foram semelhantes, porém com eficiências de utilização de energia metabolizável da dieta para manutenção (Km) e ganho (kg) distintas. Ou ainda, podem ter apresentado exigências de manutenção e

crescimento distintas, devido aos vários fatores citados anteriormente, e o Km e Kg iguais.

A maior eficiência dos animais de CAR negativo também pode ser consequência da redução da produção de metano, embora esta não tenha sido mensurada. De acordo com Nkrumah et al. (2006), a produção de metano está associada ao aumento do CAR, pois essas variáveis são positivamente relacionadas. Hegarty et al. (2007) verificaram em novilhos Angus confinados que o menor consumo apresentado pelos animais eficientes resultou na redução de 18% da produção diária de metano. O metano é produto da fermentação dos alimentos e, além de estar associado ao menor CMS dos animais eficientes, a redução de sua produção pode ser resultado de diferenças na relação acetato:propionato produzida por animais eficientes e ineficientes.

Assim, não é possível afirmar categoricamente que os animais de CAR negativo têm produção de metano menor associada somente ao menor consumo de matéria seca, pois há indícios de que existem outros fatores contribuindo para essa menor produção. Avaliando novilhas de CAR positivo e negativo em confinamento, Lawrence et al. (2011) observaram maior produção de propionato e maior relação acetato:propionato em animais eficientes. Como a síntese de propionato não resulta na produção de gás carbônico (precursor do metano), os esqueletos de carbono que seriam perdidos pela eructação passam a ser direcionados para outros processos, como síntese de tecidos, contribuindo para redução da produção de calor.

Este mecanismo poderia ter ocorrido neste experimento, pois foram detectadas relações significativas entre CAR e a produção estimada de calor. Estima-se que os animais eficientes produziram no mínimo 13% menos calor que os animais ineficientes (Tabela 8) e apresentaram menor consumo diário de matéria seca (Tabela 5). Estes resultados corroboram com os obtidos por Basarab et al. (2003), que observaram menor produção de calor em animais eficientes e verificaram relação positiva entre CAR e estas variáveis. Almeida (2005) também estimou menor produção de calor em novilhos de CAR negativo em relação aos CAR positivo (12,67 vs 14,92 Mcal/dia, respectivamente). Associada à redução da produção de metano, Nkrumah et al. (2006) observaram menor produção de calor dos animais de CAR negativo ($129,32 \times 163,97 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$).

A variação na composição corporal dos animais também é um dos fatores que vem sendo apontados como limitantes na seleção para eficiência baseada no CAR (HERD; PITCHFORD, 2011). No presente trabalho não foram observadas relações do CAR com área de olho de lombo inicial e final obtidos por ultrassom, tampouco com a área depositada no período avaliado (Tabela 8). Em contrapartida, foi possível observar que os animais eficientes apresentaram maior espessura de gordura subcutânea ao final da avaliação, apesar de apresentarem espessura inicial semelhante, em função da maior deposição apresentada por esses animais no período de avaliação ($P < 0,05$). A cada unidade de CAR (1 kg de MS/dia) reduzida os animais depositaram 0,431 mm a menos em espessura de gordura no período avaliado, ou seja, quanto maior o CAR maior foi a deposição de gordura.

Tabela 8 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para área do *Longissimus dorsi* e espessura de gordura inicial, final e deposição, energia retida e produção de calor estimada em novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Variáveis ¹	CAR			EP	β_1 CAR	Valor-P
	Eficiente	Intermediário	Ineficiente			
<i>Área do Longissimus dorsi, cm²</i>						
Inicial	52,03	51,74	51,44	0,88	-0,5822	0,5117
Final	58,84	58,66	58,48	1,00	-0,3595	0,7206
Deposição	7,15	7,29	7,43	0,47	0,2718	0,5723
<i>Espessura de gordura subcutânea,mm</i>						
Inicial	2,612	2,678	2,745	0,14	0,1131	0,3524
Final	4,643	4,903	5,162	0,24	0,5190	0,0368
Deposição	2,078	2,294	2,509	0,19	0,4312	0,0293
<i>Energia retida e produção de calor, Mcal/dia</i>						
Energia Retida	3,306	3,505	3,705	0,20	0,3991	0,0603
Produção de Calor	15,53	16,67	17,81	0,29	2,285	<.0001

¹ Obtidas por ultrassom entre a 12^a e 13^a costela.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Arthur et al. (2001), que ao avaliarem novilhos e novilhas selecionados divergentemente para CAR

observaram relações positivas entre espessura de gordura e CAR. No estudo de Richardson et al. (2001) a composição corporal foi associada à variação do CAR, onde as progênes mais eficientes apresentaram menor teor de gordura e maior teor de proteína corporal em relação às progênes ineficientes. Kelly et al. (2011) também verificaram que novilhos eficientes apresentaram menor espessura de gordura em relação aos menos eficientes, com valores de 2,41 x 4,49 mm, respectivamente. Em outros estudos foram detectadas relações positivas entre espessura de gordura e CAR (CARTENS et al., 2002; BASARAB et al., 2003; SHAFFER et al., 2011).

Os ganhos de peso mais magros associados à menor deposição de gordura, apresentados por animais de CAR negativo (Tabela 8), são mais eficientes em relação à conversão de alimentos em peso vivo quando comparados a ganhos com maior deposição de gordura. A maior eficiência dos animais com a composição corporal mais magra é devido ao melhor aproveitamento da energia do alimento ingerido, pois apesar da concentração energética dos lipídios ser quase 2 vezes maior que da proteína (9,5 x 5,5 kcal/g), a deposição de músculo é mais eficiente, uma vez que a cada grama de proteína depositada são carregados três a quatro gramas de água o que resulta em maior quantidade de tecido depositado para uma mesma quantidade de energia ingerida, com teor energético do ganho menor. Além disso, a produção de calor na síntese de tecido muscular é menor quando comparado ao tecido adiposo (LOFGREEN; GARRET, 1968).

Com os resultados obtidos nesse trabalho pode-se observar que a energia retida pelos animais ineficientes durante a avaliação foi 0,40 Mcal/dia maior em relação aos eficientes (Tabela 8). Adotando-se uma eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de 0,415 (dieta de 2,6 Mcal de EM, segundo NRC, 1984), para que a diferença na demanda dos animais ineficientes pudesse ser atendida foram necessários 0,976 Mcal de EM/dia, equivalentes a 0,371 kg de matéria seca a mais por dia, ou seja, as diferenças na composição do ganho dos animais foram responsáveis por 36% da variação apresentada no consumo dos animais eficientes e ineficientes (1,03 Kg de MS /dia), sendo este resultado superior ao apresentado por Richardson e Herd (2004), que apontaram que a composição corporal podem explicar até 5% da variação no consumo alimentar residual.

Além dos fatores citados para a variação da eficiência, outros poderiam explicar as diferenças observadas, como os processos digestivos, que estima-se possam contribuir com 10% da variação do CAR, o padrão de alimentação em 2%, o incremento calórico associado à digestão em 9%, a atividade física em 10% e o transporte de íons em torno de 27% desta variação (HERD et al., 2009).

4.2 Características de carcaça e qualidade de carne

Não foram observadas diferenças entre no peso de carcaça quente (PCQ) e rendimento de carcaça quente (RCQ) de animais eficientes e ineficientes, visto que as relações destas características com o CAR não foram significativas (Tabela 9).

Os resultados similares de EGS eram esperados, pois foi critério para determinação do ponto de abate dos animais. Além da influencia do grau de acabamento, o peso de carcaça quente similar entre os animais eficientes e ineficientes é consequência do CAR ser ajustado para ganho e peso vivo (Tabela 5), pois o PCQ é determinado pelo tamanho corporal do animal. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para os resultados de rendimento de carcaça quente, comprimento, profundidade e conformação, que são associados ao peso da carcaça.

Tabela 9 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para características de carcaça de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Variáveis	CAR			EP	β_1 CAR	P<F
	Eficiente	Intermediário	Ineficiente			
PCQ ¹ , kg	235,3	236,9	238,5	2,44	3,187	0,1957
RCQ ² , %	55,7	55,4	55,0	0,00	-0,007	0,0923
Comprimento, cm	122,9	123,4	123,9	0,55	0,971	0,0864
Profundidade, cm	38,3	38,6	38,9	0,44	0,562	0,2231
Conformação	8,3	8,3	8,3	0,58	-0,080	0,8909
Textura	4,4	4,4	4,3	0,07	-0,065	0,3676
AOL ³ , cm ²	59,85	59,22	58,59	1,08	-1,259	0,2484
EGS ³ , mm	5,24	5,23	5,23	0,19	-0,014	0,9386

¹PCQ – peso de carcaça quente. ²RCQ – rendimento de carcaça quente. ³AOL - área de olho de lombo e EGS - espessura de gordura subcutânea medidas na carcaça.

Não foram observadas associações entre CAR e textura do músculo *Longissimus dorsi* ($P>0,05$). A textura da carne auxilia na avaliação da maturidade dos animais, pois animais mais velhos normalmente apresentam textura mais grosseira. A textura é avaliada através da granulação, constituída por um conjunto de fibras musculares agrupadas e envolvidas pelo perimísio e estão presentes na superfície do músculo quando este é cortado. De modo geral, os animais jovens apresentam textura mais fina (MULLER, 1987). Neste experimento os animais foram abatidos com aproximadamente 26 meses, considerados jovens. Portanto, a similaridade observada nos escores de textura de animais eficientes e ineficientes é justificada.

Não foram observadas relações entre CAR e espessura de gordura final do *Longissimus dorsi* ($P>0,05$), sendo este resultado esperado, uma vez que foi o critério de abate. A área de olho de lombo de animais eficientes e ineficientes também não diferiu ($P>0,05$). Ao avaliarem características de carcaça de novilhos confinados de CAR positivo e negativo, Basarab et al. (2003) também não observaram diferenças significativas entre as médias de RCQ e EGS. Almeida (2005) avaliaram novilhos Nelore eficientes e ineficientes e observaram EGS similares (9,48 vs 8,87 mm). Gomes (2009) quando confinaram novilhos Nelore não observaram associação entre EGS e CAR, assim como Montanholi et al. (2010), que verificaram valores similares de EGS, AOL e marmorização entre os novilhos cruzados de CAR positivo e negativo.

Estes resultados de pesquisa estão de acordo com os observados neste experimento, mas são contraditórios a alguns observados na literatura consultada (ARCHER et al., 1999; CARSTENS et al., 2002; HERD et al., 2004; ROBINSON; ODDY, 2004) que relataram associações do CAR com a composição da carcaça, onde animais mais eficientes tendem a apresentar carcaças mais magras, com menor acabamento e menor quantidade de gordura intramuscular. Essas divergências de resultados de composição corporal dos experimentos provavelmente estão associadas às diferenças na taxa de crescimento muscular entre raças, fase de avaliação (crescimento ou terminação), diferenças entre os locais de avaliação, grau de acabamento determinado ao abate e o tamanho da população estudada em cada experimento.

A composição corporal mais magra de animais de CAR negativo é um fator que deve ser considerado na seleção de animais eficientes, pois além de afetar negativamente a manutenção de vacas no período da seca em ambientes de pastagens ruins, pode influenciar diretamente no padrão de acabamento de carcaça exigido pelos frigoríficos e mercado consumidor. Felício (1993) relatou que a espessura de gordura subcutânea, ou gordura de acabamento de carcaça, é um importante indicador de qualidade, pois pode influenciar diretamente a velocidade de resfriamento da carcaça, devido a sua função de isolante térmico.

O resfriamento rápido da carcaça pode provocar a uma rápida queda de temperatura na superfície do músculo, resultando em acentuado encurtamento do sarcômero pelo frio e consequente influencia negativa na maciez e coloração da carne (BYRNEA et al., 2000). O pH é um dos principais fatores que afetam a qualidade da carne, e este por sua vez é determinado por uma série de outros fatores *ante* e *post-mortem*. Neste estudo, a carne de animais eficientes e ineficientes apresentaram pH dentro da faixa considerada adequada (pH entre 5,40 e 5,60) para bovinos de corte não estressados (PUOLLANE et al., 1988; JUDGE et al., 1988; ABERLE et al., 2001) e não diferiram entre si ($P>0,05$), demonstrando que essa variável foi independente do CAR (Tabela 10).

Tabela 10 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para características de qualidade de carne de amostras não maturadas de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Variáveis	Eficiente	Intermediário	Ineficiente	EP	β_1 CAR	Valor P
<i>Amostras não- maturadas</i>						
pH	5,5	5,5	5,5	0,02	-0,0045	0,8457
CRA ¹ , %	74,6	74,2	73,9	0,45	-0,6753	0,1405
PCOC ² %	30,1	30,3	30,6	0,52	0,5236	0,3240
FC ³ , kgf/cm ²	6,2	6,4	6,5	0,22	0,3120	0,1689
EE ⁴ , %	2,9	3,2	3,4	0,23	0,4077	0,0820
<i>Cor da carne⁵</i>						
L* carne	43,4	43,4	43,6	0,28	0,2182	0,4501
a* carne	25,9	25,8	25,6	0,33	-0,4050	0,2236
b* carne	18,8	18,7	18,6	0,27	-0,1362	0,6162
a*/b* carne	1,39	1,38	1,38	0,00	-0,1036	0,2373
<i>Cor da gordura⁵</i>						
L* gordura	75,1	75,1	75,2	0,37	0,05254	0,8891
a* gordura	16,2	16,2	16,1	0,35	-0,1318	0,7105
b* gordura	20,7	20,7	20,8	0,33	0,04610	0,6903

¹ CRA – capacidade de retenção de água ; ² PCOC – perdas por cocção; FC³ - força de cisalhamento; ⁴ EE – extrato etéreo; ⁵ L* - luminosidade; a* - intensidade da cor vermelha; b* - intensidade da cor amarela.

Do total de amostras avaliadas, 97,8% das amostras apresentaram pH entre 5,33 e 5,75, e apenas duas amostras (2,2%) apresentaram pH acima de 5,9. O pH final afeta a capacidade de retenção de água da carne, pois a medida que ele aumenta afasta-se do ponto isoelétrico (pH=5,5), e as proteínas miofibrilares passam a apresentar maior interação com a água, diminuindo sua liberação (LAWRIE; LEDWARD, 2006). Como o pH obtido coincidiu com ponto isoelétrico das proteínas, a capacidade de retenção de água e as perdas por cocção ($P>0,05$) não apresentaram relação significativa com o CAR ($P>0,05$).

Os resultados obtidos por Baker et al. (2006) são contraditórios aos observados neste experimento. Esses autores avaliaram a qualidade de carne de novilhos classificados em grupos de baixo, médio e alto CAR e verificaram que os animais de médio e baixo CAR apresentaram carne com menor proporção de lipídio

e maior umidade que a carne dos animais de baixo CAR. Além disso, as amostras dos animais de baixo CAR apresentaram maiores perdas por cocção em relação aos animais de médio CAR, evidenciando maior capacidade dos animais eficientes na deposição de músculo em detrimento à gordura.

Assim, poderia se esperar menor capacidade de retenção de água e maiores perdas por cocção dos animais eficientes se o *Longissimus dorsi* tivesse maior proporção de proteína, que poderia ser evidenciada por uma maior AOL e menor EGS, mas não é o caso, pois os valores de AOL e EGS entre animais eficientes e ineficientes não diferiram significativamente (Tabela 9). Verificou-se, por outro lado, uma tendência ($P=0,08$) de menor teor de extrato etéreo intramuscular nos animais eficientes, consistente com o efeito de menor deposição de gordura subcutânea. Nos estudos de Gomes (2009) e Nascimento (2011) envolvendo avaliação do CAR e qualidade de carne de novilhos Nelore, também não foram detectadas diferenças significativas entre os valores de perdas por cocção no músculo *Longissimus* de animais eficientes e ineficientes, independente da realização do processo de maturação.

Outras características importantes para avaliação em carcaças de animais de CAR negativo é o efeito da eficiência sobre a força de cisalhamento (indicador da maciez da carne) e os aspectos visuais, como coloração do músculo e gordura, que são atributos importantes para comercialização e consumo dos cortes cárneos. As amostras avaliadas neste experimento podem ser caracterizadas como carne dura ($6,37 \text{ kgf/cm}^2$), já que o limite aceitável para se considerar uma carne macia é $3,6 \text{ kgf/cm}^2$ (SHACKELFORD et al., 1991). Embora a média de força de cisalhamento obtida seja muito maior que o limite aceitável, quando se avalia os indivíduos, é possível observar uma considerável variabilidade na maciez da carne da população estudada, com valores entre 2,0 e $9,2 \text{ kgf/cm}^2$ (Figura 4).

Figura 4 – Frequência absoluta e variação fenotípica para força de cisalhamento de amostras não maturadas de Nelore confinados

Os valores maiores de força de cisalhamento em animais zebuínos quando comparados a animais taurinos são relacionados à maior atividade da enzima calpastatina, que possui efeito inibidor sobre as calpaínas (RUBENSAM; FELÍCIO; TERMIGNONI, 1998), enzimas responsáveis pela proteólise no *post mortem*. No entanto, além das atividades enzimáticas responsáveis pela proteólise diferirem entre raças, também variam entre indivíduos.

As atividades de calpastatinas foram maiores em animais eficientes no trabalho de McDonagh, Fernandez e Oddy (1999), fato que resultou em correlações significativas entre a relação μ -calpaína:calpastatina (estimativa da atividade proteolítica potencial da μ -calpaína) e índice de fragmentação miofibrilar ($r = 0,75$) e força de cisalhamento ($r = -0,64$). Ou seja, animais mais eficientes podem apresentar carne mais dura, em função da maior atividade de calpastatina e menor *turnover* protéico. O decréscimo *turnover* protéico seria energeticamente vantajoso, pois ocorreria redução da energia perdida no processo e contribuiria para aumento da deposição de tecido.

Dessa forma, animais poderiam ser mais eficientes devido à redução no *turnover* de proteína muscular, como discutido anteriormente, mas isso resultaria na produção de carne mais dura. Neste experimento isto não ocorreu, e não houve

relação entre CAR e força de cisalhamento ($P>0,05$). Estes resultados corroboram os obtidos por Cafe et al. (2010) quando avaliaram qualidade de carne de novilhos Brahman em confinamento. Outros autores também não relatam diferenças na força de cisalhamento em função do CAR de animais de raças britânicas (McDONAGH et al., 2001; BAKER et al., 2006). A similaridade entre médias de força de cisalhamento em carnes maturadas de novilhos Nelore de CAR positivo e negativo também foi observada no estudo de Farjalla (2009) em carnes maturadas por 7 dias, com valores de 4,60 vs 4,88 kgf respectivamente e Nascimento (2011) quando avaliaram carne não maturada de novilhos Nelore eficientes e ineficientes em confinamento (8,08 vs 7,98 kgf).

A força de cisalhamento é uma medida relacionada à perda por cocção, em que amostras com elevadas perdas de água durante o cozimento podem tornar-se mais duras. Os valores de perdas por cocção deste estudo estiveram dentro da faixa normal, entre 20,3% e 31,5% (WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 1996; ABULARACH; ROCHA; FELÍCIO 1998) e não diferiram entre os animais eficientes e ineficientes. Nascimento (2011) também observou valores similares de perdas por cocção nos bifes não maturados de novilhos Nelore eficientes e ineficientes em confinamento.

Não foram observadas diferenças significativas dos valores de luminosidade da carne e gordura entre os animais eficientes e ineficientes ($P>0,05$). A intensidade da cor amarela e cor vermelha e a relação a^*/b^* da carne não diferiram entre animais eficientes e ineficientes ($P>0,05$). Não foram observadas diferenças na intensidade da cor vermelha e amarela da gordura do *Longissimus dorsi* entre animais eficientes e ineficientes ($P>0,05$). Estes resultados similares para luminosidade e coloração da carne, provavelmente estão associados à semelhança dos valores de pH entre animais eficientes e ineficientes, pois este influencia na coloração do músculo.

Ao relacionarem coloração da carne com faixa de pH, Abril et al. (2001) observaram que carnes com pH abaixo de 5,5 apresentaram maior luminosidade ($L^*>42$), carnes com pH acima de 6,0 apresentaram menor luminosidade e luminosidade intermediária para pH entre 5,5 e 6,0 ($36 < L^* < 40$). Os valores de L^* da carne obtidos neste estudo estão de acordo com os valores citados por Abril et al. (2001) para a faixa de pH apresentada.

4.3 Custos de produção e margem de contribuição durante o confinamento

O custo médio total de produção por animal, com período de confinamento de 93 ± 10 dias, foi R\$ 476,10. A margem de contribuição média diária por animal foi R\$ - 0,52, ou seja, houve prejuízo no confinamento experimental. Embora sejam resultados desfavoráveis, é importante lembrar que estes não correspondem às condições dos confinamentos comerciais, onde se utilizam dietas de maior teor energético e menor consumo, que proporcionam melhores desempenhos e redução do custo diário de alimentação. Além disso, foram usados animais castrados que foram adaptados à dieta experimental por período relativamente longo, e, portanto, não estavam em crescimento compensatório.

Associados à estes fatores, os cálculos de custo da dieta considerando os valores observados em 2011, ano que se destacou pelo maior custo dos grãos, podem ter contribuído para o prejuízo observado. Finalmente, o confinamento comercial tem período de alimentação menor e os animais são abatidos com o acabamento mínimo exigido pelos frigoríficos de 3 mm de espessura de gordura subcutânea. Neste experimento os animais atingiram grau de acabamento maior (4 mm), fato que piora as margens contribuindo para os valores negativos obtidos. No entanto, mesmo com o prejuízo, o CAR foi significativamente relacionado à margem de contribuição. É possível observar que os animais eficientes deram prejuízo 43,8% menor que os animais ineficientes (Tabela 11).

A relação significativa entre CAR e margem de contribuição era esperada, pois o consumo de matéria seca é parte importante do cálculo da margem e foi pelo menos 1,035 kg/dia menor em animais eficientes (Tabela 5). Alguns pesquisadores também observaram relações significativas entre CAR e margem de contribuição (EXTON et al., 2000; NUÑEZ; ALMEIDA; LANNA, 2005; ARCHER; BARWICK; JRASER, 2006; CARSTENS; NASCIMENTO, 2011).

Tabela 11 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR), valores e erro padrão (EP) para parâmetros econômicos de novilhos Nelore com CAR -0,5 kg de MS/dia (eficiente), 0,0 kg de MS/dia (intermediário) e 0,5 kg de MS/dia (ineficiente)

Características	Eficiente	Intermediário	Ineficiente	EP	β_1 CAR	Valor-P
@ produzidas	4,19	4,32	4,44	0,16	0,2557	0,1155
<i>Custo, R\$</i>						
Total	445,5	476,1	506,7	4,77	61,19	<0.0001
Diário	5,50	5,42	5,33	0,18	-0,169	0,3629
<i>Margem de contribuição, R\$</i>						
Total	-23,32	-124,5	-225,7	74,7	-202,4	0,0080
Diário	-0,32	-0,52	- 0,73	0,18	-0,4075	0,0318

A redução da necessidade de alimentos no confinamento tem impacto significativo no sistema de produção, pois os custos com alimentação representam de 70 a 80% do custo total. Neste trabalho, o custo médio com alimentação observado foi R\$ 0,58/kg de matéria seca consumida e este valor representou 85% do custo de produção diário do confinamento. O estudo do coeficiente de correlação entre margem de contribuição e consumo de matéria seca foi significativo ($r = -0,26$) e apesar da relação significativa com o CAR, constatou-se que a margem de contribuição é muito mais associada às variáveis de ganho de peso e eficiência alimentar do que ao CAR (Tabela 12).

Tabela 12 – Coeficientes de correlação de Pearson entre características de margem de contribuição, desempenho, consumo, eficiência e composição da carcaça de novilhos Nelore

	Margem	PVF	CMS	GPD	EA	CAR	AOL	EGS	EE
Margem	..	-0,18 [†]	-0,26 [*]	0,53 ^{**}	0,75 ^{**}	-0,23 [†]	0,20 [†]	0,10	0,06
PVF	..	..	0,60 ^{**}	0,39 ^{**}	0,15	0,05	0,08	0,14	0,03
CMS	..	..	..	0,35 ^{**}	-0,08	0,80 ^{**}	0,01	0,25 [*]	0,17
GPD	..	..	..	..	0,90 ^{**}	-0,01	0,24 ^{**}	0,27 ^{**}	0,21 [*]
EA	..	..	..	..	..	-0,10 [*]	0,15	0,17 [†]	0,15
CAR	..	..	..	..	..	..	-0,15	0,25 ^{**}	0,22
AOL	..	..	..	..	..	..	..	-0,02	-0,13
EGS	..	..	..	..	..	..	..	..	0,16
EE	..	..	..	..	..	..	..	..	..
GPR	..	..	..	..	..	..	..	..	..

P>0,05; †P<0,05; *P<0,01; **P<0,0001. Margem de contribuição (R\$/dia); PVF - peso vivo final (kg); CMS - consumo de matéria seca (kg/dia); GPD - ganho de peso (kg/dia); EA – eficiência alimentar; CAR - consumo alimentar residual (kg de MS/dia); AOL - área de olho de lombo (cm²) mensurada no abate, EGS - espessura de gordura subcutânea (mm); EE – extrato etéreo intramuscular (%).

Associado ao maior ganho de peso foi possível observar a produção de animais com carcaças de maior área de olho de lombo ($r = 0,24$) e maior espessura de gordura subcutânea ($r = 0,27$). As correlações entre margem de contribuição e ganho de peso vivo são altas ($r = 0,53$), assim como com a eficiência alimentar ($r = 0,75$), muito superiores às do CAR. Outro ponto a ser observado com bastante cautela é que embora a associação fenotípica da margem de contribuição com o peso vivo dos animais seja significativa, esta é menor que a sua correlação com EA e GPD (Figura 5). Uma explicação para esta associação seria a tendência de maior acabamento nestes animais de maior peso final.

Figura 5 - Matriz gráfica da correlação entre as variáveis margem de contribuição (R\$/dia), GPD – ganho de peso diário (kg/dia), consumo alimentar residual – (kg/dia), EA – eficiência alimentar (kg/dia) e AOL – área de olho de lombo.

Esses resultados corroboram com os obtidos pela equipe do Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal/ESALQ-USP (NUÑEZ; ALMEIDA; LANNA, 2005; NASCIMENTO, 2011), que constataram que a lucratividade é melhor correlacionada com ganho de peso ou conversão do que com o CAR. Cruz et al. (2010) observaram que o CAR representa apenas 18% da variação no custo, enquanto GPD e CMS representam 98,5%, sugerindo que o CAR como critério de seleção não seria economicamente interessante e tampouco um bom indicador de rentabilidade em confinamento.

A utilização do CAR como índice de eficiência alimentar pode permitir a seleção de animais com menor consumo de alimentos sem alterar o peso ou ganho de peso e reduzir a necessidade de ração no confinamento. Isso seria muito vantajoso economicamente para o sistema de produção, pois possibilitaria a redução de investimentos por parte do produtor, especialmente em alimentação, e diminuiria o impacto ambiental da atividade sem prejuízos à qualidade do produto final. No entanto, é importante observar que foi encontrada uma redução na deposição e gordura subcutânea, indicando que animais mais magros serão produzidos se a seleção for feita pelo CAR.

Além disto, foi possível estimar que a redução na deposição de gordura explicou aproximadamente 36% da redução no consumo de alimentos dos animais de CAR eficiente em relação aos animais de CAR ineficiente. No entanto, o CAR foi bastante inferior à eficiência alimentar para explicar o lucro em confinamento. Considerando a produção de bovinos de corte em pastagem, onde a dieta é ainda mais barata, o desempenho é inferior e o tempo para atingir acabamento é maior, o CAR deve ter correlação ainda pior com o lucro. A associação do CAR com a margem foi da mesma magnitude que a AOL, sugerindo a possibilidade de seleção de animais para margem de contribuição pela AOL, situação esta muito mais econômica em relação à mensuração de consumo individual.

O ganho de peso é muito melhor correlacionado à margem que o CAR, indicando que este índice de eficiência não identifica os animais de maior desempenho (ganho maior) e isso pode limitar a sua utilização se o objetivo da seleção também for a obtenção de animais mais lucrativos. Este problema deve ser maior principalmente quando se considera o sistema a pasto.

5 CONCLUSÕES

A maior eficiência dos animais pelo CAR está associada à menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular, porém a composição de carcaça mais magra não implica em prejuízos nas características de carcaça, maciez e/ou outros parâmetros de qualidade de carne.

As diferenças na energia depositada podem explicar aproximadamente 36% da redução no consumo de alimentos entre animais eficientes e não eficientes quanto ao CAR.

A medida de eficiência melhor correlacionada à margem de contribuição é a eficiência alimentar, assim como o ganho de peso. Já o CAR tem uma baixa correlação com margem na terminação de bovinos de corte confinados.

REFERÊNCIAS

- ABULARACH, M.L.S.; ROCHA, C.E.; FELÍCIO, P.E. Características de qualidade do contrafilé (m. *L. dorsi*) de touros jovens da raça Nelore. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. Campinas, v. 18, n. 2, p. 205-210, 1998.
- ALENCAR, M.M. Perspectivas para o melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MELHORAMENTO ANIMAL; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, p. 358-367, 2004.
- ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- 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: SIMPÓSIO SOBRE MELHORAMENTO ANIMAL; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, p.4, 2004.
- ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; PARNELL, P.F.; PITCHFORD, W.S. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, p. 2024-2032, 1997.
- ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C. Genetic variation in feed efficiency and its component traits. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 6., 1998, Armidale. **Proceedings...** Armidale, v. 25, p. 81-84. 1998.
- ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Science**, Collingwood, v. 50, p. 147-161, 1999.
- ARCHER, J.A.; BARWICK, S.A.; GRASER, H.U. Economic evaluation of beef cattle breeding schemes incorporating performance testing of young bulls for feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.44, p.393-404, 2004.
- ARCHER, J.A.; BERGH, L. Duration of performance tests for growth rate, feed intake and feed efficiency in four biological types of beef cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.65, p.47-55, 2000.

ARCHER, J.A.; REVERTER, A.; HERD, R.M.; JOHNSTON, D.J.; ARTHUR, P.F. Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. In: WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, v. 31, p. 221-224, 2002.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; RICHARDSON, E.C. Net feed conversion efficiency and its relationship with other traits in beef cattle. In: AUSTRALIAN SOCIETY ANIMAL PRODUCTION, 1996, Armidale. **Proceedings...** Armidale, p. 107-110, 1996.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; EXTON, S.C.; WRIGHT, J.H.; DIBLEY, K.C.P.; BURTON, D.A. Genetic and phenotypic variation in feed intake, feed efficiency and growth in beef cattle. In: **CONFERENCE OF THE ASSOCIATION ADVANCEMENT ANIMAL BREEDING GENETICS, 12., 1997, Queenstown. Proceedings...** Queenstown, v. 12, p. 234-237, 1997.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; MELVILLE, G.J. Response to selection for net feed intake in beef cattle. In: **ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 2001, Queenstown. Proceedings...** Queenstown, v. 14, p. 135-138, 2001a.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J.; RICHARDSON, E.C.; PARNELL, P.F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 2805-2811, 2001b.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; ARCHER, J.A. Should measures of body composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle. In: **ASSOCIATION ADVANCEMENT ANIMAL BREEDING GENETICS, 2003, Melbourne. Proceedings...** Melbourne, p. 306-309. 2003.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M. Feed intake and efficiency in beef cattle: Overview of recent Australian research and challenges for the future. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 44, p. 361-369, 2004.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Efficiency of feed utilization by livestock: implications and benefits of genetic improvement. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 85, p. 281-290, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 18th ed. Gaithersburg, 2006. 3000 p.

BAKER, S.D.; SZASZ, J.I.; KLEIN, T.A.; KUBER, P.S. Residual feed intake of purebred Angus steers: effects on meat quality and palatability. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 938-945, 2006.

BALDWIN, R.L.; FORSBERG, N.E.; HU, C.Y. Potential for altering energy partition in the lactating cow. Journal of Dairy Science, Albany, v. 68, p. 3394-3402. 1985.

BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, p. 189-204, 2003.

BASARAB, J.A.; MCCARTNEY, D.; OKINE, E.K.; BARON, V.S. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 87, p. 489-502. 2007.

BERGEN, W.G. Measuring in vivo intracellular protein degradation rates in animal systems. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 86, p. 3-12, 2008.

BISHOP, M.D.; DAVIS, M.E.; HARVEY, W.R.; WILSON, G.R.; Van STAVERN B.D. Divergent selection for postweaning feed conversion in Angus beef cattle: II. Genetic and phenotypic correlations and realized heritability estimate. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, p. 4360-4367, 1991.

BRASIL. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do agronegócio: Brasil 2008/2009 a 2018/2019**. 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/MENU_LATERAL/AGRICULTURA_PECUARIA/PROJECoes_AGRONEGOCIO/PROJECoes%20DO%20AGRONEGOCIO%20BRASIL%202008-2019.PDF>. Acesso em: 09 fev. 2010.

BRODY, S. Bioenergetics and growth, with especial reference to the efficiency complex in domestic animals. New York: Reinhold Publ., 1945. 1023 p.

BULLOCK, K.D.; BERTRAND, J.K.; BENYSHEK, L.L. Genetic and environmental parameters for mature weight and other growth measures in Polled Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 1737-1741, 1993.

CAFE, L.M.; McLNTYRE, B.L.; ROBINSON, D.L.; GEESINK, G.H.; BARENDSE, W. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p.3047–3058, 2010.

CARSTENS, G.E.; THEIS, C.M.; WHITE, M.B.; WELSH JR, T.H.; WARRINGTON, B.G.; MILLER, R.K.; RANDEL, R.D.; FORBES, T.D.A.; LIPPKE, H.; GREENE, L.W.; LUNT D.K. Relationships between net feed intake and ultrasound measures of carcass composition in growing beef steers. **Beef Cattle Research in Texas, Kleberg**, p. 31-34, 2002.

CASTILHOS, A.M.; BRANCO, R.H.; RAZOOK, A.G.; BONILHA, S.F.M.; MERCADANTE, M.E.Z.; FIGUEIREDO, L.A. Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nellore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 301-307, 2011.

CASTRO BULLE, F.C.; PAULINO, F.C.P.; SANCHES, A.C.; SAINZ, R.D. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 928-936, 2007.

CATTON, J.S.; DHUYVETTER, D.V. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: requirements and responses. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.75, n.4, p.533-542, 1997.

CROWLEY, J.J; EVANS, R. D.; MC HUGH, N.; PABIOU, T.; KENNY, D.A.; MCGEE, M.; CREWS, D. H. Genetic associations between feed efficiency measured in a performance-test station and performance of growing cattle in commercial beef herds. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, p. 2028-2034, 2011.

DiCOSTANZO, A.; MEISKE, J.C.; PETERS, S.D. Within - herd variation in differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. Australian Journal of Experimental Agriculture, Champaign, v.44, p.441-452, 1990.

DURUNNA, O.N.; PLASTOW, G.; MUJIBI, F.D.N.; GRANT, J.; MAH, J.; BASARAB, J. A.; OKINE, E.K.; MOORE, S.S.; WANG, Z. Genetic Parameters and genotype by environment interaction for feed efficiency traits in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.87, p.1112-1123, 2011.

DURUNNA, O.N.; WANG, Z.; BASARAB, J.A.; OKINE, E. K.; MOORE, S.S. E.K.; CREWS, D.H.; MOORE, S.S. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and different measures of feed efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 2711–2720, 2007.

EGARR, A.R.; PITCHFORD, W.S.; BOTTEMA, M.J.; HERD, R.M.; SIDDELL, J.P.; THOMPSON, J.M.; BOTTEMA, C.D.K. Fat distribution in Angus steers is related to residual feed intake estimated breeding value. In: ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 18., 2009, Perth. **Proceedings...** Perth, p. 536-539, 2009.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 21 jan. 2009.

EXTON, S.; HERD, R.; DAVIES, L.; ARCHER, J.; ARTHUR, P. Commercial benefits to the beef industry from genetic improvement in net feed efficiency. Asian-Australasian. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 13, p. 338-341, 2000.

FAN, L.Q.; BAILEY, D.R.C.; SHANNON, N.H. Genetic parameter estimation of post-weaning gain, feed intake and feed efficiency for Hereford and Angus bulls fed two different diets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 73, p. 365-372, 1995.

FAPRI. **World agricultural outlook 2006**. Iowa State University, Center for Agricultural and Rural Development, 2006. Disponível em: <<http://www.fapri.iastate.edu/publications>>. Acesso em: 28 jan. 2009.

FARJALLA, Y.B. **Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore estratificados pela eficiência alimentar através do consumo alimentar residual**. 2009. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FELICIO, P.E. **Fatores ante e post mortem que influenciam na qualidade da carne vermelha**. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30., Rio de Janeiro, 1993. Anais...** Rio de Janeiro, p.43-52, 1993.

FERREL, C. L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, p. 234–243, 1984.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Cow type and nutritional environment: nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 61, p. 725 – 741, 1985.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: I. Angus, Belgian Blue, Hereford, and Piedmontese Sires. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 637-646, 1998.

FITZHUGH Jr., H.A.; TAYLOR, C.S.St. Genetic analysis of degree of maturity. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 33, p. 717-725, 1971.

GOLL, D.E.; NETI, G.; MARES, S.W.; THOMPSON, V.F. Myofibrillar protein turnover: The proteasome and the calpains. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 86(E. Suppl, p. E19–E35, 2008.

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. 93p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

HEGARTY, R.S.; HERD, R.M.; GOOPY, J.P.; ARTHUR, P.F. Selection for residual feed intake can change methane production in feedlot steers. **Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics**, Perth, v. 16, p. 334–337, 2005.

HEGARTY, R.S.; GOOPY J.P.; HERD, R.M.; McCORKELL B. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1479, 2007.

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**, Savoy, v. 81, p. 9-17, 2003.

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; HEGARTY, R.S.; ARCHER, J.A. Potential to reduce greenhouse gas emissions from beef production by selection for reduced residual feed intake. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, p. 10-22, 2002.

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**, Amsterdam, v. 63, p. 111-119, 2000.

HERD, R.M.; PIPER, S.; THOMPSON, J.M.; ARTHUR, P.F.; McCORKELL, B.; DIBLEY, K.C.P. Benefits of genetic superiority in residual feed intake in a large commercial feedlot. **Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics**, Perth, v. 18, p. 476-479, 2009.

HERD, R.M.; PITCHFORD, W.S. Residual feed intake selection makes cattle leaner and more efficient. **Recent Advances in Animal Nutrition**, Armidale, v. 18, p. 45-58, 2011.

HOQUE, M.A.; SUZUKI, K. Genetics of residual feed intake in cattle and pigs: a review. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, Seoul, v. 22, n. 5, p. 747-755, 2009.

HOQUE, M.A.; SUZUKI, K. Genetics of residual feed intake in cattle and pigs: a review. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, Seoul, v. 22, n. 5, p. 747-755, 2009.

JENKINS, T.G.; KASPS, M.; CUNDIF, L.V.; FERREL, C.L. Evaluations of between and within breed variation in measures of weight-age relationships. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, p. 3118-3128, 1991.

JENSEN, J.; MAO, I.L.; ANDERSEN, B.B.; MADSEN P. Phenotypic and genetic relationships between residual energy intake and growth, feed intake, and carcass traits of young bulls. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 70, p. 386-395, 1992.

JONES, F.M.; PHILLIPS, F.A.; NAYLOR, B. T.; MERCERA, N.B. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 75, p. 2028-2034, 2011.

JUDGE, M.D.; ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; MERKEL, KELLNER, O. **The scientific feeding of animals**. New York: MacMillan, 1909. 404p.

KELLY, A.K.; MCGEE, M.; CREWS JR, D.H.; LYNCH, C.O.; WUYLIE, A.R.; EVANS, R.D.; KELLY, A.K. Relationship between body measurements, metabolic hormones, metabolites and residual feed intake in performance tested pedigree beef bulls. **Livestock Science**, Amsterdam, v.135, p. 8–16, 2011.

KELLY, A.K.; MCGEE, M.; CREWS, D.H.; FAHEY, A.G.; WYLIE, A.R.; KENNY, D.A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p.109-123, 2010.

KENNEDY, B.W.; VAN DER WERF, J.H.J.; MEUWISSEN, T.H.E. Genetic and statistical properties of residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 3239-3250, 1993.

KLEIBER, M. Problems involved in breeding for efficiency of food utilization. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 1936b, p. 247-258, 1936.

KOCH, R.M.; SWINGER, L.A.; CHAMBERS, GREGORY, D.K.E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 22, p. 486-494, 1963.

KORVER, S. Genetic parameters for feed intake and feed efficiency in growing dairy heifers. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 20, p. 49, 1991.

LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; CREWS, D.H.; WELSH JR., T.H.; FORBES, T.D.A.; FORREST, D.W.; TEDESCHI, L.O.; RANDEL, R.D.; ROUQUETTE, F.M. Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass characteristics of Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, p. 3887-3896, 2009a.

LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; RIBEIRO, F.R.B.; TEDESCHI, L.O.; CREWS, D.H. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass characteristics in growing bulls. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, p. 1528-1539, 2009b.

LANNA, D.P.D.; ALMEIDA, R. 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...** Campo Grande: SBZ, 2004. p. 248-259.

LAWRENCE, D.A.P.; KENNY, B.; EARLEY, D.H.; CREWS JR, D.H.; MCGEE, M. Grass silage intake, rumen and blood variables, ultrasonic and body measurements, feeding behavior and activity in pregnant beef heifers differing in phenotypic residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.27, p. 250-261, 2011.

LAWRIE, R.A.; LEDWARD, D.A. **Lawrie's meat science**. Cambridge: Wood Publishing Limited, 2006. 442 p.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 347-358, 1996.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 27, p. 793, 1968.

LUCHIARI FILHO, A.; MOURÃO, G.B. **Melhoramento, raças e seus cruzamentos na pecuária de corte brasileira**. Pirassununga: FZEA-USP, 2006. 142 p.

MADER, C.J.; MONTANHOLI, Y.R.; WANG, Y.J.; MILLER, S.P.; MANDELL, I.B.; McBRIDE, B.W.; SWANSON, K.C. Relationships among measures of growth performance and efficiency with carcass traits, visceral organ mass, and pancreatic digestive enzymes in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, p. 1548-1557, 2009.

McDONAGH, M.B.; FERNANDEZ, C.; ODDY, V.H. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. **Meat Science**, Oxon, v.53, p. 9-18, 1999.

McDONAGH, M.B.; FERNANDEZ, C.; ODDY, V.H. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. **Meat Science**, Oxon, v.53, p. 9-18, 1999.

McDONAGH, M.B.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; ODDY, V.H.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. 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**, Collingwood, v. 41, p. 1013-1021, 2001.

MILLIS, JAN; CROMPTON, L.A.; BANNINK, A; TAMMINGA, S.; MOORBY, J.; REYNOLDS, C.K. Predicting methane emissions and nitrogen excretion from cattle. **The Journal of Agricultural Science**, Collingwood, v. 147, p.741, 2009

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; PALME, R.; SCHENKEL, F.S.; McBRIDE, B.W.; LU, D.; MILLER, S.P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behaviour, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, Cambridge, v. 4, p. 692-701, 2010.

MRODE, R.A.; SMITH, C.; THOMPSON, R. Selection for rate and efficiency of lean gain in Hereford cattle. II. Evaluation of correlated responses. **Animal Production**, Cambridge, v. 51, p. 35-46, 1990.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 121p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th ed. Washington: National Academic Press, 1984. 90 p.

NKRUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; OKINE, E.K.; AMMOURA, A.; GUERCIO, S.; HANSEN, C.; LI, C.; BENKEL, B.; MURDOCH, B.; MOORE, S.S. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic: Relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 82, p. 2451-2459, 2004.

NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z.; MOORE, S.S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 145–153, 2006.

NUÑEZ, A.J.C.; ALMEIDA, R. de; LANNA, D.P.D. Correlações fenotípicas entre lucro e variáveis de desempenho em confinamentos de bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 13., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP, 2005. Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp>>. Acesso em: 01 ago. 2011.

OKINE, E.K.; BASARAB, J.A.; GOONEWARDENE, L.A.; MIR, P.; MIR, Z.; PRICE, M.A.; ARTHUR, P.F.; MOORE, S.S. Residual feed intake: what is it and how does it differ from traditional concepts of feed efficiency? **Proceedings of the Canadian Society of Animal Science**, Saskatoon, 2003. 1 CD-ROM.

OWENS, F.N.; GILL, D.R.; SECRIST, D. S.A. et al. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.73, p.3152–3172, 1995.

PEREIRA, J.C.C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 4. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2004. 609 p.

PUOLLANE, E. Reducing the incidence of dark-cutting beef in Finland-asystematic approach. In: PROCEEDINGS OF AN AUSTRALIAN WORKSHOP, 1988, Sydney South. **Proceedings ...** Sydney South: Australian Meat and Livestock Research and Development Corp., 1988. p. 32-37.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A. **Avaliação da qualidade de carnes**: fundamentos e metodologias. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 559 p

REIS, S.F. **Características de crescimento e qualidade de carne de novilhas de corte de diferentes classes de consumo alimentar residual**. 2009. 69p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RENAND, G.; FOUILLOUX, M.N.; MENISSIER, F. Genetic improvement in beef production traits by performance testing beef bulls in France. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 1998, Armidale. **Proceedings...** Armidale, 1998. v. 23, p. 77-80.

REYNOLDS, C.K.; CROMPTON, L. A.; MILLIS, J. A. N. Improving the efficiency of energy utilisation in cattle. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 51, p.6–12, 2011.

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**, Melbourne, v. 44, p. 431-440, 2004.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ODDY, V.H.; THOMSPON, J.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 41, p. 1065–1072, 2001.

ROBINSON, D.L.; ODDY, V.H. Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behaviour of feed lot finished beef cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 90, n. 2/3, p. 255-270, 2004.

ROLFE, K.M.; SNELLING, W.M.; NIELSEN, M.K.; FREETLY, H.C.; FERREL, C.L.; JENKINS, T.G. Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle and opportunities for selection. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, 934-945, 2011.

RUBENSAM, J.M.; FELÍCIO, P.E.; TERMIGNONI, C. Influência do genótipo *Bos indicus* na atividade da calpastatina e na textura da carne de novinhos abatidos no sul do Brasil. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 405-409, 1998.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide of personal computers; version 9.2. Cary, 2009. v. 1.

SCHENKEL, F.S.; MILLER, S.P.; WILTON, J.W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, p. 177-185, 2004.

SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; MILLER, M.F.; CROUSE, J.D.; REAGAN, J.O.. An evaluation of tenderness of the Longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 68, p. 171-177, 1991.

SHAFFER, K.S.; TURK, P; WAGNER, W. R.; FELTON, E.E.D. Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 89, p.1028–1034, 2011.

SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; FREITAS, A.R.; BARBOSA, R.T.; OLIVEIRA, M.C.S.; NOVAES, A.P.; TULLIO, R.R.; CORRÊA, L.A. Herdabilidade e correlações genéticas para peso e perímetro escrotal de machos e características reprodutivas e de crescimento de fêmeas, na raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Campinas, v. 29, p. 2223-2230, 2000.

TALHARI, F.M.; ALENCAR, M.M.; MASCIOLI, A.S.; SILVA, A.M.; BARBOSA, P.F. Correlações genéticas entre características produtivas de fêmeas em um rebanho da raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 880-886, 2003.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3597-3597, 1991.

WANG, Z.; NKRUMAH, J.D.; LI, BASARAB, J.A. GOONEWARDENE, L.A.; OKINE, E.K.; CREWS, J.D.; MOORE, S.S. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p.2289–2298, 2006.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R. St. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 95-110, 1992.

WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M.; CROUSE, J.D. Palatability Characterization of biological types of cattle (Cycle IV): carcass traits and longissimus **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, p. 1023-1035, 1996.

WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M. **Shear force procedures for meat tenderness measurement**. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/protocols/ShearForceProcedures.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

ZINN, A.; SHEN, Y.A. An evaluation of ruminal degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, n.5, p. 1280-1289, 1998.