

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E
FENOTÍPICOS PARA CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS
AO COMPORTAMENTO INGESTIVO E EFICIÊNCIA
ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE**

Rafaela Kava Schuchmann

Médica Veterinária

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E
FENOTÍPICOS PARA CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS
AO COMPORTAMENTO INGESTIVO E EFICIÊNCIA
ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE**

Discente: Rafaela Kava Schuchmann

Orientador: Prof. Dr. Fernando Sebastián Baldi Rey

Coorientadora: Dra. Elisa Peripolli

Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das
exigências para obtenção do título de
Mestre em Genética e Melhoramento
Animal.

2021

S384e

Schuchmann, Rafaela Kava

Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características associadas ao comportamento ingestivo e eficiência alimentar em bovinos Nelore / Rafaela Kava Schuchmann. -- Jaboticabal, 2021

59 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Fernando Sebastián Baldi Rey

Coorientadora: Elisa Peripolli

1. Consumo alimentar residual. 2. Correlação fenotípica. 3. Correlação genética. 4. Herdabilidade. 5. Zebuínos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AO COMPORTAMENTO INGESTIVO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE

AUTORA: RAFAELA KAVA SCHUCHMANN

ORIENTADOR: FERNANDO SEBASTIAN BALDI REY

COORIENTADORA: ELISA PERIPOLLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:

Prof.Dr. FERNANDO SEBASTIAN BALDI REY (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pós-doutorando RAFAEL ESPIGOLAN (Participação Virtual)
FZEA/USP / Pirassununga/SP

Dra. LUDMILLA COSTA BRUNES (Participação Virtual)
Universidade Federal de Goiás / Goiânia/GO

Jaboticabal, 25 de outubro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Rafaela Kava Schuchmann, filha de Cintia Merlo Kava e Otavio Medeiros Schuchmann, nasceu em Curitiba – Paraná em 5 de dezembro de 1995. Iniciou o curso de Bacharelado em Medicina Veterinária na Universidade Federal do Paraná (UFPR), *campus* Curitiba, no ano de 2013. Realizou o estágio curricular obrigatório no Hospital Veterinário da Universidade do Porto, em Porto, Portugal. A partir desse produziu o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado como Relatório de estágio curricular obrigatório e relato de caso: meningite-arterite responsiva a esteróides em um cão de raça Boxer e obteve nota máxima. Colou grau em janeiro de 2019, obtendo o título de Bacharel em Medicina Veterinária. Em agosto de 2019 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós - Graduação em Genética e Melhoramento Animal da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), *campus* Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Fernando Sebastián Baldi Rey e coorientação da Dra. Elisa Peripolli. Foi bolsista CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) durante a realização do curso de Mestrado.

|

"Always take a job that is too big for you"

– Harry Emerson Fosdick

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cintia e Otavio, e meu irmão, Gabriel, por serem minha base e minha fortaleza, e por todo ensinamento, dedicação, amor e proteção dado até aqui.

Aos meus avós, Doroti, Wanda, Miguel e em especial ao meu amado avô Celso, que infelizmente não está mais aqui para presenciar a realização deste sonho.

A minha tia, Vanessa, minha inspiração profissional e segunda mãe, e meus primos, Julia e André, por toda irmandade e momentos que vivemos juntos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, pela oportunidade de realizar mais esta etapa da minha vida e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP) e a fazenda Rancho da Matinha pela concessão dos dados para realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Baldi, pela oportunidade, confiança, paciência e orientação.

A minha coorientadora, Dra Elisa Peripolli, que tanto me ajudou, com correções, sugestões e ideias.

Ao Dr. Luciano, proprietário da fazenda Rancho da Matinha que me proporcionou a experiência de estágio em sua propriedade e me abriu as portas na área de estudo. Ao Frederico, Luciana e sua família por terem me acolhido e me confortado durante essa experiência.

As minhas amigas da vida pela paciência, desabafos, risadas, abraços, descontração e por todo apoio.

Aos meus amigos da graduação por serem presente desde os anos do curso de Medicina Veterinária na UFPR.

Aos meus amigos de da Pós-Graduação da UNESP por tornarem o processo mais leve e me auxiliarem em todas as vezes que eu precisei.

A todos não citados, mas que contribuíram na realização desta pesquisa.

A todas as pessoas que cruzei o caminho nas cidades onde passei e, que de alguma forma, favoreceram minha evolução e crescimento pessoal.

Esta vitória é tanto minha quanto de vocês!

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	6
1. Introdução.....	6
1.1 Objetivos.....	8
2. Revisão bibliográfica.....	9
2.1 Características de eficiência alimentar	9
2.2 Características de comportamento ingestivo	11
2.3 Parâmetros genéticos para medidas indicadoras de eficiência alimentar e comportamento ingestivo.....	13
2.4 Correlações genéticas e fenotípicas para medidas indicadoras de eficiência alimentar e comportamento ingestivo	15
3. Referências	19
CAPÍTULO 2 – Estimates of genetic and phenotypic parameters for feeding behavior and feed efficiency-related traits in Nelore cattle	28
ABSTRACT.....	28
1. Introduction.....	30
2. Material and Methods	32
2.1 Dataset	32
2.2 Feed efficiency-related traits.....	33
2.3 Feeding behavior-related traits	34
2.4 Estimation of genetic parameters.....	34
2.5 Response to direct selection.....	35
3. Results and Discussion	36
3.1 Feed efficiency and feeding behavior traits.....	36
3.2 Heritability and genetic and phenotypic correlation estimates for feed efficiency and feeding behavior traits.....	38
3.3 Genetic and phenotypic correlation estimates between feed efficiency and feeding behavior traits	43
4. Conclusion.....	47
5. References	48

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AO COMPORTAMENTO INGESTIVO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM BOVINOS NELORE

RESUMO - Objetivou-se com o presente estudo estimar parâmetros genéticos e fenotípicos em bovinos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) entre características de eficiência alimentar (CAR: consumo alimentar residual e IMS: ingestão de matéria seca) e de comportamento ingestivo (FR: frequência de refeição; MDR: média da duração da refeição; MCR: média de consumo por refeição; DR: duração da refeição; CR: critério de refeição; e TXC: taxa de consumo). Além disso, objetivou-se entender se o comportamento ingestivo do animal influencia na eficiência alimentar e verificar se as medidas de comportamento podem ser preditivas para CAR e IMS. Foram utilizados registros fenotípicos de 4.840 animais, com uma idade média de $13,5 \pm 4,15$ meses. Os animais foram testados para eficiência alimentar entre os anos de 2011 e 2018 em 39 fazendas localizadas em quatro regiões brasileiras. O banco de dados contendo as informações de pedigree de 58.374 animais foi disponibilizado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP, Ribeirão Preto, Brasil). A estimação dos componentes de (co)variância foi realizada em análises multi-características através da metodologia da máxima verossimilhança restrita. Foram estimadas as herdabilidades e correlações genéticas e fenotípicas entre todas as características de eficiência alimentar e comportamento ingestivo. As estimativas de herdabilidade foram de $0,24 \pm 0,01$ (CAR), $0,30 \pm 0,01$ (IMS), $0,63 \pm 0,01$ (FR), $0,47 \pm 0,01$ (MDR), $0,24 \pm 0,02$ (MCR), $0,75 \pm 0,01$ (DR), $0,49 \pm 0,01$ (CR) e $0,87 \pm 0,00$ (TXC). A DR apresentou as maiores correlações genéticas e fenotípicas estimadas com CAR ($0,60 \pm 0,02$ e $0,67 \pm 0,01$, respectivamente) e fenotípica com IMS ($0,78 \pm 0,01$). Entre as características de comportamento ingestivo, a maior correlação genética foi observada entre MDR e DR ($0,87 \pm 0,01$) e fenotípica entre MCR e MDR ($0,88 \pm 0,01$). As características que tiveram melhor eficiência relativa de seleção com CAR foram CR, FR, MCR e DR, sendo DR a característica de eleição devido a sua estimativa de herdabilidade alta e maior correlação genética com CAR. Para IMS, os resultados indicaram que a resposta à seleção direta para essa característica foi superior a

seleção indireta através das características de comportamento ingestivo. Concluiu-se que o comportamento ingestivo tem alta influência na eficiência alimentar dos animais e, portanto, pode ser incluído em programas de melhoramento genético. Além disso, as características de comportamento ingestivo também podem ser utilizadas para prever o CAR e IMS, diminuindo os custos com mensuração e facilitando a identificação de bovinos da raça Nelore superiores para eficiência alimentar.

Palavras-chave: consumo alimentar residual, correlação fenotípica, correlação genética, herdabilidade, zebuínos

ESTIMATES OF GENETIC AND PHENOTYPIC PARAMETERS FOR FEEDING BEHAVIOR AND FEED EFFICIENCY-RELATED TRAITS IN NELORE CATTLE

ABSTRACT - The aim of this study was to estimate genetic parameters in Nelore beef cattle (*Bos taurus indicus*) as well as the genetic and phenotypic correlations between feed efficiency-related traits (RFI: residual feed intake and DMI: dry matter intake) and feeding behavior-related traits (MF: meal frequency; AMD: average meal duration; ACM: average consumption per meal; MD: meal duration; MC: meal criteria; and CR: consumption rate). It also aimed to understand if feeding behavior influences feed efficiency and to verify if the behavior measures can be predictive for RFI and DMI. Phenotypic records from 4,840 animals, with an average of 13.5 ± 4.15 months of age were used. Animals were tested for feed efficiency between 2011 and 2018 in 39 farms located in four Brazilian geographical regions. The database containing the pedigree information from 58,374 animals was provided by the National Association of Breeders and Researchers (ANCP, Ribeirão Preto, Brazil). The (co)variance components were estimated using the maximum-likelihood estimation in a multi-trait analysis. Heritability and genetic and phenotypic correlations between all traits were estimated. Heritability estimates were 0.24 ± 0.01 (RFI), 0.30 ± 0.01 (DMI), 0.63 ± 0.01 (MF), 0.47 ± 0.01 (AMD), 0.24 ± 0.01 (ACM), 0.75 ± 0.01 (MD), 0.49 ± 0.01 (MC), and 0.87 ± 0.00 (CR). The MD showed the highest genetic and phenotypic correlations estimated with RFI (0.60 ± 0.02 and 0.67 ± 0.01 , respectively) and phenotypic with DMI (0.78 ± 0.01), respectively. Among the feeding behavior traits, the highest genetic correlation was described between AMD and MD (0.87 ± 0.01) and phenotypic between ACM and AMD (0.88 ± 0.01). The traits that had the best relative efficiency of selection with RFI were MC, MF, ACM e MD, with MD being of choice due to its high heritability estimate and greater genetic correlation with RFI. However, for DMI, the results indicated that the response to direct selection for this trait was higher than the indirect selection through feeding behavior-related traits. With the results described herein, it should be noted that feeding behavior traits have a high influence on feeding efficiency-related traits and, therefore, they can be included in breeding programs. Further, feeding behavior

traits can also be used to predict RFI and DMI, decreasing its cost and facilitating the identification of feed efficient animals.

Keywords: residual feed intake, phenotypic correlation, genetic correlation, heritability, zebu cattle

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. Introdução

O Brasil possui aproximadamente 214 milhões de cabeças de bovinos, sendo o segundo maior rebanho e o maior exportador de carne bovina a nível mundial (ABIEC, 2021). Esse cenário aumenta expressivamente a pressão por produtos de melhor qualidade, levando os pecuaristas a buscarem aperfeiçoamento na sua gestão de produção, à fim de fornecerem animais cada vez mais lucrativos, com maior rendimento e que gerem menor custo de produção (Siqueira et al., 2007). Entretanto, na pecuária de corte, ainda se tem como principal critério de seleção características relacionadas aos “*outputs*”, tais como: ganho em peso, fertilidade, musculosidade, cobertura de gordura, entre outras (Johnson et al., 2003). Embora sejam fenótipos de difícil e onerosa coleta, os registros dos “*inputs*” (insumos e alimentação) são fundamentais para a correta avaliação da eficiência produtiva (Grion, 2012), uma vez que os gastos envolvidos com a alimentação dos animais geram grande impacto no custo de produção e chegam a responder por 70% dos custos totais (Alqaisi et al., 2017). Dessa forma, é necessária a seleção de animais para a redução na quantidade de alimento por unidade de carne produzida, resultando no aumento da rentabilidade do sistema (Brunes, 2017) e da sustentabilidade ambiental.

À fim de contribuir com a seleção de animais com maior eficiência alimentar, Johnson et al. (2003) recomendaram o uso da mensuração do consumo individual dos mesmos, o que permite avaliar as diferenças de eficiência energética dentre os indivíduos do rebanho. A seleção para eficiência alimentar com a utilização de métodos tradicionais de avaliação genética encontra barreiras pela falta de fenótipos necessários. Ainda assim, há um crescente interesse em progredir na eficiência alimentar em bovinos por meio de melhorias para o gerenciamento tanto animal quanto genético (Crowley et al., 2010).

Uma alternativa à seleção para eficiência alimentar é o consumo alimentar residual (CAR), visto que é independente do peso e da taxa de crescimento (Koch et al., 1963). Além disso, a seleção para baixo CAR mostra-se ainda mais relevante quanto ao aspecto ambiental, uma vez que, segundo Nkrumah et al. (2006) e Hegarty

et al. (2007), animais mais eficientes (baixo CAR) produzem menos metano em relação aos menos eficientes (alto CAR). Contudo, em virtude dos métodos tradicionais de melhoramento animal serem fundamentados em informações fenotípicas e de pedigree, as características de interesse econômico de difícil mensuração, como o CAR, avançaram pouco (Zhang et al., 2011).

Concomitantemente, estudos têm demonstrado que fatores menos evidentes relacionados ao comportamento animal, tais como etológicos (Voisinet et al., 1997), temperamentais (Paranhos da Costa, 2000) e ingestivos (Lancaster et al., 2009; Aldrighi, 2013), possuem grande relevância na produção de bovinos de corte tanto quanto os fatores diretamente ligados aos “*inputs*” (Lage, 2013). Características como frequência diária alimentar, tempo médio de ingestão diário, horário preferido e quantidade consumida por vez fazem parte do grupo de características de comportamento ingestivo dos animais (Albright, 1993). Esse comportamento se tornou alvo de pesquisas, pois, desde que foi observado que há um padrão repetível (Hicks et al., 1989) e uma preferência individual durante a alimentação (Albright, 1993), entendeu-se que é possível identificar animais mais eficientes, sem comprometer o desempenho, além de aumentar substancialmente a lucratividade e reduzir os impactos ambientais dos sistemas de produção de carne (Basarab et al., 2003). Vários autores relataram que animais com baixo CAR permaneceram menos tempo se alimentando e visitaram menos vezes o cocho, indicando uma menor demanda energética com essas atividades (Richardson et al., 2004; Nkrumah et al., 2006; Lancaster et al., 2009) e demonstrando, assim, que bovinos que diferem quanto ao CAR apresentam também comportamentos alimentares distintos (Richardson et al., 2004; Nkrumah et al., 2006).

Além do melhoramento genético das características comportamentais ter efeito na eficiência alimentar dos animais, redução na produção de metano e nos custos de produção, também tem influência nas características reprodutivas e de carcaça. Streeter et al. (1999), Schwartzkopf-Genswein e Gibb (2000) observaram em seus estudos que os bovinos que passaram menos tempo no cocho e tiveram maior frequência alimentar, apresentaram maior ganho de peso diário (GPD). Deste modo, podendo levar ao aumento da deposição de gordura e marmoreio na carcaça (Dinkel et al., 1969; Wertz et al., 2001; Garcia et al., 2008; Reinhardt et al., 2009, 2012). Além

disso, segundo Cardoso et al. (2018), o comportamento alimentar e a precocidade estão intimamente ligados através de hormônios, como a leptina. Os autores observaram que a leptina apresenta um papel importante nos sinais que estimulam ou cessam o consumo de alimento, atuando como um sinalizador do status nutricional para o eixo neuroendócrino e com isso impactando sobre o início da puberdade em novilhas. Novilhas pré-púberes que apresentam altas taxas de ganho de peso durante o período juvenil possuem redução da expressão hormonal no hipotálamo e, assim, a ação inibitória sobre o hormônio de crescimento torna-se atenuada em períodos de status nutricional positivo, facilitando, assim, a maturação sexual das novilhas (Cardoso et al., 2018).

As estimativas de herdabilidade das características de comportamento ingestivo relatadas na literatura para tempo de permanência no cocho, frequência de visitas ao cocho e taxa de alimentação variam de 0,25 a 0,53, 0,24 a 0,56 e 0,28 a 0,56, respectivamente (Nkrumah et al., 2007; Durunna et al., 2011; Chen et al. 2014; Benfica et al., 2020). Estimativas de herdabilidade para características de eficiência alimentar variaram de 0,18 a 0,51 em raças taurinas (Koch et al., 1963; Robinson e Oddy, 2004; Herd and Arthur, 2008; Berry e Crowley, 2012) e de 0,17 a 0,43 em raças zebuínas (Grion, 2012; Barwick et al., 2009; Santana et al., 2014; Silva et al., 2016; Bonamy et al., 2018; Oliveira, 2019; Benfica, 2020; Brunet et al., 2021). Levando em consideração que a seleção para uma característica pode gerar respostas correlacionadas, é possível utilizar o comportamento ingestivo para selecionar outra característica de maior importância econômica, como o CAR (McGee et al., 2014). Esses parâmetros genéticos determinam as estratégias de seleção a serem adotadas (Faria et al., 2011) e possibilita prever as taxas de ganho genético e estruturar a combinação de características em índices de seleção (Bourdon, 1999).

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para características de comportamento ingestivo e de eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore, com a finalidade de compreender se o comportamento ingestivo do

animal influencia na eficiência alimentar, e se as medidas de comportamento podem ser preditivas para CAR e IMS. Além disso, objetivou-se avaliar a resposta correlacionada entre as características de comportamento ingestivo e a eficiência alimentar.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Características de eficiência alimentar

No atual sistema de produção de carne bovina, a eficiência alimentar é um fator chave e está sob a influência de vários elementos, como custo de produção animal, genética, condições ambientais e bem-estar animal (Duarte, 2018). Diferentes critérios são utilizados para avaliar o crescimento dos animais e sua eficiência na utilização dos alimentos (Gomes et al., 2012). Os indicadores mais estudados e aplicados para essa característica são: (i) conversão alimentar (CA), definida como a razão entre a ingestão de matéria seca (IMS) diária observada e o ganho de peso diário (GPD); (ii) a IMS, considerada como a diferença entre a matéria seca ofertada e a residual; e (iii) o CAR. Entre as características produtivas, o GPD é a mais estudada e está mais diretamente associada à produtividade na pecuária de corte (Fernandes et al., 2004).

A IMS é a variável mais importante que afeta o desempenho animal (Waldo e Jorgensen, 1981), pois garante ao organismo nutrientes e substratos energéticos adequados para reações bioquímicas que contribuem para oscilações no metabolismo celular, principalmente em bovinos para produção de carne (Azevedo et al., 2016). Deve-se considerar a importância econômica e o complexo sistema digestivo desses animais, que se caracterizam por funções metabólicas incomuns (Forbes, 2007). Entretanto, alguns estudos mostraram que a IMS está altamente correlacionada ao ganho de peso e pode ocasionar um aumento na energia de manutenção se usado como critério de seleção (Bishop, 1992; Archer et al., 1999; Herd e Bishop, 2000). Com isso, o CAR se tornou uma medida alternativa às demais características de eficiência alimentar.

O CAR foi definido por Koch et al. (1963) como a diferença entre o consumo observado (de matéria seca ou energia) e o consumo estimado pela regressão do peso vivo metabólico médio e o ganho de peso sobre o consumo. Em outras palavras, o CAR é a diferença entre o consumo observado e o previsto considerando os requisitos de manutenção e o nível de produção (Duarte, 2018).

Animais mais eficientes apresentam valores de CAR negativos e consumo observado menor do que o previsto, ao contrário daqueles menos eficientes com valores de CAR positivos e consumo observado maior do que o previsto (Duarte, 2018). Como observado por Arthur et al. (1996) em touros da raça Angus, os animais mais eficientes consumiram, em média, 14% menos alimento do que o consumo predito e os animais menos eficientes consumiram 16% mais alimento do que o predito. Castro Bulle et al. (2006) encontraram uma diferença de 15,3% no consumo de matéria seca entre animais CAR positivo e CAR negativo. Assim, o CAR é, por definição, fenotipicamente independente das características de produção usadas para calcular o consumo alimentar esperado e permite a comparação entre indivíduos de diferentes níveis de produção (Archer et al., 1999).

Atualmente, o método mais utilizado para mensuração do CAR é por meio do equipamento GrowSafe System®. Esse sistema eletrônico de monitoramento da ingestão de alimento utiliza tecnologia de radiofrequência e permite documentar padrões de alimentação individual, com um grau de sensibilidade que jamais foi atingido por observação visual (Schwartzkopf-Genswein et al., 2002). O sistema registra as visitas ao cocho de cada animal, a localização do cocho que o animal escolheu para se alimentar e o tempo que o animal permaneceu no cocho. Assim, o sistema tem potencial para documentar relações específicas entre comparecimento no cocho, ingestão de alimento e desempenho (Schwartzkopf-Genswein et al., 2002).

Para determinar o CAR em condições de confinamento, o *Beef Improvement Federation Guidelines* (BIF, 2021) sugere 21 dias de adaptação seguidos de, no mínimo, 42 dias de teste, enquanto, na literatura, a duração dos testes varia de 56 a 84 dias (Archer et al., 1997; Wang et al., 2006; Castilhos et al., 2011; Culbertson et al., 2015; Oliveira, 2019). Entretanto, apesar das inúmeras vantagens, a maior dificuldade de implementação desse sistema nas fazendas se deve ao alto custo do equipamento e a escassez de mão de obra especializada (Cameron, 1998).

Considerando os desafios apresentados, pesquisadores vêm tentando buscar maneiras alternativas de obtenção do CAR à fim de facilitar, acelerar e tornar mais acessível a mensuração dessa medida de eficiência alimentar, seja por parâmetros sanguíneos, performance ou correlação com características reprodutivas, de crescimento ou de ingestão comportamental.

2.2 Características de comportamento ingestivo

O comportamento ingestivo de um indivíduo é normalmente persistente e repetitivo (Gibb et al., 1998). Como em outras espécies, os bovinos possuem preferências individuais em sua alimentação, como frequência diária alimentar, tempo médio de ingestão diário, horário preferido e quantidade consumida por vez (Albright, 1993). Os registros de comportamento ingestivo baseiam-se em eventos de alimentação ou visitas ao cocho, que são separados por intervalos com durações variáveis (Mendes et al., 2011) e registrados através do sistema eletrônico de cochos GrowSafe System® (Schwartzkopf-Genswein et al., 2002) ou por observação direta (Aldrichi et al., 2019). Em geral, existe um número de características de comportamento ingestivo que são tipicamente estudadas, incluindo frequência e duração de visita ao cocho, frequência e duração da alimentação, tamanho médio das refeições e taxa de alimentação (Green et al., 2013).

O controle da ingestão de alimentos está diretamente relacionado ao comportamento ingestivo (Chase et al., 1976). De acordo com Thiago et al. (1992), a quantidade de alimento ingerido pelo indivíduo, em determinado período de tempo, depende do número de refeições nesse período da duração e taxa de consumo de cada refeição. Cada um desses processos é o resultado da interação do metabolismo do animal e das propriedades físicas e químicas da dieta, estimulando receptores da saciedade (Steinert et al., 2013). De acordo com Fischer et al. (2000), ruminantes em confinamento alimentados duas vezes ao dia apresentam duas refeições principais após o fornecimento da alimentação (durante 1 a 3 horas), além de um número variável de pequenas refeições entre elas. O período de ruminação e descanso entre as refeições, sua duração e seu padrão de distribuição são influenciados pelas atividades de ingestão (Deswysen et al., 1993; Fischer et al., 1997ab).

Acredita-se que os animais conseguem fazer escolhas alimentares que melhor atendam suas necessidades metabólicas ou fisiológicas (Martins, 2017). Tais escolhas não teriam como base apenas as exigências nutricionais, como acreditava-se, mas também o que o animal julga ser melhor para seu próprio organismo sob o aspecto de mantê-lo em conforto durante as atividades de alimentação e ruminação (Ferreira, 2003). Animais criados em confinamento e a pasto apresentam diferentes comportamentos ingestivos devido aos diferentes tipos de alimentos e a forma como são ofertados (Martins, 2017). Normalmente, animais que se encontram confinados recebem uma dieta completa diretamente no cocho de alimentação, com o volumoso já reduzido em partículas, enquanto que os animais criados a pasto, além de precisarem selecionar o volumoso durante o pastejo, recebem apenas uma suplementação proteica e/ou energética ou somente sal mineral em locais estratégicos do pasto (Martins, 2017).

A maioria dos estudos realizados com animais confinados foi conduzido em baias individuais, sem competição por água ou alimento, o que de acordo com Albright (1993), pode gerar um comportamento ingestivo diferente das situações em que os animais são mantidos a pasto ou em baias coletivas e podem competir entre si. O comportamento ingestivo de um animal em pastejo pode ser descrito por variáveis que compõem o processo de pastejo (Martins, 2017). Segundo Ronchesel (2012), os animais que são criados estabulados gastam em torno de duas horas consumindo alimentos ricos em energia, ou até mais de seis horas, para fontes com baixo teor de energia, de acordo com o relatado por Carvalho et al. (2006). Para animais a pasto, Carvalho e Moraes (2005) relataram que uma refeição é definida por uma longa sequência de pastejo. Quando se interrompe por vários minutos, a refeição anterior se define, e a próxima começará assim que o animal comece uma nova sequência de pastejo. Da mesma forma, o tempo despendido em ruminação é influenciado pela natureza da dieta e, provavelmente, proporcional ao teor de parede celular dos volumosos. Assim, quanto maior a participação de alimentos volumosos na dieta, maior será o tempo despendido com a ruminação (Van Soest, 1994; Marques et al., 2006; Pereira et al., 2007; Pereira et al., 2009).

O número de estudos sobre comportamento ingestivo em ruminantes tem elevado consideravelmente, pois além da sua importância evidente, pesquisadores

procuram demonstrar que essas características comportamentais podem ser utilizadas para outros interesses (Albright, 1993; Montanholi et al., 2009). Dentre as demais vantagens, pode-se destacar: relacionar o efeito do consumo voluntário com a melhora do desempenho animal; avaliar os efeitos da dieta ou da quantidade e qualidade nutritiva de forragens sobre essas características; estabelecer uma relação entre comportamento ingestivo e o consumo voluntário (Albright, 1993; Quimby et al., 2001; Urton et al., 2005), além de prever diferenças na performance e na eficiência alimentar dos animais (Richardson et al., 2004; Nkrumah et al., 2006; Mendes, 2010; Stieven, 2012; Bonilha et al., 2015; Miller, 2016; Aldrighi et al., 2019; Batalha et al., 2020). Para Montanholi et al. (2009), as características do comportamento ingestivo estão potencialmente associadas aos custos energéticos da alimentação, visto que a taxa de alimentação e o tempo de permanência no cocho possuem alta influência na determinação do custo energético da ingestão alimentar de bovinos, além de altas correlações relatadas dessas características com IMS (Adam et al., 1984). Ademais, considerando as diferenças fenotípicas da IMS entre animais mais e menos eficientes em rebanhos de corte (Kelly et al., 2010; Fitzsimons et al., 2013), observa-se que o comportamento ingestivo pode contribuir de forma importante para a variação da eficiência alimentar (Kelly et al., 2010).

2.3 Parâmetros genéticos para medidas indicadoras de eficiência alimentar e comportamento ingestivo

Para o desenvolvimento de um programa de melhoramento genético e avaliações genéticas é necessário o conhecimento das estimativas de herdabilidade e das correlações genéticas entre as características de interesse (Faria et al., 2011), assim como, o acompanhamento da eficiência do mesmo quando utilizado em um rebanho para avaliar a evolução da produção (Moraes et al., 2016). A análise dos parâmetros genéticos e a estimativa de mudanças genéticas são imprescindíveis para a determinação de estratégias de seleção a serem adotadas (Faria et al., 2011) e o estabelecimento de diretrizes que guiem ações futuras (Euclides Filho et al., 2009). Em algumas situações, a seleção direta para uma característica pode implicar em maior resposta em outra característica, do que se tivesse sido aplicada a seleção

direta nessa última, denominando-se como resposta correlacionada ao ganho genético em uma característica resultante da seleção indireta aplicada em outra (Turner e Young, 1969).

Existem trabalhos já publicados com estimativas de parâmetros genéticos de características de eficiência alimentar e comportamento ingestivo em raças taurinas de bovinos de corte, entretanto, resultados em *Bos taurus indicus* e, mais especificamente na raça Nelore, ainda são escassos (Moraes et al., 2016). Além disso, há uma grande variação nas características de comportamento ingestivo estudadas devido ao método de avaliação, discrepância dos grupos contemporâneos e preferência da linha de pesquisa dos cientistas. Mas, independente dos critérios escolhidos, todos os estudos observaram que bovinos que diferem quanto ao CAR apresentaram também comportamentos alimentares distintos (Richardson et al., 2004; Nkrumah et al., 2006).

Vários estudos em raças taurinas têm demonstrado que o CAR apresenta valores moderados de herdabilidade, com estimação em meta-análises de $0,25 \pm 0,008$ por Del Claro et al. (2012) e $0,33 \pm 0,013$ por Berry e Crowley (2012). Resultados semelhantes foram encontrados em raças zebuínas por Barwick et al. (2009) no gado Brahman ($0,24 \pm 0,11$) e por Grion (2012) ($0,17 \pm 0,08$), Santana et al. (2014) ($0,37 \pm 0,16$), Silva (2016) ($0,17 \pm 0,07$), Polizel et al. (2018) ($0,28 \pm 0,07$), Moraes et al. (2019) ($0,33$), Oliveira (2019) ($0,19 \pm 0,04$), Benfica et al. (2020) ($0,19 \pm 0,05$) e Brunes et al. (2021) ($0,17 \pm 0,04$) em bovinos Nelore. Deste modo, o CAR pode ser explorado na identificação e seleção de animais geneticamente superiores em relação ao consumo alimentar e, ainda, ser uma característica passível de inclusão em programas de melhoramento genético de bovinos de corte (Benfica, 2020). Além dessas vantagens, a seleção do CAR se torna ainda mais relevante quando se considera não apenas os impactos econômicos da redução do consumo, mas também o impacto ambiental da produção de carne (Duarte, 2018). Nkrumah et al. (2006) relataram diferenças significativas nas emissões de metano entre animais de baixo e alto CAR, com o primeiro produzindo 28% menos metano do que os menos eficientes. Os resultados relatados por Hegarty et al. (2007) confirmaram que a identificação e seleção de animais com base no valor genético para CAR fornece um mecanismo

para reduzir as emissões de metano entérico sem comprometer a produtividade animal.

A herdabilidade das características de comportamento ingestivo em bovinos de corte, principalmente em zebuínos, foi pouco estudada até o momento em provas de eficiência alimentar. Dentre os trabalhos existentes, a herdabilidade apresenta magnitude moderada à alta. Chen et al. (2014) relataram estimativas para o tempo de permanência no cocho, frequência de visitas ao cocho, taxa de alimentação e duração do evento de alimentação para animais da raça Charolês de $0,49 \pm 0,12$, $0,43 \pm 0,11$, $0,56 \pm 0,13$ e $0,31 \pm 0,09$, respectivamente, e para raça Angus valores de $0,27 \pm 0,09$, $0,24 \pm 0,08$, $0,38 \pm 0,10$ e $0,19 \pm 0,06$. Nkrumah et al. (2007) também trabalhando com animais das raças Angus e Charolês, relataram estimativas de herdabilidade de $0,28 \pm 0,12$ para tempo de permanência no cocho e $0,38 \pm 0,13$ para frequência de visitas ao cocho. Em bovinos de corte cruzados Angus x Charolês em crescimento, Durunna et al. (2011) estimaram valores de $0,25 \pm 0,10$ para tempo de permanência no cocho, $0,56 \pm 0,18$ para frequência de visitas ao cocho e $0,35 \pm 0,19$ para taxa de alimentação. Em Nelore, Benfica (2020) relatou valores de $0,53 \pm 0,09$, $0,39 \pm 0,09$, $0,28 \pm 0,09$ e $0,28 \pm 0,09$ para tempo de permanência no cocho, duração de um evento de alimentação, frequência de visitas ao cocho e taxa de alimentação, respectivamente. As estimativas de herdabilidade, por serem parâmetros populacionais, podem variar de acordo com a metodologia utilizada, raça, sexo e dieta. Considerando a importância e relevância das estimativas e o fato de que a maioria dos resultados encontrados foram obtidos em animais *Bos taurus taurus* criados em países de clima temperado, vem se tornando explícita a necessidade de estudos com animais *Bos taurus indicus* em países de clima tropical, como o Brasil (Benfica, 2020).

2.4 Correlações genéticas e fenotípicas para medidas indicadoras de eficiência alimentar e comportamento ingestivo

Chen et al. (2014), avaliando as correlações genéticas entre as características de comportamento ingestivo e CAR na raça Angus, relataram estimativas iguais a $0,44 \pm 0,19$, $0,40 \pm 0,19$ e $0,10 \pm 0,20$ entre tempo de permanência no cocho, frequência

de visita ao cocho e taxa de alimentação e CAR, respectivamente. Os mesmos autores observaram que na raça Charolês, a correlação genética entre frequência de visitas ao cocho e CAR é positiva, porém baixa ($0,19 \pm 0,17$). Robinson e Oddy (2004) e Nkrumah et al. (2007) encontraram resultados semelhantes àqueles da raça Angus, com estimativas moderadas entre o tempo de permanência no cocho e CAR ($0,35 \pm 0,17$ e $0,57 \pm 0,28$). Entretanto, correlações genéticas divergentes entre frequência de visitas ao cocho e CAR foram relatadas com estimativas de $-0,34 \pm 0,30$ (Nkrumah et al., 2007) e $0,43 \pm 0,11$ (Robinson e Oddy 2004), sugerindo que essa correlação pode ser diferente dependendo da raça avaliada. Além disso, as correlações genéticas encontradas por Nkrumah et al. (2007) entre tempo de permanência no cocho e frequência de visitas ao cocho com conversão alimentar foram negativas ($-0,06$ e $-0,13$), enquanto Robinson e Oddy (2004) relataram estimativas superiores e positivas entre tempo de permanência no cocho ($0,78 \pm 0,16$) e frequência de visitas ao cocho ($0,49 \pm 0,25$) com conversão alimentar.

Na raça Nelore, Benfica (2020) relataram que as correlações genéticas entre tempo de permanência no cocho, duração do evento de alimentação e consumo de matéria seca por visita com CAR foram fortes e positivas (0,69, 0,64 e 0,53, respectivamente), enquanto a correlação genética entre taxa de alimentação e CAR foi moderada e negativa ($-0,34$). Também estudando a raça Nelore, Lage (2013) encontraram valor semelhante de correlação entre tempo de permanência no cocho e CAR (0,64), porém, entre taxa de alimentação e CAR foi maior (0,26) e frequência de visita e CAR foi baixa e negativa ($-0,13$).

Diversos autores relataram que as características de comportamento ingestivo são fenotipicamente correlacionadas com o CAR. Nkrumah et al. (2006), trabalhando com animais cruzados (Angus x Charolês), observaram que o tempo de permanência no cocho foi 50% maior para os animais com alto CAR, apresentando menor digestibilidade da matéria seca e proteína bruta. No mesmo estudo foi encontrado correlações fenotípicas negativas entre tempo de alimentação e digestibilidade aparente da matéria seca ($-0,55$), digestibilidade da proteína bruta ($-0,47$) e energia digestiva ($-0,52$). Já os animais mais eficientes tiveram menor gasto de energia em relação à taxa de alimentação e mastigação (Richardson et al., 2004). Com coeficientes de correlação fenotípica estimados de 0,16 a 0,49 para tempo de

permanência no cocho; 0,15 a 0,26 para frequência de visitas no cocho; e 0,08 a 0,44 para taxa de alimentação, diversos autores demonstraram que animais mais eficientes despendem menos tempo em atividades de alimentação, e, possivelmente, menor gasto energético nessas atividades (Nkrumah et al., 2007; Lancaster et al., 2009; Montanholi et al., 2009). Lancaster et al. (2009) concluíram que animais mais eficientes (baixo CAR) permaneceram menos tempo e apresentaram menor frequência de visitas no cocho (7,28 vezes) em períodos de 24 horas em comparação aos menos eficientes (8,17 vezes).

De maneira geral, Benfica (2020) relatou que todas as características de comportamento ingestivo apresentaram correlação fenotípica positiva com CAR na raça Nelore, exceto a taxa de alimentação, cuja correlação foi nula (-0,01). No mesmo estudo, foi observado que o tempo de permanência no cocho foi a característica com maior correlação fenotípica com CAR (0,45), seguido pela duração do evento de alimentação (0,33), consumo de matéria seca por visita (0,32) e frequência de visitas ao cocho (0,04). Trabalhando com a mesma raça, Batalha et al. (2020) observaram que o comportamento ingestivo dos animais foi altamente influenciado pela classe de CAR (alto ou baixo). O tempo gasto com alimentação foi 16,8% menor nos animais com baixo CAR em comparação aos animais com alto CAR ($p < 0,0001$), com consequente aumento do tempo de ócio ($p = 0,073$). Assim, animais com baixo CAR foram mais eficientes do que animais com alto CAR durante o período de alimentação, gastando menos tempo mastigando e ruminando ($p = 0,062$). Resultados semelhantes foram encontrados por Trettel et al. (2008), em que animais da raça Nelore menos eficientes permaneceram mais tempo em estação em relação aos mais eficientes ($p < 0,10$).

Benfica (2020) encontrou correlações genéticas entre o tempo de permanência no cocho, duração do evento de alimentação e consumo de matéria seca por visita com o IMS positivas e de alta magnitude (0,55, 0,56 e 0,64, respectivamente), indicando que a seleção para qualquer uma dessas características pode levar ao aumento do consumo de matéria seca pelos animais, o que pode ser indesejado em um programa de melhoramento genético de bovinos, uma vez que pode aumentar os custos com a alimentação. Esses resultados coincidem aos de Nkrumah et al. (2007) e Chen et al. (2014) ao estudarem a raça Angus, que relataram correlação genética

de $0,56 \pm 0,20$ e $0,35 \pm 0,17$ entre tempo de permanência no cocho e IMS, respectivamente. Benfica (2020) também relatou que a correlação genética entre frequência de visitas ao cocho e IMS foi negativa e de magnitude moderada ($-0,29$), assim como as correlações obtidas por Nkrumah et al. (2007) e Durunna et al. (2011), que obtiveram valores de $-0,74 \pm 0,15$ e $-0,47 \pm 0,27$, respectivamente. Esses resultados corroboram com as estimativas de correlações genéticas entre tempo de permanência ao cocho e frequência de visita e IMS ($0,48$ e $-0,19$, respectivamente) obtidos por Lage (2013) na raça Nelore. As correlações genéticas entre IMS e as características de comportamento ingestivo corroboram com Nkrumah et al. (2007), que relataram que as características de comportamento ingestivo em bovinos podem estar ligadas a vias que regulam a fome e a saciedade.

Diversos mecanismos subjacentes que controlam a eficiência alimentar em bovinos ainda não foram descobertos (Miller, 2016). Richardson et al. (2004) relataram que 27% da variação de CAR foi devido a mecanismos desconhecidos. De acordo com Kayser e Hill (2013), o comportamento ingestivo representa aproximadamente 20% da discrepância de CAR entre indivíduos. Neste cenário, os estudos sugerem que a seleção para características de comportamento ingestivo irá afetar a expressão da eficiência alimentar, podendo levar a uma resposta correlacionada favorável. Considerando que as características de comportamento ingestivo e CAR possuem em sua maioria correlações genética e fenotípica de magnitude moderada a alta, e que as estimativas de herdabilidade para comportamento ingestivo são maiores do que as de eficiência alimentar, pode ser plausível a utilização da seleção indireta para CAR pela seleção de características de comportamento ingestivo. Nesse contexto, a melhor compreensão do comportamento ingestivo de bovinos pode ser usado para melhorar o manejo e a produtividade, além de ser usado como critério de seleção para animais mais eficientes (Montanholi et al., 2009).

3. Referências

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes, Rebanho Bovino Brasileiro, disponível em <<http://www.abiec.com.br/>> acesso em 15/05/2021.
- Adam I, Young BA, Nicol AM, Degen AA (1984). Energy cost of eating in cattle given diets of different form. **Animal Production** 38, 53–56.
- Albright JL (1993) Nutrition and feeding calves: Feeding behavior of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.2, p.485-498.
- Aldrighi J (2013) **Comportamento ingestivo e temperamento de bovinos Nelore: relação com eficiência alimentar e aspectos metodológicos**. 65p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.
- Aldrighi J, Branco RH, Cyrillo JNSG, Magnani E, Nascimento CF, Bonilha SFM, Mercadante MEZ (2019) Ingestive behavior and temperament of Nelore cattle classified for residual feed intake. **Semina: Ciências Agrárias**, 40(1), 457.
- Alqaisi O, Ndambi OA, Williams RB (2017) Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. **Agric Econ** 5, 25.
- Archer JA, Arthur PF, Herd RM, Parnell PF, Pitchford WS (1997) Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of Animal Science**, 75:2024-2032.
- Archer JA, Richardson JA, Herd RM, Arthur PF (1999) Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.147-161.
- Arthur PF, Herd RM, Wright J, Xua G, Dibley K, Richardson EC (1996) Net feed conversion efficiency and its relationship with other traits in beef cattle. **Australian Society Animal Production**, v.21, p.107-110.
- Azevedo JAG, Filho SCV, Silva LCS, Santos AB, Souza LL, Rotta PP, Rennó LN, Prado IN (2016) Regulation and prediction of dry matter intake. **BR-CORTES**. Disponível em: <<https://brcorte.com.br/assets/book2016/en/c2.pdf>>. Acesso em julho de 2021.
- Barwick SA, Wolcott ML, Johnston DJ, Burrow HM, Sullivan MT (2009) Genetics of steer daily and residual feed intake in two tropical beef genotypes, and relationships among intake, body composition, growth and other post-weaning measures. **Animal Production Science**, v.49, p.351-366.

Basarab JA, Price MA, Aalhus JL, Okine EK, Snelling WM, Lyle KL (2003) Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science** 83:189-204.

Batalha CDA, Morelli M, Branco RH, Cyrillo JN, Carrilho RC, Mercadante ME, Bonilha, SFM (2020) Association between residual feed intake, digestion, ingestive behavior, enteric methane emission and nitrogen metabolism in Nellore beef cattle. **Animal Science Journal**, 91(1).

Benfica LF (2020) **Avaliação genética de características de comportamento ingestivo e correlação com crescimento e eficiência alimentar**. 63p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.

Benfica LF, Sakamoto LS, Magalhães AFB, de Oliveira MHV, de Albuquerque LG, Cavalheiro R, Branco RH, Cyrillo JN, Mercadante MEZ (2020) Genetic association among feeding behavior, feed efficiency and growth traits in growing indicine cattle. **Journal of Animal Science**.

Berry DP, Crowley JJ (2012) Residual intake and gain; a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v.90, p.109-115.

BIF (2021) **Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs**. North Carolina State University: North Carolina 50p.

Bishop SC (1992) Phenotypic and genetic variation in body weight, food intake and energy utilization in Hereford cattle II. Effects of age and length of performance test. **Livestock Production Science**, v.30, p. 19-31.

Bonamy M, Kluska S, Peripolli E et al. (2018) Genetic association between different criteria to define sexual precocious heifers with growth, carcass, reproductive and feed efficiency indicator traits in Nellore cattle using genomic information. **J Anim Breed Genet**, 1–8.

Bonilha SFM, Cyrillo JNSG, dos Santos GP, Branco RH, Ribeiro EG, Mercadante MEZ (2015) Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nellore males and females. **Tropical Animal Health and Production**, 47(7), 1381–1389.

Bourdon RM (1999) Heritability and repeatability. In: Bourdon, R.M. (Ed.), **Understanding Animal Breeding**, v.2, p.161-197.

Brunes LC (2017) **Caracterização genética e seleção genômica para eficiência alimentar em bovinos nelore avaliados no estado de Goiás**. UFG, Goiânia.

Brunes LC, Baldi F, Lopes FB, Narciso MG, Lobo RB, Espigolan R, Costa MFO, Magnabosco CU (2021) Genomic prediction ability for feed efficiency traits using different models and pseudo-phenotypes under several validation strategies in Nelore cattle. **Animal**, 15, 100085.

Cameron ND (1998) Across species comparison in selection for efficiency. In: World Congress on Genetic Applied to Livestock Production, 6, 1998. Armidale. **Proceedings...** Armidale, Australia, v.25, p. 73-8.

Cardoso DF, de Albuquerque LG, Reimer C et al. (2018) Genome-wide scan reveals population stratification and footprints of recent selection in Nelore cattle. **Genetics Selection Evolution**, 50(1).

Carvalho PCF, Moraes A (2005) **Comportamento ingestivo de Ruminantes: bases para o manejo sustentável do pasto**. In: Ulysses Cecato; Clóves Cabreira Jobim. (Org.). Manejo Sustentável em Pastagem. Maringá-PR: UEM, v. 1, p. 1-20.

Carvalho S, Rodrigo MT, Branco RH et al. (2006) Comportamento ingestivo de cabras Alpinas em lactação alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro proveniente da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 562-568.

Castilhos AM, Branco RH, Razook AG, Bonilha SFM, Mercadante MEZ, Figueiredo, LA (2011) Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40:301-307.

Castro Bulle FCP, Paulino PV, Sanches AC, Sainz RD (2006) Growth, quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, v.85, p.928-936.

Chase LJ, Wangsness PJ, Baumgardt BR (1976) Feeding behaviour of stress fed a complete mixed ration. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n.11, p.1923-1928.

Chen L, Mao F, Crews DHJr, Vinsky M, Li C (2014) Phenotypic and genetic relationships of feeding behavior with feed intake, growth performance, feed efficiency, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science**, v.92, p.974- 983.

Crowley JJ, McGee M, Kenny DA, Crews DH, Evans RD, Berry DP (2010) Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, n. 3, p. 885-894.

Culbertson MM, Speidel SE, Peel RK, Cockrum RR, Thomas MG, Enns RM (2015) Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, 93:2482-2487.

Del Claro AC, Mercadante ME, Silva JAIV (2012) Metaanalysis of genetic parameter estimates of residual feed intake and of its component traits in cattle. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.47, p.302-310.

Deswysen AG, Dutilleul PA, Godfrin JP (1993) Nycterohemeral eating and ruminating patterns in heifers fed grass or corn silage: analysis by finite fourier transform **Journal of Animal Science**, v.71, n.10, p.2739-2747.

Dinkel CA, Busch DA, Schafer DE, Tuma HJ, Minyard JA, Costello WJ (1969) Changes in composition of beef carcasses with increasing animal weight. **J. Anim. Sci.** 28:316.

Duarte DAS (2018) **Depicting residual feed intake in Nellore cattle through gene expression, lipidomic profiling and pathway-based meta-analysis**. 100p. Dissertação (Doutorado em Scientiae) – UFV, Viçosa.

Durunna ON, Wang Z, Basarab JA, Okine EK, Moore SS (2011) Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v.89, p.3401–3409.

Euclides Filho K (2009) Evolução do melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil. **Revisa Ceres**, Viçosa, v. 56, n.5, p. 620-626, set/out.

Faria LC, Queiroz SA, Vozzi PA, Lôbo RB, Bezerra LAF, Magnabosco CU, Oliveira JA (2011) Quantitative genetic study on growth traits of Brahman cattle in Brazil. **Ars Veterinaria**, v. 27, n. 1, p. 30-35..

Fernandes HJ, Paulino MF, Martins RGR, Valadares Filho SC, Torres RA, Paiva LM, Moraes GFB (2004) Ganho de Peso, Conversão Alimentar, Ingestão Diária de Nutrientes e Digestibilidade de Garrotes Não- Castrados de Três Grupos Genéticos em Recria e Terminação. **R. Bras. Zootec.**, v.33, n.6, p.2403-2411.

Ferreira FA (2003) **Efeito do processamento do concentrado sobre a seleção de dieta por bovinos**. USP, Pirassununga.

Fischer V, Deswysen AG, Amouche E et al. (1997a) Efeitos da pressão de pastejo sobre o comportamento ingestivo e o consumo voluntário de ovinos em pastagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.5, p.1025-1031.

Fischer V, Deswysen AG, Despres L et al. (1997b) Comportamento ingestivo de ovinos recebendo dieta à base de feno durante um período de seis meses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.5, p.1032-1038.

Fischer V, Dutilleul P, Deswysen AG et al. (2000) Aplicação de probabilidades ingestivo de ovinos. Parte I. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1811-1820.

Fitzsimons C, Kenny DA, Fahey AG, McGee M (2013) Methane emissions, body composition and rumen fermentation traits of beef heifers differing in phenotypic residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v.91, p.5789–5800.

Forbes JM (2007) A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. **Nutrition Research Reviews**, 20, 132-146.

Garcia LG, Nicholson KL, Hoffman TW et al. (2008) National beef quality audit 2005: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. **J. Anim. Sci.** 86:3533.

Gibb DJ, Mcallister TA, Huisma C, Wiedmeier RD (1998) Bunk attendance of feedlot cattle monitored with radio frequency technology. **Canadian Journal Animal Science**, v.78, p.707–710.

Gomes RC, Sainz RD, Silva SL et al. (2012) Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, v.150, p.265-273.

Green TC, Jago JG, Macdonald KA, Waghorn GC (2013) Relationships between residual feed intake, average daily gain, and feeding behavior in growing dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.3098–3107.

Grion AL (2012) **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 94p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.

Hegarty RS, Goopy JP, Herd RM, Mccorkell B (2007) Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **J. Anim. Sci.** v. 85, p.1479-1486.

Herd RM, Arthur PF (2008) Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, published online Nov 21.

Herd RM, Bishop SC (2000) Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. **Livestock Production Science**, v. 63, p. 111-119.

Hicks RB, Owens FN, Gill DR (1989) Behavioral patterns of feedlot steers. **Okla. Agric. Exp. Sta. Res. Rep.** MP-127, pp. 94 – 105.

Johnson DE, Ferrell CL, Jenkins TG (2003) The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going?. **J Anim Sci**, 81:E27-e38.

Kayser W, Hill RA (2013) Relationship between feed intake, feeding behaviors, performance, and ultrasound carcass measurements in growing purebred Angus and Hereford bulls. **Journal of Animal Science**, 91:5492-5499.

Kelly AK, Mcgee DH, Crews Jr DH, Fahey AR, Wylie AR, Kenny DA (2010) 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**, v.88, p.109-123.

Koch RM, Swiger LA, Chambers D, Gregory KE (1963) Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science** 22:486-494.

Lage BFC (2013) **Relações entre comportamento alimentar e temperamento com consumo alimentar residual em novilhos Nelore**. 50p. Dissertação (Magister Scientiae) UFVJM, Diamantina.

Lancaster PA, Carstens GE, Ribeiro FRB et al. (2009) Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, v.87, p.1528-1239.

Marques JA, Caldas Neto SF, Groff AM et al. (2006) **Comportamento de bovinos mestiços em confinamento com e sem acesso à sombra durante o período de verão**. Campo Digital, Campo Mourão, v. 1, n. 1, p. 54-59,.

Martins EC (2017) **Consumo alimentar residual e sua relação com o desempenho, comportamento ingestivo e características de carcaça medidas por ultrassom de fêmeas da raça Nelore**. 77p. Dissertação (Magister Scientiae) UFVJM, Diamantina.

McGee M, Ramirez JA, Carstens GE, Price WJ, Hall JB, Hill RA (2014) Relationships of feeding behaviors with efficiency in RFI-divergent Japanese Black cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.3580-3590.

Mendes EDM (2010) **Characterization of feeding behavior traits and associations with performance and feed efficiency in finishing beef cattle**. 85p. Dissertation (Master of Animal Science) -Texas A&M University, Texas.

Mendes EDM, Carstens GE, Tedeschi LO, Pinchak WE, Friend TH (2011) Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.89, p. 2904-2910.

Miller MD (2016) **Associations between RFI, and metabolite profiles and feeding behavior traits in feedlot cattle**. 71p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Texas A&M University, Texas.

Montanholi YR, Swanson KC, Palme R, Schenkel FS, McBride BW, Lu D, Miller SP (2009) Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v.4, p.692–701.

Moraes GF, Abreu LRA, Ferreria IC, Pereira IG (2016) Utilização do consumo alimentar residual em prol do melhoramento genético de bovinos de corte. **Embrapa Cerrados**. Planaltina – DF.

Moraes GF, Abreu LRA, Toral FLB, Ferreira IC, Ventura HT, Bergmann JAG, Pereira IG (2019) Selection for feed efficiency does not change the selection for growth and carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics** 00:1–10.

Nkrumah JD, Basarab JA, Wang Z, Li C, Price MA, Okine EK, Moore SS (2007) Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with

growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 10, p. 2711-2720.

Nkrumah JD, Okine EK, Mathison GW, Schmid K, Li C, Basarab JA, Price MA, Wang Z, Moore SS (2006) Relationship of residual feed intake with metabolic rate, methane production and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, p.145–153.

Oliveira MHV (2019) **Associação do consumo alimentar residual e composição corporal em bovinos da raça Nelore**. 53p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Animal) - Unesp, Jaboticabal.

Paranhos da Costa MJR (2000) Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. **Anais de Etologia**, v. 18, p. 26-42.

Pereira ES, Mizubuti IY, Ribeiro ELA, Villarroel ABS, Pimentel PG (2009) Consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes e comportamento ingestivo de bovinos da raça Holandesa alimentados com dietas contendo feno de capim- tifton 85 com diversos tamanhos de partícula. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 190-195.

Pereira JC, Cunha DNFV, Cecon PR, Faria ES (2007) Comportamento ingestivo e taxa de passagem de partículas em novilhas leiteiras de diferentes grupos genéticos submetidas a dietas com diferentes níveis de fibra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 2134-2142.

Polizel GHG, Grigoletto L, Carvalho ME, Rossi Junior P, Ferraz JBS, Santana MHA (2018) Genetic correlations and heritability estimates for dry matter intake, weight gain and feed efficiency of Nellore cattle in feedlot. **Livestock Science** 214, 209–210.

Quimby WF, Sowell BF, Bowman JGP, Branine ME, Hubbert ME, Sherwood HW (2001) Application of feeding behaviour to predict morbidity of newly received calves in a commercial feedlot. **Canadian Animal Science**, v.81, p.315-320.

Reinhardt CD, Busby WD, Corah LR (2009) Relationship of various incoming cattle traits with feedlot performance and carcass traits. **J. Anim. Sci.** 87:3030.

Reinhardt CD, Hands ML, Marston TT, Waggoner JW, Corah LR (2012) Relationships between feedlot health, average daily gain, and carcass traits of Angus steers. **The Professional Animal Scientist**, 28:11–19.

Richardson EC, Herd RM, Archer JA, Arthur PF (2004) Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 44, 441–452.

Robinson DL, Oddy VH (2004) Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behaviour of feedlot finished beef cattle. **Livestock Production Science**, Foulum, v. 90, n. 2, p. 255-270.

Ronchesel JR (2012) **Comportamento ingestivo de bovinos Nelore confinados adaptados com diferentes protocolos à dieta de alto concentrado**. 60p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Unesp, Botucatu.

Santana MHA, Oliveira GA, Gomes RC et al. (2014) Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, 167, 80–85.

Schwartzkopf-Genswein KS, Atwood S, Mcallister TA (2002) Relationships between bunk attendance, intake and performance of steers and heifers on varying feeding regimes, **Applied Animal Behaviour Science** v. 76, p. 179-188.

Schwartzkopf-Genswein KS, Gibb DJ (2000) **Managing cattle for improved feed efficiency: a feeding behaviour perspective**. In: McAllister, T.A., Jakober, K., Hawkins, J. (Eds.), *Proceedings of the 2nd Annual National Beef Science Seminar*, Lethbridge, Alta., Canada, pp. 1–9.

Silva RMO, Fragomeni BO et al. (2016). Accuracies of genomic prediction of feed efficiency traits using different prediction and validation methods in an experimental Nelore cattle population¹. **Journal of Animal Science** 94(9), 3613–3623.

Siqueira F, Torres Júnior RAA, Regitano LCA, Feijó GLD (2007) *Genética Molecular Aplicada à Qualidade da Carne Bovina*. **Embrapa Gado de Corte**, Campo Grande.

Steinert RE, Feinle-Bisset C, Geary N, Beglinger C (2013) Digestive physiology of the pig symposium: Secretion of gastrointestinal hormones and eating control. *Journal of Animal Science*, v.91, p.1963–1973.

Stieven ICB (2012) **Relações do consumo alimentar residual com perfil hematológico, estresse e comportamento ingestivo em bovinos Purunã**. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - UFPR, Curitiba.

Streeter McN, Brainine M, Whitley E, Mccollum FT (1999) **Feeding behavior of feedlot cattle: does behavior change with health status, environmental conditions and performance level?** In: *Proceedings of the Plains Nutritional Council*, Texas A&M Extension Services, San Antonio, TX, pp. 36–47.

Thiago LRL, Gill M, Sissons JW et al. (1992) Studies of conserving grass herbage and frequency of feeding in cattle. **Brit. J. Nutr**, v.67(3), p.339-336.

Trettel M, Gomes RC, Foratto D et al. (2008) Padrão de comportamento de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira De Zootecnia*, 45., Lavras, 2008. **Anais...** Maringá: SBZ.

Turner HN, Young SY (1969) *Quantitative Genetics in Sheep Breeding*. MacMillan, Melbourne, p 332.

Urton G, Von Keyserlingk MAG, Weary DM (2005) Feeding behavior identifies dairy cows at risk for metritis. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2843-2849.

Van Soest PJ (1994) **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 476p.

Voisinet BD, Grandin T, Tatum JD, O'Connor SF, Struthers JJ (1997) Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. **J. Anim. Sci.** 75:892–896.

Waldo DR, Jorgensen NA (1981) Forages for high animal production: nutritional factors and effects of conservation. **Journal of Dairy Science** 64:1207-1229.

Wang Z, Nkrumah JD, Li C, Basarab JA, Goonewardene LA, Okine EK, Moore SS (2006) Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Journal of Animal Science**, 84:2289-2298.

Wertz E, Berger LL, Walker PM, Faulkner DB, McKeith FK, Rodriguez-Zas S (2001) Early weaning and postweaning nutritional management affect feedlot performance of Angus × Simmental heifers and the relationship of 12th rib fat and marbling score to feed efficiency. **J. Anim. Sci.** 79:1660–1669.

Zhang Z, Zhang Q, Ding XD (2011) Advances in genomic selection in domestic animals. **Chinese Sci Bull**, 56: 2655 - 2663.

CAPÍTULO 2 – Estimates of genetic and phenotypic parameters for feeding behavior and feed efficiency-related traits in Nelore cattle

ABSTRACT - The objective of this study was to estimate genetic and phenotypic parameters for feed efficiency and feed behavior indicator traits, as well as to examine the genetic and phenotypic interrelationships among them in Nelore cattle. Additionally, the direct and correlated response for feed efficiency traits were also estimated when a selection was applied for feeding behavior-related traits. Phenotypic records ($n=4,840$) from 125 feed efficiency tests (RFI: Residual feed intake and DMI: Dry matter intake) carried out between 2011 and 2018 were considered in this study. Animals belonged to 39 farms located in four Brazilian geographical regions (Midwest, Southeast, Northeast, and North). Animals under similar management and environmental conditions in the feedlot were evaluated when they attained an average of 13.5 ± 4.15 months of age. Feed behavior-related traits were also obtained, including meal criteria (MC), meal frequency (MF), average meal duration (AMD), meal duration (MD), average consumption per meal (ACM), and consumption rate (CR) through the GrowSafe System® electronic bunk system. The contemporary groups for all traits were farm, management group, feed efficiency test, sex, and birth year. The (co)variance components were estimated using the restricted maximum likelihood method considering a multi-trait ($n=8$) animal model. The heritability estimates for RFI (0.24 ± 0.01), DMI (0.30 ± 0.01), MF (0.63 ± 0.01), AMD (0.47 ± 0.01), ACM (0.24 ± 0.01), MD (0.75 ± 0.01), MC (0.49 ± 0.01), and CR (0.87 ± 0.00) were moderate to high. Among the feeding behavior traits, the highest genetic correlation was described between AMD and MD (0.87 ± 0.01) and phenotypic between ACM and AMD (0.88 ± 0.01). MD showed the highest genetic and phenotypic correlations estimated with RFI (0.60 ± 0.02 and 0.67 ± 0.01 , respectively) and phenotypic with DMI (0.78 ± 0.01). The highest correlations between those three traits suggest that MD can be used as an indicator of RFI and DMI variation. The results pointed out that the response to direct selection for DMI was higher than the indirect selection through feeding behavior-related traits. For the RFI, the results demonstrated that the response to indirect selection for RFI through direct selection for MC, MF, ACM, and MD was higher than direct selection for

RFI. The selection for feed efficiency and feeding behavior-related traits is feasible. The relative efficiency of selection showed that the assessment of feeding behavior traits is an alternative approach to evaluate feed efficiency in Nelore cattle. It allows an easier and earlier identification of efficient animals compared to those selected directly for RFI. The results of this study may encourage the use of feeding behavior traits to improve feed efficiency traits in Nelore cattle.

Keywords: genetic correlation, heritability, phenotypic correlation, residual feed intake, zebu cattle

1. Introduction

In beef cattle systems, traits related to the final product or "outputs", such as carcass, growth, and reproductive-related traits, are commonly used as selection criteria in breeding programs (Crowley et al., 2010). Nevertheless, profitability in beef cattle operations is strongly determined by the feeding costs and other variable inputs that encompass the production system. It is noteworthy to highlight that the expenses or 'inputs' involved with feeding reach up to 70% of the total costs in beef cattle production (Alqaisi et al., 2017). However, it is difficult and expensive to collect such input records linked to feeding and feed efficiency (Grion et al., 2014). In this regard, selection to improve efficiency might be achieved by measuring feed intake and feed efficiency-related traits (Robinson and Oddy, 2004).

The feed efficiency is often expressed as a measure of residual feed intake (RFI) or feed conversion rate (FCR). The RFI can be defined as the difference between the observed feed intake recorded over a period and the expected feed intake based on the animal's growth rate and maintenance requirement, i.e., measured as dry matter intake (DMI) corrected for live weight and growth rate (Koch et al., 1963). The RFI is the most preferred indicator of feed-efficiency in beef cattle as the selection to improve growth (Herd and Arthur, 2008; Berry and Crowley, 2012, 2013; Crowley et al., 2010), reproductive (Berry and Crowley, 2013), and carcass-related traits (Herd and Arthur, 2008; Berry and Crowley, 2013; Torres-Vázquez et al., 2018) would not affect the RFI (Koch et al., 1963).

The RFI can be used to identify animals that have lower maintenance energy requirements, contributing to reducing the inputs regarding the feeding costs without affecting the quantity and quality of the final product or "outputs" (Aldrichi, 2013). Furthermore, studies have shown that the lower energy losses as methane during digestion (Nkrumah et al., 2006) and greater energy retention as protein (Basarab et al., 2003) contribute to the better efficiency of feed use in low-RFI cattle and may also be recognized as an important tool to decrease negative environmental impacts (Gomes et al., 2013). Despite the economic and environmental importance of feed efficiency-related traits, such traits are not commonly used as a selection criterion in beef cattle breeding programs due to the high costs and hard measurement, reducing

the availability of phenotypic records and reliability of genetic evaluations (Grion, 2012).

The feeding behavior in ruminants can be characterized by the uneven distribution of a succession of discrete defined periods of activities (Aldrichi, 2013), and animal feeding behavior is associated with their feeding efficiency (Fitzsimons et al., 2017). According to Ferreira (2006), the factors that influence the feed intake in ruminants can be linked to the animal (breed, sex, and body weight), diet (nutrient composition, physical form, and palatability), management, and environment. Considering these, the time of access to food and the frequency of feeding are among the most relevant factors to characterize the feeding behavior (Ribeiro et al., 2011). There are several studies estimating genetic parameters for feed efficiency-related traits (Berry and Crowley, 2012; Del Claro et al., 2012; Grion, 2012; Barwick et al., 2009; Santana et al., 2014a; Benfica et al., 2020). However, studies are incipient in quantifying the genetic association between feed efficiency and feeding behavior-related traits in zebu cattle (Aldrichi, 2013; Martins, 2017; Benfica et al., 2020). Studies with cattle have shown that feeding behavior traits are genetically correlated with feed efficiency, and they can be used as indicators of economically important traits (Nkrumah et al., 2007; Kelly et al., 2010). Moderate to high heritability estimates for feeding behavior-related traits varying from 0.28 to 0.49 were reported by Nkrumah et al. (2007), demonstrating that these traits have a genetic variation to respond to selection. McGee et al. (2014) proposed that a higher genetic correlated response for RFI selecting for feeding behavior traits is expected than the direct selection for RFI, since RFI displayed lower heritability estimates than feeding behavior traits.

Quantitative genetic analyses of feeding behavior-related traits and their relationships with feed efficiency-related and other performance traits would help to unravel the biological basis of variation in feed utilization (Richardson and Herd, 2004). It would also provide a valuable resource for the incorporation of feeding behavior traits into genetic evaluation programs to improve feed efficiency, health, and animal wellness in tropical regions, maintaining homeostasis and avoiding stress situations (Costa-e-Silva et al., 2013). The objective of this study was to estimate genetic and phenotypic parameters for RFI, DMI and feeding behavior indicator traits, as well as to examine the genetic and phenotypic interrelationships among these traits in Nelore

cattle. The direct and correlated response for RFI and DMI traits was also estimated when a selection was applied for feeding behavior-related traits.

2. Material and Methods

2.1 Dataset

Phenotypic records ($n=4,840$) from 125 feed efficiency tests carried out between 2011 and 2018 were considered in this study. Animals belonged to 39 farms located in four Brazilian geographical regions (Midwest, Southeast, Northeast, and North). The genetic evaluation of such farms is headed by the Nelore Brazil Breeding Program, which is coordinated by the National Association of Breeders and Researchers (ANCP, Ribeirão Preto, Brazil). The relationship matrix was built based on pedigree records from 58,374 animals also provided by the ANCP.

Animals under similar management and environmental conditions in the feedlot were evaluated when they attained an average of 13.5 ± 4.15 months of age. Feed efficiency tests were conducted using the same protocol as described by Mendes et al. (2020), and were performed in five different places: three farms (HoRa Hofig Ramos, Brasilândia - PR; Rancho da Matinha, Uberaba - MG; and AgroNova, Torixoréu - MT) and two research centers (Embrapa Cerrados, Planaltina - DF; and Federal University of Uberlandia, Uberlândia – MG). Feed behavior-related traits were also obtained, including meal criteria (MC), meal frequency (MF), average meal duration (AMD), meal duration (MD), average consumption per meal (ACM), and consumption rate (CR) through the GrowSafe System® electronic bunk system. This system is configured to scan the animals' transponders each time they enter the bunk (Benfica, 2020).

The diets offered over the years differed regarding their composition and ingredients. However, they were formulated based on silage and commercial concentrate aiming at an average of 64% of total digestible nutrients (TDN), 13% of crude protein (CP), 76% of dry matter (DM), and a daily gain of 1.2 kg (Mendes et al., 2020). During the tests, the animals were weighted periodically. Samples of roughage,

concentrate, and wastes were weekly collected for analysis to verify whether the nutrient levels differed or not.

2.2 Feed efficiency-related traits

Feed efficiency-related traits evaluated in this study encompassed the DMI and RFI traits. The DMI is considered as the difference between the dry matter offered and that from the residues.

To estimate the RFI, the average daily gain (ADG) (kg/day) and metabolic live weight ($MW^{0.75}$) were calculated. The ADG was estimated by a linear regression coefficient of the weights as a function of the days in the test (DIT) using the *lm* function implemented in R software (2018):

$$y_i = \alpha + \beta * DIT_j + \varepsilon_i$$

where y_j is the weight of the j^{th} animal; α is the intercept of the regression equation which represents the initial weight; β is the linear regression coefficient which represents the ADG; DIT_j is the day in the performance test of the j^{th} observation; and ε_i is the residue associated with the i^{th} record.

The metabolic body weight ($MW_j^{0.75}$) was retrieved from the body weight and ADG following the equation below:

$$MW_j^{0.75} = \left[\alpha + \beta * \left(\frac{DIT_j}{2} \right) \right]^{0.75}$$

where $MW_j^{0.75}$ is the metabolic weight of j^{th} animal; α is the intercept of the regression equation which represents the initial weight; β is the linear regression coefficient which represents the ADG, as described above.

The RFI was then estimated within each contemporary groups (CG) by the residual of the DMI regression as a function of ADG and $MW^{0.75}$ using the R program (2018) and the equation below (Koch et al., 1963):

$$y = \beta_o + \beta_1 ADG + \beta_2 MW^{0.75} + \varepsilon_i (RFI)$$

where y is the individual DMI of the i^{th} animal; β_o is the intercept; β_1 and β_2 are the linear regression coefficient of ADG and $MW^{0.75}$, respectively; and ε_i is the residue associated with the i^{th} observation, i.e., RFI.

2.3 Feeding behavior-related traits

The feeding behavior-related traits were obtained from the GrowSafe System®. Meal-based feeding behavior traits were calculated using a predetermined MC, which was defined as the minimum interval between bunk visits (BV) before the next BV to be considered as a new meal (Kyriazakis et al., 1999; Yeates et al., 2001). The following feeding behavior-related traits were considered: a) MC (min) was estimated considering a maximum interval of 20 minutes between meals; b) MF (event/day) specifies the number of times each animal goes to the bunk within 24 hours; c) AMD (min/meal) evaluate the average time spent by the animal per meal; d) ACM (kg/event) estimate the average food intake per meal within 24 hours; e) MD (min/day) is the sum of time spent in each meal within 24 hours; f) CR assesses the DMI by the sum of the time spent in each meal within 24 hours by considering the unit Kg DM consumed/min.

2.4 Estimation of genetic parameters

The contemporary groups (CG) for all the traits were composed by farm, management group, feed efficiency test, sex and year of birth. Records within ± 3.5 standard deviations from the CG mean and with at least four animals were considered in the analysis. The (co)variance components were estimated using the REMLF90 and AIREMLF90 software (Miszta et al., 2002) considering a multi-trait ($n=8$) animal model. The multi-trait animal model, including the two-feed efficiency (RFI and DMI) and six feeding behavior (MC, MF, AMD, ACM, MD, and CR) traits can be represented in a matrix form as follow:

$$y = X\beta + Z\alpha + e$$

where y is the vector of the phenotypes, β is the vector of fixed effects, α is the vector of random direct additive genetic effects of the animal, e is the vector of residual effects and X and Z are incidence matrices associating β , α and e to y . It was assumed that $E[y] = X\beta$; with the direct additive genetic, feed efficiency traits, feeding behavior traits and residual effects assumed normally distributed with mean zero and $Var(a) = A \otimes S_a$ and $Var(e) = I \otimes S_e$; in which S_a is the genetic (co)variance matrix between feed efficiency traits and feeding behavior traits, S_e is the residual (co)variance matrix between feed efficiency and feeding behavior traits, and I is an identity matrix of appropriate order.

Initially, the REMLF90 software (EM algorithm) was applied to converge the analyses, and the covariance estimates obtained by such software were used as initial values for the AIREMLF90 software (AI algorithm). The values of the standard deviations (SD) for the correlations and heritabilities were given by the AIREMLF90 software. The SD was calculated using a covariance function by repeated sampling of parameter estimates of its asymptotic multivariate normal distribution (Meyer and Houle, 2015).

2.5 Response to direct selection

The expected response to direct selection was estimated using the following equation (Falconer and Mackay 1996):

$$\Delta G_Y = \frac{r_{tiY} * i_Y * \sigma_{aY}}{IG}$$

where, ΔG_Y is the genetic gain in trait Y per generation; r_{tiY} is the accuracy of the genetic prediction of Y obtained as the square root of the heritability; i_Y is the intensity of selection for trait Y ; σ_{aY} is the genetic variation obtained as the standard deviation (SD) of the additive genetic effect in trait Y ; and IG is the generation interval.

A 1.5-year IG was considered for all traits. This parameter was obtained considering the trait evaluation age. The selection intensity equal 1.2 was considered corresponding to the selection of 10% and 60% of males and females, respectively.

Correlated responses for RFI and DMI when a direct selection was applied for them or for feeding behavior-related traits were estimated as follows (Falconer and Mackay 1996):

$$\Delta G_{Y|X} = \frac{r_{gXY} * r_{tiX} * i_X * \sigma_{aY}}{IG}$$

where, $\Delta G_{Y|X}$ is the genetic gain per generation in trait Y (RFI or DMI), given selection for X (feeding behavior-related traits); r_{gXY} is the genetic correlation between trait X and Y; r_{tiX} is the accuracy of the genetic prediction of X; i_X is the intensity of selection for trait X; σ_{aY} is the SD of the additive genetic effect on trait Y; and IG is the generation interval.

The relative efficiency of selection (RES) was calculated as the ratio between the direct and indirect response to the selection, as below:

$$RES = \Delta G_Y / \Delta G_{Y|X} * 100$$

3. Results and Discussion

3.1 Feed efficiency and feeding behavior traits

The number of records and descriptive statistics for feed efficiency and feeding behavior-related traits are described in Table 1.

Table 1. Number of phenotypic records and descriptive statistics for feed efficiency and feeding behavior-related traits in Nelore beef cattle.

Trait	N	Mean	SD	Minimum	Maximum
RFI (kg DM/day)	4,840	0.0009	0.71	-4.93	4.70
DMI (kg/day)	4,840	8.3643	2.00	3.37	18.75
MC (min)	2,650	14.3274	1.26	10.08	17.96
MF (event/day)	2,648	7.2945	1.39	3.22	13.68
AMD (min/meal)	2,767	1.2828	0.46	0.42	4.54
ACM (kg/event)	2,775	2.5632	0.89	0.93	6.98
MD (min/day)	2,643	86.4984	21.50	27.58	162.79
CR (kg DM/min)	2,643	0.0960	0.02	0.04	0.22

RFI: residual feed intake; DMI: dry matter intake; MC: meal criteria; MF: meal frequency; ACM: average consumption per meal; AMD: average meal duration; MD: meal duration; CR: consumption rate; SD: standard deviation; N: number of records.

The RFI range obtained in this study varied from -4.93 to 4.7 kg DM/day, close to that reported by Oliveira (2019) (-2.78 to 4.83 kg DM/day) in Nelore cattle and higher than those reported by Lage (2013) (-1.95 to 1.81 kg DM/day) and Magnobosco et al. (2010) (-1.85 to 1.78 kg DM/day) also in Nelore cattle and by Miller (2016) (-2.60 to 2.30 kg DM/day) in Angus cattle. For the DMI, the mean value reported herein is also consistent with those reported in the literature in Nelore steers and heifers, with values ranging from 5.92 to 9.22 kg/day (Aldrighi, 2013; Lage, 2013; Bonilha et al., 2015; Martins, 2017; Oliveira, 2019; Benfica et al., 2020).

The mean values for the feeding behavior traits reported in this study agreed with those described in the literature. The average value for MC and MF obtained herein were close to those reported by Miller (2016) (13.1 ± 8.58 min) and Aldrighi, (2013), Lage, (2013), and Martins (2017) (11.26 to 16.70 event/day), respectively. The mean values for MD and CR were within the interval reported in the literature, with values varying from 65.1 ± 11.2 to 250 ± 2.57 min/day (Robinson and Oddy 2004; Nkrumah et al., 2007; Mendes, 2010; Durunna et al., 2011; Aldrighi, 2013; Lage, 2013; Chen et al., 2014; Bonilha et al., 2015; Miller, 2016; Martins, 2017; Benfica et al., 2020) and from 0.053 to 0.145 kg DM/min (Robinson and Oddy, 2004; Mendes, 2010; Durunna et al., 2011; Chen et al., 2014; Miller, 2016; Benfica et al., 2020), respectively. Further, the AMD and ACM mean values reported herein showed strong divergence

from those already reported in the literature. The mean value obtained for AMD was lower than those reported by Benfica (2020) (8.6 ± 6.41 min/meal) in Nelore and by Mendes (2010) (17.4 ± 3.2 min/meal) and Miller (2016) (25.5 ± 11.7 min/meal) in taurine cattle breeds. The ACM displayed higher mean values than those reported by Mendes (2010) (1.40 ± 0.30 kg/event), Miller (2016) (1.72 ± 0.59 kg/event), and Benfica (2020) (0.36 ± 0.20 kg/event).

3.2 Heritability and genetic and phenotypic correlation estimates for feed efficiency and feeding behavior traits

The heritability, genetic and phenotypic correlations estimates obtained for the studied traits are presented in Table 2. The heritability estimates for RFI (0.24) and DMI (0.30) were moderate and similar to those reported for beef cattle with estimates ranging from 0.17 to 0.28 (RFI) and from 0.23 to 0.40 (DMI) (Koch et al., 1963; Robinson and Oddy, 2004; Herd and Arthur, 2008; Barwick et al., 2009; Grion, 2012; Santana, 2013; Silva et al., 2016; Moraes et al., 2017; Oliveira, 2019; Benfica et al., 2020; Brunet et al., 2021). In this regard, the heritability estimates obtained in this study indicated that genetic improvement for RFI and DMI can be achieved through selection.

Feeding behavior-related traits showed moderate to high heritability estimates, ranging from 0.24 to 0.87. The highest heritability estimates obtained in this study for the feeding behavior related-traits were for CR (0.87) and MD (0.75), indicating that selection for feeding behavior is feasible. Both estimates were higher than those reported in the literature by Robinson et al. (2004), Durunna et al. (2011), Chen et al. (2014), and Benfica et al. (2020), whose results ranged from 0.29 to 0.51 for CR and 0.25 to 0.53 for MD. The MF also presented a high heritability estimate (0.63) and similar to that observed by Durunna et al. (2011) (0.56). Robinson and Oddy (2004), Nkrumah et al. (2007), Chen et al. (2014), and Benfica (2020) obtained lower heritability estimates for MF, with estimates ranging from 0.24 to 0.44. Moderate heritability estimates were obtained for MC (0.49) and AMD (0.47). No previous records have been described in the literature for MC, while Benfica et al. (2020) reported a close estimate for AMD (0.39) in Nelore cattle. Meanwhile, the ACM

displayed the lowest heritability estimated among the feeding behavior traits (0.24). Benfica (2020) reported a moderate heritability estimate for ACM (0.36), higher than that reported in this study. The heritability estimates obtained for feeding behavior-related traits pointed out that selection for these traits is feasible when phenotypic records are available.

Table 2. Heritability estimates (diagonal), genetic correlation (upper diagonal), and phenotypic correlation (lower diagonal) for feed efficiency and feeding behavior-related traits in Nelore cattle.

	RFI	DMI	MC	MF	ACM	AMD	MD	CR
RFI	0.248±0.017	0.792±0.018	0.162±0.047	-0.039±0.053	0.055±0.052	0.397±0.040	0.603±0.028	-0.422±0.014
DMI	0.766±0.005	0.306±0.017	0.094±0.046	-0.164±0.051	0.413±0.043	0.293±0.042	0.375±0.034	-0.125±0.004
MC	-0.086±0.018	-0.094±0.022	0.490±0.014	0.497±0.039	-0.080±0.049	0.298±0.036	0.334±0.027	-0.317±0.032
MF	0.146±0.020	0.105±0.025	0.285±0.022	0.637±0.011	-0.165±0.045	0.056±0.044	0.007±0.042	-0.045±0.042
ACM	0.153±0.021	0.362±0.025	0.057±0.037	-0.206±0.035	0.243±0.014	0.397±0.036	-0.1E-03±0.043	0.129±0.042
AMD	0.229±0.010	0.370±0.013	0.098±0.012	-0.133±0.016	0.889±0.017	0.479±0.012	0.874±0.010	-0.844±0.021
MD	0.671±0.014	0.783±0.019	-0.104±0.025	0.035±0.032	0.249±0.043	0.456±0.008	0.759±0.006	-0.963±0.017
CR	-0.278±0.008	-0.153±0.010	0.061±0.010	0.015±0.009	-0.104±0.001	-0.286±0.007	-0.498±0.001	0.874±0.4E-06

RFI: residual feed intake (kg DM/day); DMI: dry matter intake (kg/day); MC: meal criteria (min); MF: meal frequency (event/day); ACM: average consumption per meal (kg/event); AMD: average meal duration (min/meal); MD: meal duration (min/day); CR: consumption rate (kg DM/min).

The RFI displayed a strong genetic correlation estimate with DMI (0.79 ± 0.01), indicating that the selection to improve RFI would also favorably decrease DMI. This result was expected since the RFI is the residual of the regression between observed and predicted feed intake based on liveweight gain and metabolic weight. The same was described by Schenkel et al. (2004) (0.81), Lancaster et al. (2009) (0.85 ± 0.08), and Moraes et al. (2019) (0.82), who estimated the genetic correlations between DMI with RFI in taurine and indicine cattle breeds. Hence, when selecting animals with negative estimated breeding value (EBV) for RFI, more efficient animals, favorable correlated responses to DMI are observed in the evaluated herd. Arthur et al. (2001) reported a genetic change per generation of -0.24 kg/day in DMI when animals were selected to improve feed efficiency. Mujibi et al. (2011) ($n=721$), Santana (2013) ($n=1,058$), and Polizel et al. (2018) ($n=2,058$) reported lower genetic correlation estimated values than those in the present study (0.51 ± 0.18 , 0.67, and 0.61 ± 0.11 , respectively). This divergence can be explained by the fact that the studied populations used a lower number of feed efficiency records than the present study.

RFI and DMI were also correlated in the same direction phenotypically since this correlation was high and positive (0.76 ± 0.01). The same was reported by Schenkel et al. (2004) (0.81), Lancaster et al. (2009) (0.70), Branton et al. (2016) (0.76), and Moraes et al. (2019) (0.71). These results pointed out that more efficient animals (negative RFI) are those animals that consume less feed for the same live weight gain than less efficient animals (Moraes et al., 2019). Since feeding is one of the most expensive activities in beef cattle farming, the identification and use of high-efficiency animals should contribute to reducing the costs of production systems (Guimarães et al., 2017).

The genetic correlation estimates between AMD and MD (0.87 ± 0.01) were high and higher than those reported by Chen et al (2014) in Angus (0.29 ± 0.21) and Charolais (0.20 ± 0.19). Phenotypically, the correlation between these traits was moderate (0.45 ± 0.01), close to the estimate reported by Chen et al. (2014) (0.43 ± 0.06) in Angus cattle. The correlation obtained between AMD and MD indicates that when selecting an animal that demands more time for a meal, it would also select the one that spends more time in the bunk during a 24-hour period. In addition, it is preferable to select for MD to obtain an adequate result for AMD since the first trait presented a

higher heritability estimate than the second one. Genetic and phenotypic correlation estimates between AMD and ACM were moderate and high, with values of 0.39 ± 0.01 and 0.88 ± 0.01 , respectively. In this case, the AMD should be included as selection criteria to improve both traits due to its higher heritability estimate. Schwartzkopf-Genswein et al. (2002) evaluated the feeding behavior of Charolais cattle and reported positive and significant phenotypic correlation coefficient values of 0.38 ($P < 0.001$) between the time spent in the bunk (minutes) and the average daily intake (kg/day). According to the authors, this correlation suggests that a long duration of time in the bunk affects animal intake in the same direction, as also observed herein. The hormonal influence of appetite (Schwartz et al., 1996; Friedman and Halaas, 1998; Kowalski et al., 2014) and diet composition (Carvalho et al., 2000) are factors that could interfere in the correlations of these feeding behavior traits.

The genetic and phenotypic correlation estimates between CR and MD were high and moderate, with values of -0.96 ± 0.01 and -0.49 ± 0.00 , respectively. Similarly, Robinson and Oddy (2004) and Chen et al. (2014) also reported high genetic and phenotypic correlations estimates between CR and MD, with values varying from -0.83 ± 0.06 to -0.92 ± 0.03 and -0.78 ± 0.03 to -0.77 , respectively. The CR and AMD showed high genetic and moderate phenotypic correlation estimates between them, with values of -0.84 ± 0.02 and -0.28 ± 0.01 , respectively. The estimated genetic correlation between CR and AMD was higher than those reported by Chen et al. (2014) in Angus (-0.30 ± 0.07) and Charolais (-0.18 ± 0.07) cattle. However, the phenotypic correlation was like that observed by the same authors in Angus (-0.29 ± 0.19) and Charolais (-0.32 ± 0.18) cattle. The correlations obtained herein implied that the greater the amount consumed per minute by the animal, the less time the meal lasts, and consequently, less time of the day will be spent feeding. This variation in the estimates found in the results can be explained by the method of evaluating these traits, analyzed in individual or group pens (Haer and Merks, 1992; Soares, 2011) or by the animals' temperament (Soares, 2011; Soares, 2015). Since the heritability estimate for CR was higher than did MD and AMD, the selection for CR would be effective in both situations.

In general, the genetic and phenotypic correlations among the feeding behavior traits observed in this study agreed with previous studies. However, some divergences regarding the genetic correlation values for some traits have been observed. Among

them, we can highlight the differences between MF and MD with values ranging from -0.40 ± 0.30 (Nkrumah et al., 2007) to 0.59 ± 0.13 (Chen et al., 2014), between MF and CR with correlations varying from -0.34 ± 0.16 (Chen et al., 2014) to 0.81 ± 0.10 (Durunna et al., 2011), and between MF and AMD with genetic correlations of -0.68 ± 0.11 (Angus) and -0.74 ± 0.04 (Charolais) (Chen et al., 2014). In this study, the genetic correlation estimates were considered close to zero, indicating that the selection for MF would not interfere with the selection for MD, CR and AMD. Hence, the frequency that the animal visits the bunk per day would not interfere in the duration of the meal per event and per day as well as in the CR. Phenotypically, the most discrepant correlation value in the literature was between MF and CR, which ranged from -0.28 ± 0.07 to 0.77 ± 0.02 (Robinson and Oddy, 2004; Durunna et al., 2011; Chen et al., 2014). The result described herein demonstrates that the animal's meal frequency and CR displayed a weak genetic association. The divergences among the correlations across studies might be due to differences in the cattle breed, animal density per feed bunk, sample size, diet composition, animal age at test, and the statistical model used (Chen et al., 2014). The remaining genetic and phenotypic correlations among feeding behavior-related traits were of low magnitude, and it doesn't have genetic and selection implications.

3.3 Genetic and phenotypic correlation estimates between feed efficiency and feeding behavior traits

The MD showed a strong and positive genetic and phenotypic correlation with DMI (0.37 ± 0.01 and 0.78 ± 0.01 , respectively). Other studies reported similar results for the genetic correlation (0.35 ± 0.17) (Chen et al., 2014) and lower for the phenotypic correlation (0.42 and 0.47 ± 0.03) (Mendes, 2010; Benfica, 2020). Genetic correlations of strong magnitude between MD and DMI indicated that selection for this feeding behavior trait could lead to increased DMI, which may be undesirable in a cattle breeding program as it can increase the feeding costs. In addition, animals that stay longer in the bunk tend to have a high daily DMI and to be less efficient (positive RFI). Corroborating this fact, MD also had the strongest positive genetic and phenotypic correlations with RFI (0.60 ± 0.02 and 0.67 ± 0.01 , respectively). Similar results were

reported by Chen et al. (2014) and Nkrumah et al. (2007) in Angus cattle, with estimates of 0.44 ± 0.19 and 0.57 ± 0.28 (genetic correlation) and 0.32 ± 0.04 and 0.49 (phenotypic correlation), respectively. Benfica (2020) study on Nelore cattle reported a genetic correlation of 0.82 ± 0.13 and a phenotypic correlation of 0.46 ± 0.03 . As observed for the genetic and phenotypic correlations between the cited feeding behavior traits and RFI, the high correlation estimates found in this study imply that animals that spend more time eating have greater energy demand for this activity, and the selection for these traits would result in less efficient animals.

Olson et al. (2020) working with taurine crossbreed replacement beef heifers, related that selection to increase MD would not directly improve reproduction and longevity traits but instead lead to heavier cattle that consume more and have lessened feed efficiency. Accordingly, several studies in cattle indicated that low RFI animals exhibit up to 11 to 26% shorter feeding bout durations than their high RFI counterparts (Nkrumah et al., 2007; Golden et al., 2008; Lancaster et al., 2009; Montanholi et al., 2009; Kelly et al., 2010; Durunna et al., 2011; Schwartzkopf-Genswein et al., 2011; Hafla et al., 2013; Kayser and Hill, 2013). McGee et al. (2014) also observed a expressive genetic correlation (0.55) between MD and DMI when studying Red Angus-sired cattle. However, these authors highlighted that these traits were correlated only in growing animals, suggesting a diet effect (high concentrate vs. low concentrate) or a maturity stage effect. The agreement of the results of the correlations obtained in this study with those described in the literature, and the high MD heritability (0.759 ± 0.016) estimate suggests that such trait can be used to predict DMI and RFI in growing Nelore cattle. Therefore, selection should be focused on those animals that spend less time feeding during a 24-hour period.

As expected, the DMI displayed moderate genetic and phenotypic correlation estimates with ACM (0.41 ± 0.04 and 0.36 ± 0.02 , respectively) and AMD (0.29 ± 0.04 and 0.37 ± 0.01) since the amount of the DM is proportional to the consumption, time, and duration of the feeding event. Other researchers have reported higher correlation estimates between ACM and AMD with DMI. Benfica (2020) reported estimates of 0.70 ± 0.12 and 0.51 ± 0.03 for the genetic and phenotypic correlation between ACM and DMI, and 0.62 ± 0.13 and 0.40 ± 0.03 between AMD and DMI, respectively. Meanwhile, Chen et al. (2014) described a low genetic correlation of -0.12 ± 0.2 and a phenotypic

correlation of 0.11 ± 0.08 for AMD and DMI in Charolais cattle. The response to direct selection for DMI and RFI or indirect selection through feeding behavior traits is shown in Table 3. The results pointed out that the response to direct selection for DMI was higher than the indirect selection through feeding behavior-related traits. The feeding behavior-related traits were not adequate indicator traits to select for DMI. This result was expected since the DMI displayed a moderate heritability estimate and showed low to moderate genetic correlation estimates with feeding behavior traits.

Table 3. Direct and correlated genetic response per generation and relative efficiency of selection (%) for residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) when selection was performed for feeding behavior-related traits in Nelore beef cattle.

Trait	Direct response	Correlated response		Relative efficiency of selection	
		RFI	DMI	RFI	DMI
RFI	-0.05		-0.0915		137.99
DMI	-0.13	-0.0426		38.37	
MC	-0.32	-0.0112	-0.0152	14.94	830.322
MF	-0.62	0.0030	0.0294	-7.81	-429.97
ACM	-292.01	-0.0027	-0.0467	0.02	270.68
AMD	-0.02	-0.0269	-0.0471	208.87	267.94
MD	-116.70	-0.0512	-0.0749	0.04	168.74
CR	-0.0001	0.0383	0.0285	-40677.33	-443.16

MC: meal criteria; MF: meal frequency; ACM: average consumption per meal; AMD: average meal duration; MD: meal duration; CR: consumption rate.

The RFI also displayed a low to moderate and positive genetic and phenotypic correlation with AMD (0.39 ± 0.04 and 0.22 ± 0.01 , respectively) (Table 2). The genetic correlation was higher than that observed by Martins (2017) (0.17), but lower than that reported by Benfica (2020) (0.78 ± 0.16). The phenotypic correlation was close to Mendes (2010) and Benfica (2020), with values of 0.35 ± 0.03 and 0.36, respectively. The positive correlations obtained in this study between the feed efficiency-related traits and AMD suggest that the selection of animals with a shorter period in the bunk also tends to select those with lower DMI, and therefore, more efficient animals (negative RFI). Furthermore, these important values of phenotypic correlation suggest that animals that spend more time eating are less efficient since they probably have higher energy demand for maintenance. According to Batalha et al. (2020), the greater

efficiency of low RFI animals is a consequence of lower maintenance requirements, since energy from higher nutrients digestibility in high RFI animals was spent on metabolic processes other than body tissue deposition. Fitzsimons et al. (2017) and Kenny et al. (2018) reviewed the potential contribution of differences in energy utilization relating to composition, maintenance and metabolic processes within muscle and adipose tissue depots to animal variation for the RFI trait.

The RFI displayed a moderate to low magnitude genetic (-0.42 ± 0.01) and phenotypic (-0.27 ± 0.00) correlation with CR. The genetic correlation was close to that reported by Benfica (2020) (-0.46 ± 0.23) and higher than those described by Robinson and Oddy (2004), Chen et al. (2014) and Martins et al. (2017), with estimates of -0.07 ± 0.17 , -0.10 , and 0.07 ± 0.18 , respectively. The phenotypic correlation was lower than those reported in the literature, with values ranging from -0.02 ± 0.03 to 0.18 (Robinson and Oddy, 2004; Chen et al., 2014; Benfica, 2020; Mendes, 2020). Considering that this trait is the ratio between the DMI and MD, the variation in the MD value reported by the authors can justify the divergence in the feeding rate. The findings obtained in this study, like those of Gomez et al. (2007) and Montanholi et al. (2009), pointed out that more efficient animals for this trait consume less food per minute, featuring better the use of nutrients by the more efficient animals (Silva et al., 2017). Likewise, Montanholi et al. (2009) reported that low RFI animals ingested 12.7% less DM per minute spent in the bunk than high RFI animals. The relationship between CR and RFI is supported by the association between RFI and basal energy requirements (Richardson et al., 2001; Castro Bulle et al., 2006).

The genetic and phenotypic correlations obtained in this study between the feed efficiency and MC and MF were close to zero, decreasing the possibility of indirect genetic gains for feed efficiency by direct selection of feeding behavior traits. Overall, the genetic correlations estimates observed herein suggest that selection for ACM, AMD, MD and CR would affect feed efficiency-related traits, which may lead to a favorable or unfavorable correlated response. The results pointed out that the response to indirect selection for RFI through direct selection for MC, MF, ACM, and MD was higher than the direct selection for RFI (Table 3). Furthermore, the RFI displayed a lower heritability estimate than those obtained for the feeding behavior-related traits. Considering the genetic correlation between these feeding behavior traits

and RFI, the MD showed the most expressive genetic correlation, indicating that this trait would be an adequate indicator trait to improve feed efficiency through correlated response. It is worth highlighting that RFI is difficult to measure trait as it demands high-cost equipment and specialized labor (Santana et al., 2014b), while feeding behavior traits are more accessible to measure (Nkrumah et al., 2007). In addition, the feeding behavior traits have the potential to be measured earlier than the feed efficiency traits, anticipating the identification of animals with higher feed efficiency. Finally, the precision livestock farming is a growing area of continuous automated real-time monitoring or controlling, using conventional (2D) monochromatic or color cameras or 3D cameras, for large-scale phenotyping of animal behavior traits and it would provide support to genetic improvement of feed efficiency related traits in beef cattle less costly and faster.

4. Conclusion

The selection for feed efficiency and feeding behavior-related traits is feasible. The relative efficiency of selection shown that the assessment of feeding behavior traits is an alternative approach to evaluate feed efficiency in Nelore cattle and allows easier and earlier identification of efficient animals compared to those selected directly for RFI. The results of this study may encourage the use of feeding behavior traits to improve feed efficiency traits in Nelore cattle.

5. References

Aldrighi J (2013) **Comportamento ingestivo e temperamento de bovinos Nelore: relação com eficiência alimentar e aspectos metodológicos**. 65p. Dissertation (Master of Sustainable Animal Production) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.

Alqaisi O, Ndambi OA, Williams RB (2017) Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. **Agric Econ** 5, 25.

Arthur PF, Archer JA, Johnston DJ, Herd RM, Richardson EC, Parnell PF (2001) Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, 79(11), 2805.

Barwick SA, Wolcott ML, Johnston DJ, Burrow HM, Sullivan MT (2009) Genetics of steer daily and residual feed intake in two tropical beef genotypes, and relationships among intake, body composition, growth and other post-weaning measures. **Animal Production Science**, v.49, p.351-366.

Basarab JA, Price MA, Aalhus JL, Okine EK, Snelling WM, Lyle KL (2003) Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science** 83:189-204.

Benfica LF (2020) **Avaliação genética de características de comportamento ingestivo e correlação com crescimento e eficiência alimentar**. 63p. Dissertation (Master of Sustainable Animal Production) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.

Benfica LF, Sakamoto LS, Magalhães AFB, de Oliveira MHV, de Albuquerque LG, Cavalheiro R, Branco RH, Cyrillo JN, Mercadante MEZ (2020) Genetic association among feeding behavior, feed efficiency and growth traits in growing indicine cattle. **Journal of Animal Science**.

Berry DP, Crowley JJ (2012) Residual intake and gain; a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v.90, p.109-115.

Berry DP, Crowley JJ (2013) Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle1. **Journal of Animal Science**, 91(4), 1594–1613.

Bonilha SFM, Cyrillo JNSG, dos Santos GP, Branco RH, Ribeiro EG, Mercadante MEZ (2015) Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nellore males and females. **Tropical Animal Health and Production**, 47(7), 1381–1389.

Branton CR (2016) **Residual feed intake and the relationship with performance, temperament and carcass traits in growing and finishing steers**. 106p. Dissertation (Master of Science) – Stephen F. Austin State University, Texas.

Brunes LC, Baldi F, Lopes FB, Narciso MG, Lobo RB, Espigolan R, Costa MFO, Magnabosco CU (2021) Genomic prediction ability for feed efficiency traits using different models and pseudo-phenotypes under several validation strategies in Nelore cattle. **Animal**, 15, 100085.

Carvalho S, Rodrigues MT, Branco RH. et al. (2000) Comportamento ingestivo de cabras Alpinas em lactação submetidas a dietas com diferentes níveis de fibra em detergente neutro. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 37, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia.

Castro Bulle FCP, Paulino PV, Sanches AC, Sainz RD (2006) Growth, quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, v.85, p.928-936.

Chen L, Mao F, Crews DHJr, Vinsky M, Li C (2014) Phenotypic and genetic relationships of feeding behavior with feed intake, growth performance, feed efficiency, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science**, v.92, p.974- 983,.

Costa-e-Silva EV, Macedo GG, Rueda PM, Araujo DG, Zúccari CESN (2013) Ambiência e comportamento no manejo reprodutivo. In: Rosa AN, Martins EN, Menezes RRO, Silva LOC. **Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa**. Brasília: Embrapa, p. 27-38.

Crowley JJ, McGee M, Kenny DA, Crews DH, Evans RD, Berry DP (2010) Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, n. 3, p. 885-894.

Del Claro AC, Mercadante ME, Silva JAIV (2012) Metaanalysis of genetic parameter estimates of residual feed intake and of its component traits in cattle. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.47, p.302-310,.

Durunna ON, Wang Z, Basarab JA, Okine EK, Moore SS (2011) Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v.89, p.3401–3409.

Falconer DS (1996) **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Harlow: Longman, 480p.

Ferreira JJ (2006) **Desempenho e comportamento ingestivo de novilhos e vacas sob frequências de alimentação em confinamento** 80p. Dissertation (Master of Animal Science) – UFSM, Santa Maria .

Fitzsimons C, McGee M, Keogh K, Waters SM, Kenny DA (2017) Molecular physiology of feed efficiency in beef cattle. **Biology of domestic animals** (ed. CG Scanes and RA Hill), p.120–163.

Friedman JM, Halaas JL (1998). Leptin and the regulation of body weight in mammals. **Nature**, 395(6704), 763–770.

Golden JW, Kerley MS, Kolath WH (2008) The relationship of feeding behavior to residual feed intake in crossbred Angus steers fed traditional and no-roughage diets. **J. Anim. Sci.** 86:180–186.

Gomes RC, Sainz RD, Leme PR (2013). Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake. **Revista Brasileira de Zootecnia** 42(1), 44–50.

Gomez RR, Bourg BM, Paddock Z, Carstens GE (2007) Evaluation of feed efficiency in Santa Gertrudis steers and relationship with temperament and feeding behavior traits. **Journal of Animal Science** 85 (suppl. 1), 454.

Grion AL (2012) **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 94p. Dissertation (Master of Sustainable Animal Production) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa.

Grion AL, Mercadante MEZ, Cyrillo JNSG, Bonilha SFM, Magnani E, Branco RH (2014) Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science** 92, 955–965.

Guimarães AL, Mercadante MEZ., Canesin RC, Branco RH, Lima MLP, Cyrillo JN dos SG (2017). Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 46(1), 47–55.

Haer LCM, Merks JWM (1992) Patterns of daily food intake in growing pigs. **Animal Production** 54, 95–104.

Hafla AN, Carstens GE, Forbes TD, Tedeschi LO, Bailey JC, Walter JT, Johnson JR (2013) Relationships between postweaning residual feed intake in heifers and forage use, body composition, feeding behavior, physical activity, and heart rate of pregnant beef females. **J. Anim. Sci.** 91:5353–5365.

Herd RM, Arthur PF (2008) Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, published online Nov 21.

Kayser W, Hill RA (2013) Relationship between feed intake, feeding behaviors, performance, and ultrasound carcass measurements in growing purebred Angus and Hereford bulls. **J. Anim. Sci.** 91:5492–5499.

Kelly AK, McGee DH, Crews Jr DH, Fahey AR, Wylie AR, Kenny DA (2010) 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**, v.88, p.109-123.

Kenny DA, Fitzsimons C, Waters SM, McGee M. (2018). Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle – the current state of the art and future challenges. **Animal**, 12(09), 1815–1826.

Koch RM, Swiger LA, Chambers D, Gregory KE (1963) Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science** 22:486-494.

Kowalski LH, Freitas JA, Fernandes SR et al. (2014) Leptina e grelina na produção de ruminantes. **Revista de Ciências Agrárias**, 37(4): 375-383

Kyriazakis I, Tolkamp BJ, Emmans G. (1999) Diet selection and animal state: an integrative framework. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 58, p. 765–772.

Lage BFC (2013) **Relações entre comportamento alimentar e temperamento com consumo alimentar residual em novilhos Nelore**. 50p. Dissertation (Magister Scientiae) UFVJM, Diamantina.

Lancaster PA, Carstens GE, Ribeiro FRB et al. (2009) Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, v.87, p.1528-1239.

Magnobosco CU, Lopes FB, Miyagi ES et al. (2010) Multivariate approach of inter-relationships among growth, consumption and carcass traits in Nellore cattle. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 41, n. 4, p. 168-176.

Martins EC (2017) **Consumo alimentar residual e sua relação com o desempenho, comportamento ingestivo e características de carcaça medidas por ultrassom de fêmeas da raça Nelore**. 77p. Dissertation (Magister Scientiae) UFVJM, Diamantina.

McGee M, Ramirez JA, Carstens GE, Price WJ, Hall JB, Hill RA (2014) Relationships of feeding behaviors with efficiency in RFI-divergent Japanese Black cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.3580-3590.

Mendes EDM (2010) **Characterization of feeding behavior traits and associations with performance and feed efficiency in finishing beef cattle**. 85p. Dissertation (Master of Animal Science) -Texas A&M University, Texas.

Mendes EDM, de Faria CU.; Sainz RD et al. (2020) Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte. **Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores**, Ribeirão Preto, SP, BR.

Meyer K, Houle D (2015) Estimating sampling error of evolutionary statistics based on genetic covariance matrices using maximum likelihood. **J. Evol. Biol.** 28(8):1542-1549.

Miller MD (2016) **Associations between RFI, and metabolite profiles and feeding behavior traits in feedlot cattle**. 71p. Dissertation (Master of Animal Science) - Texas A&M University, Texas.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee D (2002) **BLUPF90 and related programs (BGF90)**. In: Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Montpellier, France, pp. 28–07.

Montanholi YR, Swanson KC, Palme R, Schenkel FS, McBride BW, Lu D, Miller SP (2009) Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v.4, p.692–701.

Moraes GF, Abreu LRA, Ferreira IC, Pereira IG (2017) Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. **Ciência Rural**, v.47: 02, e20151505.

Moraes GF, Abreu LRA, Toral FLB, Ferreira IC, Ventura HT, Bergmann JAG, Pereira IG (2019) Selection for feed efficiency does not change the selection for growth and carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics** 00:1–10.

Mujibi FDN, Nkrumah JD, Durunna ON et al. (2011) Accuracy of genomic breeding values for residual feed intake in crossbred beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 11, p. 3353-3361.

Nkrumah JD, Basarab JA, Wang Z, Li C, Price MA, Okine EK, Moore SS (2007) Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 10, p. 2711-2720.

Nkrumah JD, Okine EK, Mathison GW, Schmid K, Li C, Basarab JA, Price MA, Wang Z, Moore SS (2006) Relationship of residual feed intake with metabolic rate, methane production and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, p.145–153.

Oliveira MHV (2019) **Associação do consumo alimentar residual e composição corporal em bovinos da raça Nelore**. 53p. Dissertation (Master of Animal Breeding) - Unesp, Jaboticabal.

Olson CR, Li C, Block H, McKeown L, Basarab JA (2020) Phenotypic and genetic correlations of beef replacement heifer feeding behaviour, feed intake and feed efficiency with cow performance and lifetime productivity. **J Anim Breed Genet** 00:1–14.

Polizel GHG, Grigoletto L, Carvalho ME, Rossi Junior P, Ferraz JBS, Santana MHA (2018) Genetic correlations and heritability estimates for dry matter intake, weight gain and feed efficiency of Nellore cattle in feedlot. **Livestock Science** 214, 209–210.

Ribeiro ELA, Mizubuti IY, da Silva LDF, de Paiva FHP, de Sousa CL, de Castro FAB (2011) Desempenho, comportamento ingestivo e características de carcaça de cordeiros confinados submetidos a diferentes frequências de alimentação. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.4, p.892-898.

Richardson EC, Herd RM (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 44(5), 431.

Richardson EC, Herd RM, Oddy VH, Thompson JM, Archer JA, Arthur PF (2001) 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** 41, 1065–1072.

Robinson DL, Oddy VH (2004) Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behaviour of feedlot finished beef cattle. **Livestock Production Science**, Foulum, v. 90, n. 2, p. 255-270.

Santana MHA (2013) **Estudo genético e genômico da ingestão e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore (Bos indicus)**. 90p. Dissertation (Doctor of Aniaml Science) - USP, Pirassununga.

Santana MHA, Oliveira GA, Gomes RC et al. (2014a) Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. **Livestock Science**, 167, 80–85.

Santana MHA, Utsunomiya YT, Neves HHR, Gomes RC, Garcia JF, Fukumasu H, Silva SL, Júnior GAO, Alexandre PA, Leme PR, Brassaloti RA, Coutinho LL, Lopes TG, Meirelles FV, Eler JP, Ferraz JBS (2014b) Genome-wide association analysis of feed intake and residual feed intake in Nellore cattle. **BMC Genetics** 15:21-21.

Schenkel FS, Miller SP, Wilton JW (2004) Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science** 84:177-185.

Schwartz MW, Baskin DG, Bukowski TR et al. (1996) Specificity of leptin action on elevated blood glucose levels and hypothalamic neuropeptide Y gene expression in ob/ob mice. **Diabetes** vol. 45, n. 4, p. 531-535.

Schwartzkopf-Genswein KS, Atwood S, Mcallister TA (2002) Relationships between bunk attendance, intake and performance of steers and heifers on varying feeding regimes, Applied **Animal Behaviour Science** v. 76, p. 179-188.

Schwartzkopf-Genswein KS, Hickman DD, Shah MA et al. (2011) Relationship between feeding behavior and performance of feedlot steers fed barley-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 1180-1192.

Silva AM, Silva LOC, Okamura V, Torres Junior RAA, Gondo A, Favero R, Menezes GRO, Gomes RC (2017) Associações entre eficiência alimentar e comportamento ingestivo de touros da raça Nelore confinados em baias coletivas equipadas com cochos eletrônicos. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 27. **Anais de Congresso**. Associação Brasileira de Zootecnia.

Silva RMO, Fragomeni BO et al. (2016). Accuracies of genomic prediction of feed efficiency traits using different prediction and validation methods in an experimental Nelore cattle population¹. **Journal of Animal Science** 94(9), 3613–3623.

Soares DR (2011) Adaptação de bovinos ao confinamento: avaliação do temperamento e dos comportamentos social e alimentar. 79p. Dissertation (Master of Animal Science) – Unesp, Jaboticabal.

Soares DR (2015) **Comportamento individual de bovinos Nelore e relações com desempenho em regime de confinamento e reprodução**. 85p. Dissertation (Doctor of Animal Science) – Unesp, Jaboticabal.

Torres-Vázquez JA, Van Der Werf J, Clark SA (2018) Genetic and phenotypic associations of feed efficiency with growth and carcass traits in Australian Angus cattle. **J Anim Sci**. 96:4521–31.

Yeates MP, Tolkamp BJ, Allcroft DJ, Kyriazakis I (2001) The use of mixed distribution models to determine bout criteria for analysis of animal behavior. **Journal of Theor. Biol**. 213: 413-425.